



Tecnologia das Construções II

Tecnologia das Construções II

Paula Marie Siqueira Pacheco

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

André Baltazar Nogueira

Bárbara Nardi Melo

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P116t Pacheco, Paula Marie Siqueira
Tecnologia das construções II / Paula Marie Siqueira
Pacheco. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional
S.A., 2018.
240 p.

ISBN 978-85-522-1181-5

1. Industrialização da construção. 2. Patologias das
construções. 3. Conforto ambiental. I. Pacheco, Paula Marie
Siqueira. II. Título.

CDD 600

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018

Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza

CEP: 86041-100 – Londrina – PR

e-mail: editora.educacional@kroton.com.br

Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Industrialização da construção	7
Seção 1.1 - Sistemas construtivos racionalizados e industrializados	9
Seção 1.2 - <i>Steel Framing</i> e <i>Wood Framing</i>	25
Seção 1.3 - Estruturas pré-moldadas	42
Unidade 2 Processos construtivos de conforto ambiental	65
Seção 2.1 - Sistemas construtivos de isolamento térmico	67
Seção 2.2 - Sistemas construtivos de isolamento acústico	85
Seção 2.3 - Conforto luminoso	101
Unidade 3 Patologia das construções	121
Seção 3.1 - Fissuras, trincas e rachaduras nas edificações	123
Seção 3.2 - Patologias em aço, madeira, pintura e desgaste dos acabamentos	139
Seção 3.3 - Manutenção e recuperação de estruturas	155
Unidade 4 Controle de qualidade na construção civil	177
Seção 4.1 - Normas de controle de qualidade na construção civil	180
Seção 4.2 - Especificações dos materiais e dos processos construtivos	198
Seção 4.3 - Testes de desempenho	216

Palavras do autor

Caro aluno,

A disciplina de Tecnologia das Construções II vai capacitá-lo a compreender detalhadamente os principais sistemas construtivos, pois aprender mais sobre as tecnologias voltadas para a Construção Civil é de extrema importância para você que vai atuar no setor. Como futuro profissional de um dos segmentos que mais movimenta capitais no nosso país, você certamente enfrentará desafios, seja como parte de uma equipe de projetos, seja atuando diretamente em obras, ou ainda como vendedor de soluções técnicas, entre outras atividades. Esses desafios exigirão a tomada de decisões quanto à escolha de métodos, materiais, técnicas, etc., e, para tal, você deverá dispor do conhecimento para que suas escolhas sejam acertadas e contribuam com a equipe da qual participe.

Ao longo do texto, você terá contato com técnicas e materiais empregados em diferentes etapas de uma obra e, como competência inicial, compreenderá que decisões quanto às escolhas das metodologias mais adequadas devem ser tomadas já na fase de planejamento, projetos e orçamento da construção de qualquer edificação.

Podemos citar ainda três outras competências que esse livro pretende incentivar os alunos a desenvolverem. No que diz respeito à temática do conforto ambiental, você conhecerá alguns sistemas construtivos que lhe auxiliarão em situações nas quais precise definir materiais e técnicas. Com vistas a uma possível atuação com manutenção e recuperação de edificações, o conteúdo também é voltado para o conhecimento de algumas patologias em estruturas. Além disso, como aptidão esperada para esse profissional, cita-se o conhecimento de procedimentos relativos à qualidade dos materiais e serviços de uma obra, com vistas à especificação, logística, armazenagem e aplicação e testes.

Para o seu entendimento de como essas competências serão desenvolvidas, segue uma breve explicação do conteúdo do texto, dividido em unidades de ensino, e estas, em seções.

A Unidade 1 abordará a industrialização na construção, por meio de uma explanação sobre sistemas construtivos racionalizados e

industrializados; *Steel Framing* e *Wood Framing* e estruturas pré-moldadas. A segunda unidade focará no conforto ambiental, detalhando alguns sistemas construtivos voltados para isolamento térmico e acústico, bem como conforto lumínico. Na Unidade 3, serão descritas algumas patologias das construções, tais como fissuras, trincas e rachaduras, em aço, concreto e madeira, por exemplo; serão mostradas técnicas e procedimentos para manutenção e recuperação de estruturas. Por fim, a última unidade discutirá o controle de qualidade na construção civil, especificamente apresentando normas e ensaios aplicáveis.

Certamente, você percebeu que há muito conteúdo pela frente e o completo entendimento de tudo isso se dará também com o seu esforço. Por isso, convido você a ler o livro com bastante atenção e, como forma de complementar seus conhecimentos, busque sempre outras fontes, tais como livros, artigos, materiais disponíveis on-line, etc.

Bons estudos!

Industrialização da construção

Convite ao estudo

Caro aluno,

Você já parou para pensar como a indústria mudou nossa maneira de produzir bens, gerar riquezas e como proporciona conforto para todos nós? Para além disso, a indústria é capaz de criar novas necessidades, inventar e satisfazer desejos humanos. Nos processos industriais, os bens são produzidos geralmente em larga escala, seguindo padrões predefinidos, por meio de um planejamento de suas etapas, cronograma, tarefas, responsabilidades, etc.

Na Construção Civil não é diferente, apesar desse setor ter adotado essas técnicas posteriormente a muitos outros setores do mercado. O fato é que vemos a crescente tentativa de incorporação de metodologias mais racionalizadas nas etapas de projeto e obra. Aos profissionais do segmento, será exigido um alinhamento a essa crescente tendência, e por isso, nessa primeira unidade do livro, você terá a oportunidade de conhecer um pouco mais sobre a industrialização na construção.

Com vistas a essa ideia, uma competência que lhe será demandada, quando profissional, é o conhecimento de novas tecnologias que lhe auxiliem na escolha de materiais, elaboração de projetos e gerenciamento de uma obra. Sendo assim, essa é uma oportunidade para que você, enquanto estudante, tenha acesso a conceitos que estruturam suas escolhas futuras, já no mercado de trabalho.

Para exemplificar, vamos definir uma situação hipotética:

Uma feira de construção acontece anualmente em sua cidade, em um centro de convenções, tendo duração de três dias. No local, há espaço para exposição de novas ideias e

tecnologias e, durante as tardes, palestras no auditório. O tema central do evento é industrialização na construção. Sendo assim, os expositores apresentam nos stands novas tecnologias e ideias voltadas para a racionalização dos processos de construção. Fornecedores de materiais e serviços, também com esse enfoque, têm a oportunidade de captar clientes e parceiros para seus negócios. Alinhadas com essa temática, as palestras contêm exemplos de boas práticas, metodologias inovadoras, técnicas empregadas com sucesso em outros países, desafios, etc.

Pense na situação descrita: ela é familiar ao seu contexto? Você já teve a oportunidade de ir a uma feira de construção? Acredita que esse é um espaço de divulgação de boas práticas e desenvolvimento de relações profissionais?

E no que diz respeito ao tema, você poderia citar exemplos de métodos construtivos alinhados ao objetivo de racionalizar a produção no setor? A adoção de modelos mais industrializados na construção de um edifício impacta o canteiro de obras e a equipe?

Para contribuir com a sua busca por resposta a essas e outras questões, nessa unidade vamos tratar de alguns exemplos de sistemas construtivos que buscam agilizar e padronizar as etapas de uma edificação. Discutiremos também como os canteiros de obras e os membros da equipe se adequam a essa mudança de paradigma.

Seção 1.1

Sistemas construtivos racionalizados e industrializados

Diálogo aberto

Você é um experiente gestor de obra, porém as seguintes questões lhe preocupam bastante: como melhorar a produtividade? Como diminuir desperdícios e implementar a gestão de processos? Sendo assim, a temática da feira lhe pareceu bastante atrativa e, é claro, você decidiu comparecer ao evento.

No primeiro dia seriam discutidos os **sistemas construtivos racionalizados e industrializados**.

Uma das palestras apresentaria um comparativo entre metodologias mais modernas e a construção tradicional. Antes de entrar no auditório para a conferência, você já estava se perguntando: quais as vantagens da adoção da industrialização nos processos construtivos?

Em seguida, seria debatido, em uma mesa redonda com especialistas, o tema *Lean Construction* e você, é claro, ficou bastante curioso em conhecer um pouco mais sobre o seu significado. Inclusive, você já havia anotado algumas dúvidas de uma leitura prévia sobre a expressão: qual a definição e ideia central do termo? Quais as suas aplicações e vantagens? Era o momento de conferir se essas questões ficariam claras para você.

Ao final do primeiro dia, você sistematizou tudo o que foi apresentado na forma das seguintes perguntas: existem escolhas de projeto que afetam a implementação da gestão dos processos? E no que diz respeito ao canteiro de obras, como ele deve se organizar a fim de melhorar a produtividade, diminuir desperdícios e facilitar os trabalhos?

Para solucionar essas questões, você é convidado, a seguir, a ampliar seus conhecimentos acerca de alguns dos sistemas que empregam a racionalização em seus processos. Essa competência será imprescindível caso você necessite escolher um método construtivo, ou participe da elaboração de um projeto ou execução de uma obra em sua atividade profissional futura.

Não pode faltar

Sistemas Construtivos Racionalizados e Industrializados: Introdução

O apelo pela sustentabilidade e racionalização nos processos produtivos vem crescendo à medida que os Estados, as pessoas e mesmo a iniciativa privada vêm tomando consciência da urgente necessidade de proteção da natureza e de seus recursos. Nesse sentido, tornam-se inadmissíveis desperdício de recursos, retrabalho, poluição, descaso com o trabalhador, etc.

Alinhados a essa tendência global, os diferentes setores da economia vêm adotando práticas no sentido de melhorar a produtividade, reduzir custos e impactos ambientais. A indústria mecânica é a pioneira na instituição de novos paradigmas de produção, desde a adoção das linhas de montagem e mecanização até a robotização de processos. Até a agricultura passou a incorporar técnicas mais modernas de plantio, irrigação e colheita, com o auxílio também da mecanização de diversas etapas.



Pesquise mais

Aproveite que estamos tratando do tema da racionalização na produção e pesquise quais são os setores pioneiros no uso desse princípio. Seguem alguns textos de apoio:

- TODARO, M. E. C. Produção Enxuta. **Sistemas Produtivos**. Curso de Engenharia Mecânica – UEMA. [S.d.]. Disponível em: <<https://sistemasprodutivos.wordpress.com/sistema-de-producao-enxuta/>>. Acesso em: 2 abr. 2018
- MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**: uma abordagem integrada ao *just in time*. Capítulo 1. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602164/cfi/42!4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

Na construção civil não é diferente; a implementação de técnicas mais alinhadas à sustentabilidade é crescente. Com isso, torna-se cada vez mais comum a substituição do trabalho manual, a adoção de materiais controlados e sistemas pré-fabricados, métodos baseados em montagem, além, é claro, de maior capacitação da mão de obra.

Tudo isso é possível graças ao desenvolvimento da ciência e tecnologia com vistas à aplicação nos setores econômicos.

Rosso (1980 apud OLIVEIRA, 2013) separa na construção modelos distintos de produção mais enxuta. O primeiro deles é a industrialização de ciclo fechado, menos flexível, no qual módulos são produzidos em uma fábrica e enviados para a obra. Como exemplo, podem ser citadas peças de painéis pré-moldadas em concreto para fins estruturais. Sua vantagem é o custo mais reduzido dos módulos, uma vez que praticamente não apresentam variações, o que permite elevada produtividade na linha de produção. Por outro lado, falta flexibilidade ao projeto arquitetônico e sua aplicação é mais viável para a construção de elevado número de edificações, tais como conjuntos habitacionais.

Na industrialização de ciclo aberto, os componentes pré-fabricados são produzidos de maneira a permitir maior combinação na construção, pois se apresentam em dimensões e formatos mais específicos ao seu uso. Essa é uma vantagem que garante maior flexibilidade ao projeto. Nesse modelo se enquadram as placas de concreto para revestimento de fachadas.

Conforme Oliveira (2013) sistematiza, na racionalização há uso mais eficiente dos recursos e as tarefas são otimizadas, com a redução do tempo, por meio da organização, planejamento, continuidade executiva e eficiência no canteiro de obras. A autora cita, ainda, que a modulação das peças se dá por meio de uma coordenação que garante a perfeita união entre as partes e que, consequentemente, auxilia na compatibilização entre medidas de projeto e medidas in loco.



Refleta

Qual a importância do investimento em pesquisa científica e criação de novas tecnologias? Como essa prática pode impulsionar as mudanças necessárias ao desenvolvimento sustentável?

A industrialização na construção de um empreendimento começa já na etapa de estudo de viabilidade e planejamento do projeto, de maneira que as decisões e escolhas de projeto já considerem as implicações no processo produtivo, contratações,

compras, etc. É preciso que haja também acompanhamento contínuo e planejamento antecipado para se evitarem as decisões de última hora.

No que diz respeito ao projeto, conforme destaca Centro de Treinamento Brasilit (2014), o profissional responsável por especificar um sistema construtivo deve estar familiarizado com ele, para que ele possa incorporar ao projeto todos os detalhes técnicos essenciais à execução em campo. Esse profissional deve pensar e explicitar os condicionantes, pois a industrialização é incompatível com decisões improvisadas no canteiro.

O texto reconhece que a construção civil se difere bastante da indústria automobilística, pois apresenta as seguintes características: caráter nômade, produtos únicos, variados, com pouca especificação técnica e não fabricados em linha, mão de obra pouco qualificada, baixo grau de precisão na produção, etc.

Contudo, é possível adotar algumas das premissas da industrialização, adaptando-se ao contexto da produção de edificações. A incorporação da mecanização de processos é um exemplo disso.



Assimile

É cada vez mais crescente a utilização de máquinas em substituição ao trabalho manual e artesanal. Um exemplo disso é a substituição do concreto virado em obra pelo usinado em central especializada que garante qualidade, quantidades corretas de material e menos desperdício e sujeira.

Coelho (2004 apud CENTRO DE TREINAMENTO BRASILIT, 2014) incentiva os projetistas a pensarem em sistemas que possam ser subdivididos em módulos passíveis de industrialização, levando em conta vão e deformações admissíveis dos materiais envolvidos. Nesse sentido, os profissionais comprometidos nos projetos precisam entender as propriedades dos diferentes materiais e subsistemas envolvidos e a maneira como um pode afetar outro. O projeto deve compreender também todos os detalhes construtivos, fixações, ligações, etc., bem como as interfaces entre os sistemas.

É necessária a preocupação com a compatibilização entre os diferentes projetos (instalações e estruturas, por exemplo), de forma

a antever possíveis inconsistências e interferências. Nesse sentido, buscando suprir essa necessidade, existe a metodologia de projeto e planejamento *Building Information Modeling* (BIM), uma plataforma digital que integra os diferentes projetos de uma edificação, buscando prever e eliminar as interferências entre os sistemas. Para além disso, a proposta do BIM é também manter um banco de dados e informações detalhados do projeto, contemplando seu planejamento, orçamento e acompanhamento da obra (SANTOS, ANTUNES, BALBINOT, 2014).

O projetista deve pensar na facilidade de execução do que foi proposto, planejar as etapas envolvidas, considerando também condicionantes da obra, tais como logística, espaço disponível no canteiro, disponibilidade de materiais na região, etc. Percebe-se, com isso, que a tendência do setor é a eliminação das etapas de produção, modificação e adaptação no canteiro, que passa a ser um espaço mais de montagem das unidades. Essas últimas passam a ser fabricadas na indústria que subsidia a produção da edificação: indústria de materiais de construção (CENTRO DE TREINAMENTO BRASILIT, 2014).

Melhado (1994 apud CENTRO DE TREINAMENTO BRASILIT, 2014) define o projeto para produção como sendo aquele que enumera e sequencia as etapas de cada atividade, os equipamentos previstos, bem como a disposição e as mudanças no canteiro durante a evolução da obra.

Quanto ao canteiro de obras, a gestão e controle das atividades, quando no modelo industrializado, devem ser mais rígidas, pois é necessário evitar transportes desnecessários e esperas. Nesse sentido, destaca-se a importância da implantação e acompanhamento da gestão da qualidade no canteiro, englobando o controle rígido no recebimento de materiais, na execução dos serviços, na contratação de materiais e serviços, montagem, etc. (ABDI, 2015).

Ainda segundo Melhado (1994 apud CENTRO DE TREINAMENTO BRASILIT, 2014), o canteiro deve apresentar vias bem sinalizadas para a movimentação de pessoas, materiais e equipamentos, com vistas à segurança de todos. É necessário também espaço destinado exclusivamente para armazenamento seguro de materiais, ferramentas, equipamentos, etc.

Lean Construction

Uma metodologia que sistematiza o que foi explicado anteriormente é a *Lean Construction* (Construção Enxuta). Ela assume que o processo de construção é um fluxo de materiais, pelo qual a matéria-prima passa pelas etapas de transporte, espera, processamento e inspeção, até o produto final ser entregue. Neste fluxo, há atividades que não agregam valor ao produto final como o transporte, a espera e o processamento, por isso são denominadas atividades de fluxo. E as atividades de processamento apenas agregarão valor ao produto final se as especificações exigidas pelo cliente externo ou interno forem atendidas (FORMOSO, 2002).

No formato convencional de planejamento não evidenciamos as atividades de fluxo, dificultando a gestão da produção. Desta forma, alguns princípios básicos são adotados para a Construção Enxuta.

O primeiro desses princípios é a **(I) redução de atividades que não agregam valor**, buscando-se a melhoria na eficiência do processo. Por meio da representação em fluxo das etapas, fica mais fácil visualizar todas as atividades e detectar aquelas que agregam valor e minimizar as demais.

Outro princípio que o autor cita é a **(II) levar em conta as necessidades do cliente para aumentar o valor do produto**. Nesse caso, o cliente tanto pode ser o final, que paga pelo produto que vai receber, ou o cliente interno, intermediário do processo.

A metodologia estabelece também a **(III) redução da variabilidade** no processo ou mesmo na demanda do cliente. Esse princípio tende a contribuir para a satisfação do cliente na medida em que reduz significativamente os erros. Isso porque variabilidade leva a maiores interrupções no fluxo de processo, retrabalhos e não aceitação do produto.



Assimile

Na construção civil, a eliminação por completo da variabilidade é inviável em função das características únicas do seu produto, que sofre com as condições locais, climáticas e da mão de obra.

Propõe-se também a **(IV) redução do tempo de ciclo** por meio da compressão de cada etapa: transporte, espera, processamento e

inspeção. As vantagens dessa iniciativa são inúmeras, tais como: o cliente recebe o produto mais rapidamente, simplifica-se a gestão, erros são detectados mais facilmente, a elaboração de cronogramas e orçamentos fica facilitada, etc. O autor cita como maneira de implementar essa atitude a diminuição da interdependência entre etapas, para que elas possam acontecer paralelamente.

Outra atitude proposta é a **(V) simplificação do processo pela redução de suas partes**.



Exemplificando

Uma maneira de simplificar o processo construtivo de uma edificação se dá com o emprego de elementos pré-fabricados, para que eles não precisem ser produzidos na obra. Como exemplos, podemos citar:

- Vergas e contravergas de alvenaria: devem ser assentadas nos vãos das portas e janelas, porém, para evitar o trabalho de produzi-las na obra, podem ser compradas pré-fabricadas em concreto.
- Uso de argamassas industrializadas e ensacadas: evita-se a estocagem dos componentes da argamassa e a sua consequente necessidade de controle, os trabalhos de dosagem e conferência, etc.

A metodologia sugere implementar **(VI) maior flexibilidade no produto final**, mantendo-se, contudo, eficiência e produtividade. O autor explica que essa flexibilização se torna interessante quando aplicada nos momentos finais da produção e pode ser alcançada com o uso de mão de obra polivalente.

Por fim, sugere-se **(VII) transparência no processo** para facilitar a detecção de erros, aumentar o acesso a informações e envolvimento da equipe.

Considerando as características da produção enxuta, podem ser elencados alguns sistemas já incorporados à Construção Civil com bastante êxito.

A **alvenaria estrutural** é um sistema construtivo que incorpora a dupla função de vedar cômodos e fachada da edificação contra intempéries e ruídos e estruturá-la, resistindo às solicitações impostas pelas ações (KATO, 2002). O sistema emprega blocos mais resistentes que os da alvenaria de vedação apenas, sua mão de obra é mais especializada, na medida em que precisa seguir um

projeto rigoroso de paginação dos tijolos. Isso facilita o controle da produção, reduz desperdícios e é compatível com outros elementos pré-fabricados, tais como janelas, portas, escadas, etc. Além disso, é usual a execução simultânea do levantamento das paredes e passagem das tubulações de instalação elétrica e hidráulica, o que reduz bastante tempo, retrabalho e desperdícios com quebras de paredes para passagem posterior dessa tubulação.

Por se tratar de um modelo de produção modulada, conforme explica Kato (2002), há a necessidade de organização do canteiro para esse fim, evitando-se cruzamento de fluxos, logística ineficiente, etc.

A apostila do Centro de Treinamento Brasilit (2014) apresenta o *Light Steel Framing* como exemplo de construção enxuta. Trata-se de painéis estruturados em perfis de aço galvanizado e pode ser empregado com função estrutural ou não. Suas características lhe conferem também boas propriedades de isolamento termoacústico, além de facilitar a passagem das tubulações de instalações.

Uma outra metodologia que emprega princípios da construção enxuta é a **parede de concreto**. Nesse sistema, as paredes e lajes de cada pavimento são concretadas simultaneamente, as tubulações das instalações são previamente posicionadas, bem como os vãos das janelas. Com essa técnica, é possível obter rapidez e padronização, contudo exige elevado grau de planejamento e especialização da mão de obra. Vieira (2014) explica que o processo produtivo, após a conclusão das fundações, tem início com a montagem das formas, posicionamento do aço da armação e tubulações das instalações, e então a concretagem.

Na concretagem desse tipo de estrutura, utiliza-se concreto com maior fluidez para garantir o preenchimento das formas e evitar brocas. A qualidade do concreto garante o bom resultado da superfície que poderá, inclusive, dispensar o reboco. Essa é uma vantagem que gera economia de tempo, mão de obra e dinheiro.

Conforme explica Vieira (2014), com a construção em parede de concreto, alcança-se um canteiro de obras mais organizado, elevada produtividade, menor número de operários, aumento da produtividade e economia com o emprego de formas padronizadas reutilizáveis (metálicas, plásticas, etc.).

A Figura 1.1 mostra a armação e a tubulação das instalações previamente posicionadas, e o resultado final após a concretagem e desforma de um pavimento.

Figura 1.1 | Parede de concreto



Fonte: Corsini (2011, p. 6).

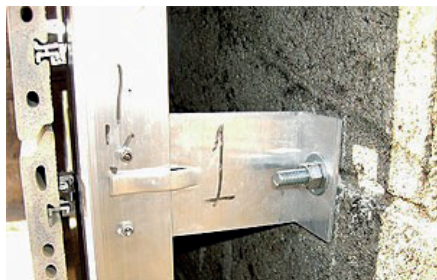
As **fachadas aeradas** também são sistemas com características da construção racionalizada. Trata-se de realizar o revestimento das fachadas com granito, materiais cerâmicos ou placas cimentícias sem a utilização de argamassa. A fixação do componente de acabamento se dá por meio de *inserts* metálicos afixados à alvenaria externa e/ou estrutura. Nessa metodologia o revestimento não fica diretamente em contato com a parede e, com isso, há um espaço que permite a circulação do ar e contribui com o conforto térmico da edificação, podendo, inclusive, reduzir o uso de ar condicionado (MOURA, 2009). A Figura 1.2 apresenta três imagens para ilustrar o que foi explicado anteriormente. A primeira imagem contém uma visão geral de uma fachada ventilada, na qual algumas das placas cerâmicas já foram posicionadas. As duas outras imagens mostram em detalhe os *inserts* metálicos e o espaço entre a fachada a parede externa, bem como o encaixe da cerâmica na estrutura metálica.

Figura 1.2 | Fachada aerada: a) Visão geral; b) Detalhe encontro *insert* e placa cerâmica; c) Detalhe fixação *insert* à parede externa



a)

b)



c)

Fonte: Moura (2009, p. 2 e 3).

Considerando os exemplos de sucesso mostrados anteriormente, muitas são as vantagens da adoção de técnicas de produção enxuta na construção. Com base nesse conhecimento, é possível traçar um paralelo entre essa maneira de produzir e a maneira tradicional.

As técnicas tradicionais tendem a gerar elevado desperdício de materiais, energia elétrica, água, tempo de mão de obra; é comum a falta de planejamento na execução dos serviços e a necessidade de improvisos em campo. Com isso, encarece-se a obra, ocorrem atrasos e as necessidades do cliente final dificilmente podem ser atendidas.

Por outro lado, a construção racionalizada busca, por meio de um planejamento prévio das atividades, realizar serviços que garantam uma maior qualidade do produto final. Os sistemas inspirados em técnicas industrializadas empregam menor número de funcionários e a mão de obra precisa ser mais qualificada e especializada, o que facilita a gestão em campo. Empregam-se metodologias inspiradas na montagem de componentes, o que simplifica a execução dos trabalhos e garante maior índice de acerto. O gestor da obra consegue ter maior controle sobre a execução das atividades e se planejar melhor quanto aos prazos e gastos.



Exemplificando

Podemos exemplificar essa situação tomando como base o concreto rodado em obra. Ainda que o traço seja padronizado, o gestor da obra não consegue garantir sua qualidade devido a diversas razões: mão de obra pouco qualificada, incerteza quanto à quantidade de água adicionada pelo funcionário para melhorar a trabalhabilidade, falta de

controle sobre o tempo máximo que a massa pode ser utilizada, mistura dos componentes com materiais indesejados (lixo, matéria orgânica, etc.), falta de expertise ao lidar com aditivos químicos e/ou adições, falta de equipamentos para a produção de grandes volumes, etc.

Pensando nessa situação, quais as variáveis não controladas ao se rodar um concreto em obra prejudicam a racionalização/industrialização na produção desse insumo?

Por outro lado, o concreto usinado é produzido em uma central especializada que garante a qualidade dos componentes, as quantidades, fator a/c (água/cimento), uso racional dos aditivos e adições, e consegue ser capaz de entregar à obra um produto personalizado. Esse tipo de indústria dispõe de mão de obra especializada e equipamentos capazes de produzir em grande quantidade.

Com isso, o gestor de campo não precisa se preocupar com espaço para a produção de concreto, nem em comprar e estocar seus componentes, uma vez que o produto é entregue, segundo as especificações necessárias, na porta da obra, na data da concretagem, conforme o horário agendado.

Você consegue pensar em outros ganhos para a obra ao se comprar o concreto usinado?



Pesquise mais

Para ampliar seus conhecimentos acerca desse tema, pesquise mais sobre construção industrializada. Siga uma indicação de texto de apoio:

- ABDI AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da Construção Industrializada**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/04/Manual_versao_digital.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2018.

A parte 1 e os capítulos 1 e 8 da parte 2 contêm informações que detalham mais o que foi exposto anteriormente.

Sem medo de errar

A participação na feira de construção foi uma boa oportunidade de ampliação dos seus conhecimentos, expansão de contatos e lhe trouxe outras perspectivas sobre o destino do setor.

Ficou claro para você que o sucesso dos empreendimentos futuros está intimamente ligado a uma melhoria na produtividade dos serviços e diminuição de desperdícios, com uma gestão eficiente dos processos.

A partir dos seus conhecimentos em gestão de obras, não lhe restaram dúvidas quanto às vantagens da racionalização da construção. O planejamento prévio das atividades evita decisões improvisadas em campo e permite realizar serviços com maior qualidade, o que reflete no produto final. Há um menor número de funcionários e estes são mais qualificados e especializados, o que facilita a gestão em campo. As metodologias de montagem simplificam a execução dos trabalhos e garantem maior acerto. O gestor da obra consegue ter maior controle sobre a execução das atividades e se planejar melhor quanto aos prazos e gastos.

Uma metodologia que sistematiza essa ideia de racionalização é a *Lean Construction* (Construção Enxuta). Ela assume que o processo de construção é um fluxo de materiais, devidamente gerido, que deve controlar as atividades de fluxo e garantir que as atividades de processamento atendam as especificações previstas do produto final pelos clientes externos ou internos. Os princípios básicos para a Construção Enxuta são: **(I) redução de atividades que não agregam valor; (II) consideração das necessidades do cliente para aumentar o valor do produto; (III) redução da variabilidade; (IV) redução do tempo de ciclo; (V) simplificação do processo pela redução de suas partes; (VI) maior flexibilidade no produto final; (VII) transparência no processo.**

A *Lean Construction* se aplica a etapas isoladas da execução de uma edificação ou à construção como um todo, em sistemas estruturais, de vedação e cobertura, dentre outros. A alvenaria estrutural é um exemplo prático da aplicação dessa metodologia; nela, vedação e estrutura são executadas simultaneamente a partir de um projeto detalhado e paginado, contendo também o caminhamento e passagem das tubulações das instalações e vão de portas e janelas.

Uma outra aplicação da *Lean Construction* se dá nas fachadas ventiladas, um sistema que dispensa o assentamento de revestimentos com argamassa nas fachadas das edificações e opta pela fixação das placas (cerâmicas, porcelanatos, pedras naturais,

etc.) em inserts metálicos previamente chumbados ou aparafusados na estrutura e paredes. A escolha desse tipo de revestimento economiza grande quantidade de argamassa para regularização das paredes externas, gera economia no aluguel de andaimes, devido à maior produtividade, elimina etapas construtivas e propicia melhoria no conforto térmico na edificação pronta.

No que diz respeito ao projeto, o profissional responsável por especificar um sistema construtivo industrializado deve estar familiarizado com ele, para que ele possa incorporar ao projeto todos os detalhes técnicos essenciais à execução em campo, detalhes construtivos, fixações, ligações, etc., bem como as interfaces. Ele precisa pensar e explicitar os condicionantes, para se evitarem as decisões improvisadas no canteiro. O projeto pode prever também a incorporação da mecanização de alguns dos processos e pode subdividir etapas em módulos passíveis de industrialização.

Uma observação importante a se fazer diz respeito à necessidade de compatibilização entre os diferentes projetos (instalações e estruturas, por exemplo), de forma a antever possíveis inconsistências e interferências. Deve-se, ainda, pensar na facilidade de execução do que foi proposto, planejar as etapas envolvidas, considerando também condicionantes da obra, tais como logística, espaço disponível no canteiro, disponibilidade de materiais na região, etc.

Quanto ao canteiro de obras, a gestão e controle das atividades, quando no modelo industrializado, devem ser mais rígidas, pois é necessário evitar transportes desnecessários e esperas. Por isso, há a demanda pela implantação e acompanhamento da gestão da qualidade no local, englobando o controle rígido no recebimento de materiais, na execução dos serviços, na contratação de materiais e serviços, montagem, etc. O canteiro precisa ser bem sinalizado para a movimentação de pessoas, materiais e equipamentos, com vistas à segurança de todos. É necessário também espaço destinado exclusivamente para armazenamento seguro de materiais, ferramentas, equipamentos, etc.

Indústria de Materiais de Construção

Descrição da situação-problema

Você já atuou na execução de um edifício em parede de concreto e foi convidado a palestrar em uma disciplina de Seminários da Pós-Graduação, a qual abordará a importância da indústria que abastece as obras: a indústria de materiais de construção. A preparação do material de apresentação lhe fez refletir: em uma obra em parede de concreto, quais indústrias abastecem o canteiro? Quais problemas podem acontecer na obra como resultado da má qualidade do material/equipamento/ferramenta fornecido?

Resolução da situação-problema

O sistema parede de concreto é abastecido por diversas indústrias, pois envolve etapas distintas, algumas das quais são: armação, passagem das tubulações de instalações, forma, concretagem e desforma. Sendo assim, pode-se dizer que a indústria de produção das formas abastece uma obra em parede de concreto. Essas formas tanto podem ser metálicas, plásticas ou de madeira, contudo, caso haja elevada repetição, as metálicas se tornam interessantes devido à sua durabilidade. Durante uma concretagem, espera-se que as formas resistam bem aos esforços e não abram, e que sua durabilidade esteja de acordo com o previsto.

Outra indústria importante é a usina concreteira, pois ela fornece um dos insumos principais desse sistema: o concreto. Com isso, espera-se que a qualidade desse material respeite o projeto, sua resistência seja atingida, sua fluidez permita trabalhabilidade, seus componentes não se desagreguem, os caminhões sejam entregues segundo o planejado, etc. Como forma de controle dessas propriedades, durante a obra, são retiradas amostras do concreto e estas são testadas quanto às propriedades desejadas.

Faça valer a pena

1. Sobre a Construção Enxuta (*Lean Construction*), são feitas as seguintes afirmações:

I. Trata-se de uma metodologia com aplicação na construção civil que considera a produção como um fluxo de materiais, constituído por atividades de fluxo e atividades de processamento.

II. Um de seus princípios é a redução de variabilidade na demanda do cliente, de maneira que as necessidades do cliente interno sejam priorizadas. Já as necessidades do cliente externo devem ser moldadas a fim de se reduzir a variabilidade no processo.

III. A flexibilidade no produto final visa a reduzir o tempo de ciclo; sendo alcançada com mão de obra especializada.

Julgue as afirmativas anteriores quanto à sua veracidade e marque a alternativa correta.

- a) Estão corretas as afirmativas I e II.
- b) Estão corretas as afirmativas II e III.
- c) Estão corretas as afirmativas I e III.
- d) Somente a afirmativa I está correta.
- e) Somente a afirmativa III está correta.

2. Considerando a alvenaria estrutural como um modelo de construção racionalizada, leia as afirmativas que se seguem:

I. Como a alvenaria estrutural acumula a dupla função de vedação e estruturação da edificação, para garantir a possibilidade de alteração do layout interno, apenas as paredes externas (fachadas) são feitas nesse sistema. As paredes internas são em alvenaria de vedação com blocos cerâmicos.

II. Na alvenaria autoportante, segue-se um projeto rigoroso de paginação dos blocos, há controle da produção, buscando-se a redução de desperdícios. As janelas, portas e escadas devem ser previamente pensadas.

III. A desvantagem desse sistema é a impossibilidade de cortes e supressão de paredes pelos usuários, no caso de reformas.

Tendo como base as afirmativas anteriores, leia as alternativas a seguir e marque aquela que está correta.

- a) A afirmativa I está correta.
- b) A afirmativa III está correta e não contradiz o que se enuncia em I.
- c) Estão corretas apenas as afirmativas II e III.
- d) Todas as afirmativas são falsas.
- e) As afirmativas II e III apresentam consequências do que é dito em I.

3. A seguir, seguem algumas considerações sobre os sistemas racionalizados de produção, comparando-os às técnicas tradicionais de construção.

(02) As técnicas tradicionais de construção não apresentam qualquer planejamento prévio, nem projetos para a execução de edificações. Elas ainda são largamente empregadas porque representam menor custo nos serviços.

(44) Os sistemas racionalizados de construção permitem uma melhoria na gestão em campo, pois empregam, dentre outras técnicas, montagem de componentes pré-fabricados, muitas vezes produzidos em indústrias fora do canteiro.

(25) É necessário que o gestor fique atento para que o emprego da industrialização na obra não gere mais desperdícios de materiais e tempo, tendo em vista que ele terá acesso a menor número de funcionários e à mão de obra mais qualificada e especializada.

(99) As posturas principais para adoção de etapas racionalizadas em uma obra são o planejamento prévio das atividades e gestão do canteiro. Isso quer dizer que a técnica a ser empregada somente pode ser definida em projeto, antes de se iniciarem as obras, e o canteiro tem que ser preparado quanto à sua logística interna, para tráfego de pessoas, materiais, etc.

Perceba que antes de cada afirmação há um número, escolhido aleatoriamente. Marque a opção a seguir que apresenta a soma dos números de todas as afirmativas corretas.

- a) 71
- b) 170
- c) 168
- d) 124
- e) 143

Seção 1.2

Steel Framing e Wood Framing

Diálogo aberto

Lembre-se de que na seção anterior abordamos a racionalização na construção e os impactos no canteiro de obras por meio de uma comparação com os sistemas tradicionais de execução de edificações. Também estudamos a teoria da construção enxuta, também conhecida como *Lean Construction*, e foram apresentados exemplos de metodologias construtivas que empregam esse princípio em suas etapas.

Na atual seção, criou-se uma situação-problema na qual você é um experiente gestor de obras e participante ativo desses eventos, e foi convidado para ministrar uma palestra sobre *Steel* e *Wood Framing*, devido aos seus conhecimentos no assunto.

Para a organização da sua fala, você se preocupou em apresentar essas duas metodologias construtivas segundo os seguintes eixos: diferenças entre as duas metodologias, características gerais, etapas, vantagens e desvantagens.

Uma boa maneira de despertar o interesse da sua plateia é partir do levantamento de questões iniciais que façam as pessoas refletirem sobre o assunto e quererem explorar mais. Sendo assim, você preparou as seguintes questões:

- É possível construir de maneira mais industrializada a partir de metodologias alternativas ao concreto armado convencional?
- O que são *Steel* e *Wood Framing*?
- Quais as suas características e etapas gerais?
- Quais as diferenças entre elas?
- Essas metodologias apresentam quais vantagens e desvantagens?

Para solucionar essas questões, você deverá compreender as metodologias apresentadas, suas características e as diferenças entre cada uma, além de suas vantagens. Além disso, precisará

traçar um paralelo entre o que foi aprendido na seção anterior para saber se, de fato, os princípios da industrialização estão presentes em *Steel* e *Wood Framing*.

Não pode faltar

Steel Framing

A denominação completa desse sistema construtivo é *Light Steel Framing* (LSF), sendo que *light*, do inglês "leve", deve-se ao baixo peso relativo da estrutura em aço. Já a palavra *framing*, também do inglês "armação", refere-se à organização das peças que, juntas, formam um esqueleto estrutural para a edificação (PEDROSO et al., 2014).

Nesse sentido, o *Steel Framing* é uma metodologia industrializada de montagem de peças em aço para se estruturar uma construção. Segundo Pedroso et al. (2014), como os componentes são produzidos em chapas de aço mais finas, confere-se relativa leveza à estrutura, mantendo-se a elevada resistência mecânica, característica do material. Por ser um material homogêneo, a assertividade nos cálculos tende a ser maior, gerando menos desperdícios e garantindo-se a segurança. Por se tratar de um método de montagem, o canteiro de obras tende a ser mais limpo e organizado, e a mão de obra, mais qualificada. Além disso, é um sistema que permite flexibilidade arquitetônica, permitindo variados acabamentos. Com isso, o tempo da obra pode ser reduzido.

A Figura 1.3 mostra as etapas, resumidamente, da estruturação e finalização de uma edificação em *Steel Framing*.

Figura 1.3 | Esquematisação das etapas de construção em *Steel Framing*



Fonte: Pedroso et al. (2014).

Pedroso et al. (2014) esclarecem como se dá a execução de uma edificação. Normalmente, a fundação é do tipo radier, desde que

as condições do solo e nível de carregamento permitam. Os perfis são fabricados previamente, e em seguida dispostos formando um engradamento cujo espaçamento varia de 40 a 60 cm. Esse engradamento é o esqueleto das paredes e permite a passagem das tubulações das instalações que, posteriormente, serão cobertas pelas placas de fechamento. O interior das paredes também é preenchido com lã de vidro, rocha ou poliéster para aumentar o isolamento térmico e acústico do sistema.

A Figura 1.4 mostra uma edificação estruturada em LSF e o fechamento das paredes em andamento.

Figura 1.4 | Edificação em *Light Steel Framing* com fechamento em andamento



Fonte: <<https://bit.ly/2x38Jvj>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

De acordo com Pedroso et al. (2014), as paredes externas costumam ser fechadas com placas cimentícias afixadas por parafusos, um sistema também industrializado e que oferece maior resistência às intempéries. Internamente, usam-se placas de gesso acartonado.

Em seguida, as paredes podem ser revestidas normalmente por pintura, textura, revestimentos cerâmicos, etc.

Rego (2012) apresenta o LSF como um sistema estrutural dividido em diversos subsistemas que recebem pequenas parcelas da carga total. O autor mostra também que há três métodos básicos de projeto e execução de LSF.

O **modelo tradicional** (*Stick-built*) é o mais comumente utilizado e com menor nível de pré-fabricação. Nele, montam-se os painéis

metálicos no próprio canteiro, normalmente no chão. Em seguida, eles são colocados na posição conforme o projeto. Pelas suas características, essa metodologia apresenta maior flexibilidade construtiva, não demanda uma fábrica nem maquinário pesado, e o transporte até o canteiro é facilitado devido às peças serem montadas no local. A segunda técnica é a **construção em painéis** (*panelized*), que já podem vir da fábrica com o revestimento e isolamento. Em obra, eles serão apenas dispostos no local final, o que eleva a rapidez da construção. O fato de se fabricarem os painéis fora da obra garante um maior controle de qualidade e reduz os custos da obra.

A **construção modular** é o último modelo de LSF. Nela, todos os componentes de estrutura e acabamento são fabricados na indústria e a obra apenas organiza os módulos lado a lado.

As etapas principais desse tipo de construção são descritas por ABDI (2014), Construseco (2014), Smart Sistemas Construtivos (2018) e Gouveia (2017), conforme será apresentado a seguir. Após as etapas de Estudo de Viabilidade, Projetos, Orçamento e Planejamento, nas quais se define o sistema construtivo e se organiza o canteiro, inicia-se a fundação.

Devido à leveza característica desse tipo de edificação, é comum que seja possível se optar por uma fundação em radier. Trata-se de uma laje em concreto armado, convenientemente reforçada, que recebe as cargas da edificação e transmite-as uniformemente ao solo.

Concomitante à execução das fundações - ou mesmo antes dela -, a indústria pode produzir os perfis e montar os painéis, se for o caso de estes já chegarem à obra montados. Esses painéis são afixados à fundação por meio de parafusos, tomando-se o cuidado de garantir sua estabilidade, seu prumo e nivelamento.

Os painéis são fechados por placa cimentícia (mais comum externamente) ou drywall (internamente), mas antes de finalizar essa etapa, executam-se as instalações elétricas e hidráulicas, a infraestrutura para ar condicionado e quaisquer outros sistemas desejados. Especificamente para as instalações hidráulicas, opta-se por tubos de polietileno reticulado (PEX), um sistema flexível e com menor número de emendas, o que reduz significativamente as conexões e, conseqüentemente, os vazamentos e as quedas de pressão, aumentando a produtividade (GOUVEIA, 2017). Além disso,

insere-se os materiais para isolamento acústico e térmico, tais como mantas de lã, de vidro ou de rocha.



Refleta

Já pensou nas vantagens de se construir a estrutura, as vedações e instalações de uma edificação simultaneamente? Como isso impactaria o cronograma de uma obra convencional e seus custos?

As placas externas devem prever um sistema de impermeabilização para garantir a estanqueidade da fachada. A impermeabilização pode ser alcançada com a inserção de uma membrana, que funciona como uma barreira contra a entrada de umidade, mas permite a transpiração do meio interno para o externo.

No caso de obras multipavimentos, constroem-se as lajes intermediárias, também em estrutura LSF, preenchida com lã de vidro (ou outro material com a mesma função acústica e térmica). Em seguida, fecha-se a estrutura com placa (por exemplo: OSB – *Oriented Strand Board* – de madeira industrializada), acrescentando-se um contrapiso armado e o revestimento desejado.

Na laje de cobertura, deve ser adicionado o componente impermeabilizante, que pode ser manta asfáltica, manta PVC, etc. O contrapiso pode ser substituído por XPS, material polimérico, também com propriedade de isolamento térmico (esse material se assemelha ao isopor, porém com textura mais próxima a de um plástico comum e aparência de espuma, menos denso que o isopor comum – EPS).

Na cobertura, tanto pode ser empregada a estrutura metálica como a madeira. Os diversos tipos de telhas disponíveis no mercado também podem ser empregados (GOUVEIA, 2017).

Considerando o que foi exposto anteriormente, é interessante avaliar as vantagens e desvantagens do LSF.

Segundo Pedroso et al. (2014), trata-se de sistema cuja execução pode se dar independente de períodos de chuva, pois os painéis podem ser previamente montados ao abrigo das intempéries. A maneira como as cargas são distribuídas proporciona alívio das fundações; seus componentes dificultam a propagação de incêndio; tendem a sofrer menos com ataques de cupins e outras pragas;

é resistente à corrosão devido à galvanização do aço; a elevada velocidade na execução compensa diversos custos, inclusive a mão de obra fica menos tempo exposta aos riscos de acidentes de trabalho; apresenta elevado desempenho térmico e acústico graças à combinação com outros materiais para fechamento das paredes. Pode-se citar, ainda, a menor demanda por resfriamento/aquecimento interno, conforme o caso, o que proporciona economia de energia, em comparação com os sistemas convencionais de construção. Como ponto positivo no quesito sustentabilidade, cita-se o caráter reciclável do aço e outros componentes do sistema.

Contudo, faz-se necessário discutir também as desvantagens do *Light Steel Framing*. O texto de Pedroso et al. (2014) relata como pontos negativos principalmente a falta de mão de obra especializada no país e as restrições de uso impostas devido à leveza da estrutura, pois há limitação quanto ao número máximo de pavimentos e à fixação de elementos muito pesados nas paredes e teto.

A norma NBR 15253 (ABNT, 2014) apresenta os requisitos para perfis de aço com uso em painéis estruturais.



Pesquise mais

Pesquise mais sobre as etapas construtivas do sistema *Light Steel Framing*. Seguem algumas fontes que poderão lhe auxiliar:

- DOIS A MAIS PORTAIS DE NOTÍCIAS. **Steel Frame em 3 minutos:** construção de residência em Alphaville. 13 jan. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ED0MQvvuqOo>>. Acesso em 20 mar. 2018.
- AQUINO, Ligia M.; BARROS, Mércia M. S. B. Light Steel Framing aplicado à construção de habitação de interesse social: Interação entre vedos vertical e estrutura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2010, Canela. **Anais...** Canela, 2010. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/95.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

Wood Framing

Segundo Molina e Júnior (2010), o *Wood Framing* (WF) também é um sistema de construção industrializado bastante empregado nos EUA (cerca de 95% das casas). Exemplos de outros países

que implantaram a metodologia com sucesso são Canadá, Japão e Alemanha. Muitos dos países que empregam WF apresentam elevados custos com mão de obra, por isso as empresas encontraram nessa técnica uma facilidade para otimizar os processos construtivos e economizar, com uma melhor gestão dos prazos, diminuição de desperdícios e aceleração da construção como um todo.

A diferença em relação ao *Steel Framing* se dá no material empregado para a estruturação, uma vez que no *Wood Framing* são empregados perfis de madeira reflorestada. Os autores afirmam que essa metodologia permite construções de até cinco pavimentos e, em construções de até dois pavimentos, proporciona mais economia para o usuário do imóvel, quando este já está em funcionamento, pois gera economia no condicionamento de ar, as instalações são racionalizadas, possíveis reformas são menos onerosas, etc. Por outro lado, seus custos de construção são mais elevados.

Os autores destacam que, apesar da crença errônea quanto aos impactos ambientais da utilização da madeira na construção civil aqui no Brasil, o *Wood Framing* se baseia no emprego exclusivo de madeira de reflorestamento. Para eles, assim como para diversos outros pesquisadores, a madeira é um material de construção renovável, demanda baixo consumo energético na produção e contribui com a retirada do CO₂ do ar atmosférico, pelo processo de fotossíntese durante seu crescimento.

Conforme explicam Molina e Júnior (2010), as etapas construtivas em WF são semelhantes às do LSF: fundação, estruturação, passagem das instalações, isolamento térmico e acústico, fechamento dos painéis e acabamento.

Por ser mais comum em países de clima temperado, o tipo de fundação mais empregada é o *basement wall*, o qual forma um conjunto de paredes subterrâneas que contribuem com o aquecimento da residência e recebem as cargas. O emprego desse tipo de fundação pode ser bastante interessante também em regiões mais quentes. Contudo, nada impede o uso do radier ou sapata, além de alguma outra técnica mais utilizada na região, inclusive a utilização de madeira também nessa etapa, conforme mostra a Figura 1.5, que apresenta também o barroteamento do piso em contato direto com a fundação.

Figura 1.5 | Barroteamento do piso



Fonte: Universidade de São Paulo (2018).

Nos cômodos molhados da casa, é interessante o uso de material impermeabilizante para fechamento dos pisos, tal como compensado naval ou impermeabilizantes à base de mamona. Sacco e Stamato (2008) apresentam como solução o fechamento por placa cimentícia e sua impermeabilização com membrana acrílica, devendo as juntas serem estruturadas com tela poliéster ou de fibra de vidro.

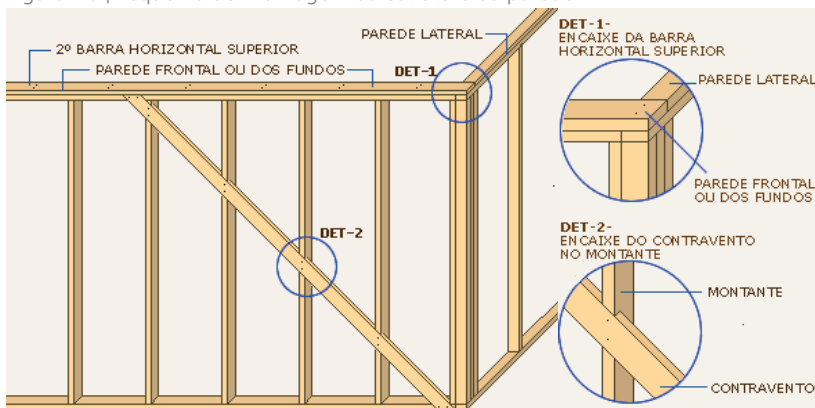
Outro ponto de atenção é que a madeira deve, necessariamente, ser tratada contra fungos e outras pragas, bem como contra apodrecimento por umidade.

As etapas de estruturação e montagem dos painéis se dão na indústria, restando ao canteiro seu posicionamento e fechamento com placas, que podem ser também cimentícias. O sistema de fixação das ligações é por pregos galvanizados.

Ainda segundo Sacco e Stamato (2008), a espécie mais empregada em WF é pinus, bastante plantada no Brasil. Essa madeira não tem cerne e seu lenho absorve bem os produtos químicos do tratamento necessário.

A Figura 1.6 mostra a estrutura esquemática de uma parede em WF.

Figura 1.6 | Esquema de montagem da estrutura da parede



Fonte: Universidade de São Paulo (2018).

A construção da parede é realizada nas seguintes etapas: marcação, fixação das barras horizontais e montantes e fixação do contraventamento. Com isso, as paredes podem ser erguidas, apuradas e escoradas para sua fixação sobre a superfície (USP, 2018).

As vantagens e desvantagens do *Wood Framing* são praticamente iguais às do *Steel Framing*. Adicionalmente, como vantagens se destacam: fácil trabalhabilidade da madeira e elevado desempenho térmico – absorve 40 vezes menos calor que alvenaria (MOLINA E JÚNIOR, 2010). É importante ressaltar também seu elevado desempenho estrutural aliado ao baixo peso relativo, o que é duplamente interessante. Mesmo frente a situações de incêndio, o material apresenta bom comportamento, o que explica a tendência a carbonizar sua superfície externa e manter protegido seu interior (JUNIOR, LAHR E DIAS, 2003).

Uma desvantagem a ser citada, aplicável tanto a WF como LSF, é a impossibilidade de remoção das paredes estruturais, assim como acontece com a alvenaria estrutural.

No Brasil, há carência de normas específicas, uma vez que as definições da NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997) além de não tratarem do WF, apresentam um caráter mais genérico quanto ao uso da madeira para fins estruturais. Segundo recomendação da ABDI (2014), devido a essa situação, aplicam-se as seguintes normas: NBR 7190 (ABNT, 1997), SINAT 005 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017), Eurocode 5 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003) e NBR 15575 (ABNT, 2013).



Traçando um paralelo com o que foi desenvolvido na seção anterior, é possível elencar algumas das características de WF e LSF que tornam esses sistemas racionalizados.

Ambos terceirizam parte do processo produtivo para indústrias de apoio, substituem etapas que não agregam valor na obra por etapas de montagem de módulos pré-fabricados, empregam mão de obra qualificada e buscam reduzir custos, desperdícios e tempo de obra.

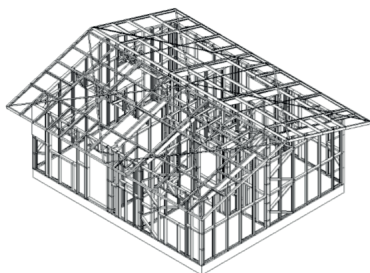
Steel Framing e Wood Framing: diferenças entre esses dois sistemas

Foram discutidas algumas características, particularidades, vantagens e desvantagens de dois sistemas construtivos, cuja característica em comum é a racionalização em seus processos produtivos. Tanto WF como LSF possibilitam uma construção mais rápida, canteiros de obra mais organizados com o emprego de mão de obra mais qualificada e uma edificação mais leve. Por outro lado, também é possível apontar algumas diferenças básicas entre as duas metodologias.

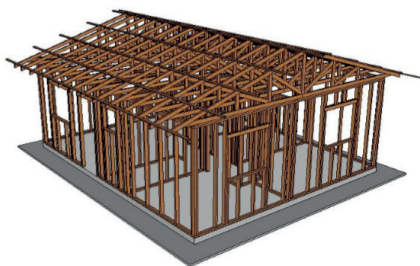
Ecker e Martins (2014) desenvolveram um trabalho no qual estabelecem um paralelo entre os dois sistemas com aplicação em habitações de interesse social. Adotando-se a perspectiva dos autores, serão feitas algumas considerações a seguir.

A Figura 1.7 apresenta dois esquemas isométricos para uma mesma planta, contudo à esquerda a estrutura foi pensada em *Light Steel Framing* (LSF) e, à direita, em *Wood Framing* (WF).

Figura 1.7 | Esquemas isométricos para habitação de interesse social: a) estrutura em LSF; b) estrutura em WF



a)



b)

Fonte: Ecker e Martins (2014, p. 55-56).

Ambos sistemas proporcionam um carregamento mais leve na base, o que permite uma fundação mais simples, geralmente superficial, tal como o radier ou a sapata. A primeira diferenciação ocorre quanto ao material para a estrutura, uma vez que o LSF emprega o aço galvanizado, enquanto WF é estruturado em madeira tratada, usualmente oriunda de reflorestamento. Para impermeabilização da edificação, empregam-se técnicas semelhantes, já descritas anteriormente, e o mesmo ocorre com as etapas de isolamento térmico e acústico e instalações.

Os autores pontuam que as principais diferenças se dão em termos de custos e planejamento, uma vez que LSF é ligeiramente mais caro devido ao preço mais elevado do aço, comparativamente à madeira. Por outro lado, o aproveitamento da madeira é menor em virtude das limitações de dimensões, por se tratar de um material natural, enquanto as peças de aço podem ser produzidas conforme demanda.

Outro aspecto diz respeito ao impacto da produção da matéria-prima e, nesse sentido, a madeira é material que contribui mais com um desenvolvimento sustentável, na medida em que, além de renovável, apresenta menores custos de produção e menores taxas de emissão de . Já a estrutura em aço apresenta a vantagem de ser completamente reciclável.

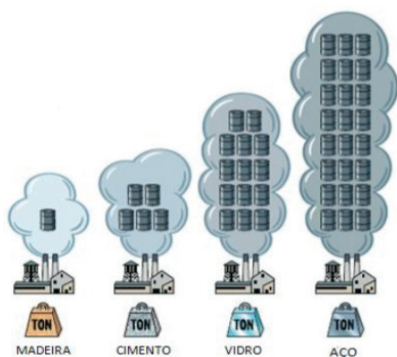


Exemplificando

A preocupação com o meio ambiente tem se mostrado tema principal na busca por um desenvolvimento mais sustentável. Nesse sentido, é necessário compreender, em termos práticos, o gasto de energia para a produção das principais matérias primas empregadas nos sistemas construtivos a fim de se fazer escolhas que beneficiem o ambiente.

A Figura 1.8 contém, esquematicamente, um comparativo de gasto de energia na produção de alguns insumos da construção civil.

Figura 1.8 | Comparativo da quantidade de energia necessária para a produção de uma tonelada de madeira, cimento, vidro e aço



Fonte: Ecker e Martins (2014, p. 30).

Ao observar a Figura 1.8, como você acredita que o gasto energético se reflete na busca por sustentabilidade no segmento da construção?

Sem medo de errar

Você é um gestor de obras que ministrará uma palestra sobre *Steel* e *Wood Framing*. Nesse sentido, sua fala para os espectadores se inicia com a afirmação de que é possível construir de maneira mais industrializada a partir de metodologias alternativas ao concreto armado convencional.

Na explanação inicial, você apresenta as metodologias *Steel* e *Wood Framing*, os quais são dois exemplos de sistemas industrializados e racionalizados aplicáveis à construção civil. Eles empregam mão de obra qualificada, tanto na etapa de fabricação dos componentes, como na montagem dos módulos no canteiro.

Você explica aos presentes que *Light Steel Framing* é um sistema construtivo baseado na estruturação das paredes e lajes por meio de perfis de aço galvanizado. Dessa forma, obtêm-se módulos leves capazes de receber as cargas da edificação e subdividi-las entre os perfis componentes de cada painel. A etapa de fabricação dos painéis é usualmente feita fora do canteiro, inclusive com a passagem das tubulações, impermeabilização, isolamento térmico-acústico e parte dos fechamentos das paredes. Com isso, quando os painéis chegam à obra, realizam-se as marcações, o posicionamento dos painéis, a fixação por meio de parafusos, os fechamentos finais e acabamentos.

No que diz respeito ao *Wood Framing*, a ideia central é a mesma do LSF, assim como as etapas, contudo a estruturação se dá por meio de peças de madeira de reflorestamento tratada. Ambos sistemas se definem pelos painéis na forma de um esqueleto estruturado, em aço e madeira, respectivamente, cujos espaços vazios são preenchidos pelas tubulações das instalações e por material que adiciona propriedades de isolamento térmico e acústico. O fechamento dos painéis-parede pode se dar, internamente, por placas de *drywall* e, externamente, por placas cimentícias, revestidas de maneira semelhante a uma parede convencional.

A fabricação do esqueleto dos painéis pode ser realizada sob medida, segundo paginação específica, em uma planta industrial e, em seguida, essas peças são enviadas para a obra, apenas para montagem no local.

A fim de antecipar algumas das dúvidas dos presentes, você aborda as vantagens e desvantagens das metodologias e já adianta que os benefícios são maiores.

No LSF, os componentes são produzidos em chapas de aço finas, o que confere relativa leveza à estrutura sem perda da resistência mecânica, característica do aço. O aço é um material homogêneo e garante maior assertividade nos cálculos, menos desperdícios e segurança.

Em ambos, LSF e WF, o canteiro de obras tende a ser mais limpo e organizado, a mão de obra mais qualificada e o tempo de construção reduzido, o que reduz o tempo de exposição da equipe aos riscos de acidentes de trabalho. Ambos apresentam elevado desempenho térmico e acústico graças à combinação com outros materiais para fechamento das paredes, demandam menos energia com aquecimento interno, o que proporciona economia deste insumo, em comparação com os sistemas convencionais de construção. Sua execução se dá independente de períodos de chuva, pois os painéis podem ser previamente montados ao abrigo das intempéries. A maneira como as cargas são distribuídas proporciona alívio das fundações.

O aço dificulta a propagação de incêndio, sofre menos com ataques de cupins e outras pragas e é resistente à corrosão devido à galvanização. Além disso, é um material reciclável.

Por outro lado, os dois sistemas sofrem com a falta de mão de obra especializada no país e as restrições de uso impostas devido à leveza da estrutura, o que limita o número máximo de pavimentos, bem como a fixação de elementos muito pesados nas paredes e teto.

Como diferenças entre os dois, a mais óbvia é o material empregado para a estrutura, uma vez que o LSF emprega o aço galvanizado, enquanto WF é estruturado em madeira tratada, usualmente oriunda de reflorestamento. Para impermeabilização da edificação, empregam-se técnicas semelhantes, já descritas anteriormente, e o mesmo ocorre com as etapas de isolamento térmico e acústico e instalações.

O LSF tende a ser ligeiramente mais caro devido ao preço mais elevado do aço, comparativamente à madeira. Por outro lado, o aproveitamento da madeira é menor em virtude das limitações de dimensões por se tratar de um material natural, enquanto as peças de aço podem ser produzidas conforme demanda.

No que diz respeito ao impacto da produção da matéria-prima, a madeira é um material que contribui mais com um desenvolvimento sustentável, na medida em que, além de renovável, apresenta menores custos de produção, demanda menos energia e menores taxas de emissão de CO₂ na sua fabricação. Já a estrutura em aço apresenta a vantagem de ser completamente reciclável.

Avançando na prática

Tratamentos prévios para o aço e madeira para sua aplicação em LSF e WF, respectivamente

Descrição da situação-problema

Você e um amigo se encontram e ele lhe confia que pretende investir na construção de um shopping. Como ele sabe que você é um respeitado profissional atuante no mercado da construção civil e especialista em *Light Steel Framing*, aproveitou a oportunidade para conversar sobre o assunto e tirar algumas dúvidas. Ele pretende estudar com os projetistas contratados para o empreendimento a possibilidade de executar a estrutura em LSF. Porém, ele tem dúvidas ainda com relação aos sistemas de vedação, por isso lhe perguntou: “Quais as opções de fechamento

das paredes internas e externas em *Light Steel Framing*?" e "Essa etapa também pode ser industrializada?"

Resolução da situação-problema

Durante a conversa, você explica para seu amigo que há no mercado diversas opções de fechamento para as paredes externas e internas, inclusive sistemas para fachadas que incorporam características industrializadas ao processo. Como exemplo para o fechamento externo, existem as placas cimentícias, que são afixadas por parafusos, um sistema também industrializado e que oferece maior resistência às intempéries. Internamente, usam-se placas de gesso acartonado.

Como acabamento, ambos podem ser revestidos normalmente por pintura, textura, revestimentos cerâmicos, etc. Há a opção também de se empregar a construção em painéis, os quais já vêm da fábrica com o revestimento e isolamento. Na obra, apenas se montam esses componentes.

Faça valer a pena

1. Tanto *Light Steel Framing* (LSF) como *Wood Framing* (WF) são sistemas construtivos alternativos às metodologias tradicionais que buscam, por meio da racionalização de seus processos, implementar maior rapidez às obras, com o emprego de mão de obra qualificada. Ambos se baseiam na montagem de painéis pré-fabricados, estruturados em aço e madeira, respectivamente.

Com base nas características e premissas desses dois sistemas, marque a alternativa que apresenta uma diferença entre eles.

- a) Enquanto os painéis do LSF são estruturados fora do canteiro, em WF as paredes devem ser produzidas na obra, devido a não uniformidade das peças de madeira.
- b) Devido aos custos mais elevados com o aço, o WF apresenta maior custo de produção, comparativamente ao LSF.
- c) O aço é um material reciclável, podendo a estrutura, em caso de desativação da edificação em LSF, ser completamente aproveitada, o que não ocorre com a madeira.
- d) Madeira e aço são materiais de construção renováveis e recicláveis.
- e) A madeira não precisa passar por processos de tratamento, já o aço passa pela galvanização.

2. A tabela a seguir apresenta os dados de consumo de energia, emissão de CO₂, poluição do ar e da água e geração de resíduos sólidos, bem como o impacto ambiental na construção de edifícios estruturados em madeira, aço e concreto.

Tabela | Comparação de três edifícios em madeira, aço e concreto

Material	Consumo Energia	Emissão de CO ₂	Poluição do ar	Poluição da água	Resíduos sólidos	Impacto Ambiental
Madeira	x	x	x	x	x	x
Aço	2,4 x	1,45 x	1,42 x	120 x	1,36 x	1,16 x
Concreto	1,7 x	1,81 x	1,67 x	1,9 x	1,96 x	1,97 x

Fonte: Barbosa, Ino e Shimbo (2000, p. 183).

Com base nos dados da tabela, marque a alternativa que apresenta uma afirmação correta.

- a) Os indicadores ambientais do aço e madeira têm como base os valores do concreto.
- b) Apesar da edificação em aço consumir mais energia que a madeira em seu processo produtivo, seu impacto ambiental é menor que o do concreto.
- c) O impacto ambiental do concreto é o mais elevado dos três materiais devido ao indicador de consumo de energia.
- d) Se para a construção de um conjunto habitacional em madeira tiver sido quantificada a quantidade de emissão de CO₂ em 2,3 toneladas, as emissões desse gás, em um empreendimento do mesmo porte em concreto seriam de 7,16 toneladas.
- e) Juntas, edificações em aço e concreto consomem 6,1 vezes mais a quantidade de energia que edificações em madeira.

3. *Wood Frame* (WF) e *Light Steel Frame* (LSF) são metodologias construtivas alternativas aos sistemas tradicionais, tais como concreto armado, por exemplo. Sobre as diferenças, vantagens e desvantagens que esses métodos mais industrializados apresentam frente ao concreto, são feitas as seguintes afirmações:

- I. LSF é uma metodologia que incorpora os preceitos da *Lean Construction* para diminuir custos e produtividade na construção de edificações, em comparação ao sistema em concreto armado.
- II. Traçando-se um paralelo com o concreto armado, WF aposta em mão de obra mais qualificada a fim de diminuir etapas de obra e racionalizar os processos. Porém, não se aplica a todos os portes de edificações.

III. O método em concreto armado apresenta inúmeras vantagens frente a tecnologias mais industrializadas; uma delas é a flexibilidade nos projetos, o que LSF não apresenta, por exemplo.

Sobre as afirmativas anteriores, marque a alternativa correta.

- a) As afirmativas II e III estão corretas.
- b) As afirmativas I e II estão corretas.
- c) Apenas a afirmativa III está correta.
- d) Apenas a afirmativa II está correta.
- e) Apenas a afirmativa I está correta.

Seção 1.3

Estruturas pré-moldadas

Diálogo aberto

Nas seções anteriores, você teve a oportunidade de compreender, em linhas gerais, as principais particularidades da construção enxuta e o que caracteriza os sistemas que adotam essa premissa. Como forma de exemplificar o que foi exposto na Seção 1, os sistemas construtivos tratados na Seção 2 foram Steel Frame e Wood Frame, os quais possibilitam uma execução mais rápida e racionalizada das etapas da produção de uma edificação.

Para tratar do tema dessa Seção 3, criou-se um novo contexto.

Você atua há bastante tempo com gestão de obras e foi convidado a participar da equipe de uma empresa que trabalha com projetos arquitetônicos, responsável por definir sistemas construtivos para os novos empreendimentos. Lembre-se que citamos uma feira de construção para exemplificar sua participação no evento. No terceiro dia, a feira abordaria estruturas pré-moldadas e a empresa decidiu patrocinar sua ida ao evento, para que você pudesse acompanhar de perto o que seria apresentado sobre esse assunto. Como você acredita que a industrialização da construção é um caminho sem volta, ficou bastante satisfeito com a oportunidade de aumentar seus conhecimentos.

Para o encerramento do evento, estavam previstas palestras, mesas-redondas, apresentação de cases de sucesso, etc. Tudo isso estava descrito na programação impressa do evento.

Chamou-lhe a atenção o fato do cartaz de chamada do dia ser organizado na forma de perguntas que fariam os espectadores refletirem previamente:

- Quais os métodos executivos de uma estrutura pré-moldada?
- Quais os critérios de controle de materiais e serviços?
- Quando esse tipo de construção se aplica?

Considerando o que será exposto a seguir, bem como o seu interesse em se aprofundar no assunto, você terá acesso a alguns

conceitos relativos a estruturas pré-moldadas em concreto, suas características gerais, suas aplicações e etapas de produção. Com isso, em breve você será capaz de responder às questões propostas.

Não pode faltar

Estruturas pré-moldadas: introdução

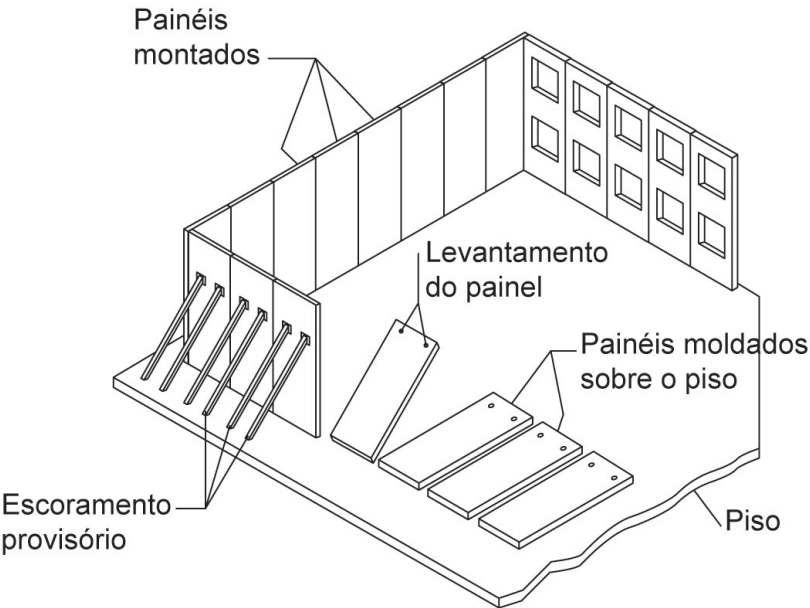
Quando se pensa em uma metodologia que integra aspectos da Construção Enxuta, o concreto pré-moldado (CPM) representa, certamente, um exemplo de sucesso na incorporação de técnicas de industrialização e racionalização em seus processos. Conforme cita Diógenes (2010), esse sistema é, conceitualmente, também associado à pré-fabricação. Isso porque parte da etapa de construção é efetuada fora do local onde as peças serão instaladas em definitivo, por processo em série e em massa. No canteiro, praticamente, apenas são encaixadas as peças em suas respectivas posições, por meio de equipamentos de elevação. Com isso, alcança-se maior produtividade, controle e rapidez na construção da edificação, bem como diminuição do desperdício.

Trata-se de um sistema bastante interessante também para vencer grandes vãos e possibilitar maior versatilidade na disposição dos espaços internos.

El Debs (2017) define o concreto pré-moldado como aquele que é moldado fora de sua posição definitiva. Já a norma NBR 9062 (ABNT, 2017) declara que os elementos pré-fabricados passam por controle de qualidade mais rigoroso do que o dos pré-moldados. É comum que esse último conceito se refira às peças moldadas nas proximidades da obra, em instalações provisórias e sem grandes investimentos em estruturas, maquinários e equipamentos. Conforme discorre El Debs (2017), as indústrias de pré-fabricados, com instalações próprias e larga produção, recebem tributação específica, o que contribui para desestimular seu crescimento e beneficia a existência dos processos mais arcaicos.

A Figura 1.9 ilustra um esquema construtivo conhecido como *tilt-up*, baseado na pré-moldagem próxima às instalações da obra. Peças concebidas nesse sistema são concretadas na horizontal e, posteriormente, erguidas para sua posição final por meio de equipamentos de elevação.

Figura 1.9 | Esquema construtivo tilt-up



Fonte: El Debs (2017, p. 29).

Diógenes (2010) resume, no Quadro 1.1, os tipos de concreto pré-moldado.

Quadro 1.1 | Resumo dos tipos de concreto pré-moldado

Tipos de pré-moldado		
Quanto ao local de produção dos elementos	Pré-moldado de fábrica	Pré-moldado de canteiro
Quanto à incorporação de material para ampliar a seção resistente no local de utilização	Pré-moldado de seção completa	Pré-moldado de seção parcial
Quanto à categoria do peso dos elementos	Pré-moldado pesado	Pré-moldado leve
Quanto ao papel desempenhado pela aparência	Pré-moldado normal	Pré-moldado arquitetônico

Fonte: adaptado de Diógenes (2010, p. 23).



Segundo as definições contidas no Quadro 1.1, sempre que é necessário complementar a peça estrutural com algum elemento resistente no momento da montagem, tem-se um pré-moldado de seção parcial (ex. vigotas de lajes pré-moldadas). A Figura 1.10 mostra peças cujas seções deverão ser completadas com concreto depois de posicionadas no local definitivo. É possível observar, ainda na Figura 1.10, as barras de aço externas à seção, que ficarão mergulhadas no complemento de concreto. Aquelas que não demandam essa complementação são do tipo seção completa.

Figura 1.10 | Pré-moldado de seção parcial



Fonte: <<https://bit.ly/2JfT7cN>>. Acesso em 12 abr. 2018.

As definições “leve” e “pesado” dizem respeito ao porte da peça estrutural. Por exemplo, vigotas de lajes pré-moldadas são elementos leves, e por isso não demandam equipamentos de grande porte para seu transporte; já as vigas de pontes, devido ao seu elevado peso, demandam equipamentos especiais.

Por fim, um pré-moldado pode desempenhar uma função arquitetônica, além da estrutural, por seu caráter estético, e assim costuma passar por um processo de acabamento em sua superfície para se garantir o efeito desejado.

No que diz respeito ao projeto estrutural, o CPM demanda a consideração de esforços diferentes daqueles apenas devidos à situação final da edificação, inclusive na ligação entre os diversos elementos pré-moldados. Outra diferença com relação a um projeto em concreto convencional é a necessidade de maior nível de detalhamento.



Exemplificando

As situações transitórias às quais o CPM está exposto correspondem à retirada das formas, transporte, armazenamento e montagem. Durante essas etapas intermediárias ao funcionamento da edificação podem ocorrer, por exemplo, concentrações de tensões, distorções nas peças, momentos não previstos, etc. Você consegue imaginar outras situações desse tipo a que o CPM possa estar sujeito?

Nesses casos, segundo Diógenes (2010), as solicitações podem ser ainda menos favoráveis do que as situações finais usuais a que uma edificação em concreto convencional estaria sujeita. O que torna uma solicitação desfavorável para a estrutura?

Quando se dimensionam as ligações entre as peças, a opção pelos tipos articulados facilita a distribuição do carregamento, porém submete à estrutura a valores mais acentuados de flexão, comparando-se ao concreto convencional. As ligações rígidas seriam a solução, contudo são de difícil execução, o que impacta diretamente a rapidez do modelo. Sobre, então, a opção semirrígida. Quais outros tipos de ligações estruturais existem?

Estruturas pré-moldadas: etapas de produção

Oliveira (2015) explica as etapas de produção de peças em concreto pré-moldado, que variam em função do tipo de CPM, segundo a classificação do Quadro 1.1. Nos pré-moldados de fábrica, as etapas envolvem a produção da peça, seu transporte à obra, montagem e ligações.

A produção tem início com a montagem das formas (comumente metálicas), posicionamento das armaduras (com aplicação de pré-tração nelas, quando for o caso), dosagem e lançamento do concreto.



O concreto, tanto o convencional como o pré-moldado, pode empregar armadura passiva (o aço não é protendido) e/ou armadura ativa (aço protendido). Há dois subtipos principais de protensão (BASTOS, 2018):

- Armadura de protensão pré-tracionada: barras de aço específicas para esse fim são submetidas a uma tensão de tração antes do lançamento do concreto na forma. Essa tensão só é relaxada após o endurecimento do concreto. Nesse processo, as barras aplicam uma força de compressão no concreto devido à aderência entre os dois materiais.
- Armadura de protensão pós-tracionada: as cordoalhas de aço atravessam o concreto sem contato direto com ele, pois ficam no interior de bainhas (dutos). Somente após o endurecimento do concreto elas são tracionadas. Em seu processo de relaxamento, as forças de compressão no concreto são aplicadas apenas nas extremidades da peça.

Segue indicação de bibliografia para que você amplie seus conhecimentos sobre a protensão e seu emprego no concreto pré-moldado. Atente-se quanto às vantagens e ao método mais empregado. Sugere-se a leitura dos capítulos 1.4; 3.2 e 3.5.

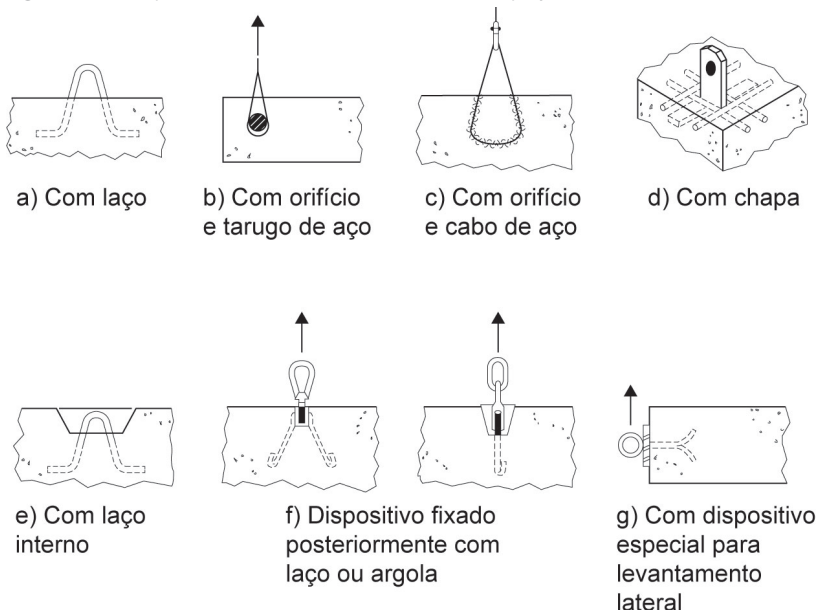
VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR JUNIOR, Kléos M. Lenz. **Concreto Protendido**: Fundamentos Básicos. 4. ed. Viçosa: UFV, 1998. 78 p. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Adicionalmente, indica-se a leitura da seguinte apostila, principalmente os capítulos 1, 2, 3 e 5:

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Concreto Protendido**. Bauru: Unesp, 2018. 100 p. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

Em seguida, assim que curadas e alcançada a resistência especificada em projeto, as peças são retiradas das formas, transportadas ao seu destino final, içadas por meio de equipamentos e conectadas à estrutura da edificação. Para seu manuseio, as peças pré-moldadas são projetadas já com dispositivos auxiliares para içamento, conforme mostra a Figura 1.11.

Figura 1.11 | Dispositivos auxiliares de manuseio das peças em CPM



Fonte: El Debs (2017, p. 58).

Deve-se atentar quanto aos cuidados durante o manuseio da peça pronta, para que não surjam concentração de tensões, nem que ela se danifique antes mesmo de ser transportada à obra.

O meio de transporte dos elementos prontos mais usado no Brasil é o rodoviário.



Reflita

Você já sabe que o CPM é um sistema industrializado de construção. Isso se reflete na organização do canteiro no planejamento para que seja possível a circulação de caminhões com os elementos produzidos, estocagem, conferência e sua organização. O canteiro deve ter disponível também equipamentos específicos para içamento das peças, tais como guias e guindastes. Quais outros cuidados relativos ao planejamento do canteiro impactam diretamente as etapas de recebimento e montagem da estrutura?

A Figura 1.12 mostra o içamento de elementos estruturais CPM por meio de grua.

Figura 1.12 | Içamento de pilares e paredes pré-moldadas por meio de grua



Fonte: <<https://bit.ly/2kumjhZ>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

Outra etapa da construção de uma edificação em concreto pré-moldado é a ligação entre os elementos estruturais corretamente posicionados. A ligação é uma etapa prevista em projeto a fim de que os esforços sejam corretamente distribuídos e convenientemente transferidos.

Senden (2015) apresenta os seguintes tipos de ligações em CPM: isostática, rotulada, semirrígida, engastada e a ligação entre viga e pilar.

Ocorre ligação isostática quando não há transmissão de esforços horizontais entre as ligações (SENDEN, 2015), o que permite, por exemplo o apoio de uma viga sobre o pilar por meio de uma camada de neoprene. A partir da Figura 1.13 é possível observar uma viga apoiada sobre um console, sendo a projeção lateral do pilar que, na Figura 1.13, recebe a viga. Trata-se de um recurso estrutural comum em peças que servem de apoio para outras e não recebem esforços horizontais.

Figura 1.13 | Encontro entre viga e pilar com console



Fonte: <<https://bit.ly/2IUUryf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Já na rotulada há transmissão de esforços horizontais, o que exige um reforço na ligação por meio do grauteamento de barras de aço unindo as duas peças estruturais. A ligação semirrígida é derivada da rótula, porém nela se deseja conter o momento que atua no ponto, utilizando-se reforço por barras de aço.

O engastamento pode se dar por a solda de chapa metálica entre a viga e o console, por exemplo. Já uma viga e um pilar podem ser ligados com chumbadores, pino de encaixe, parafusos e perfis metálicos.

É desejável também produzir as peças estruturais já com as passagens para tubulações das instalações elétricas, hidráulicas, incêndio, ar condicionado, etc. Isso só é possível a partir de uma boa compatibilização entre os diversos projetos de instalação, complementares, especiais e o estrutural, de maneira a garantir a eliminação das interferências e garantia da correta continuidade dos furos e passagens necessários.

Estruturas pré-moldadas: controle

Pietro (2002) explica que a qualidade do produto final é assegurada pelo atendimento às normas relacionadas ao concreto pré-moldado, aos seus componentes e etapas principais, tais como execução de formas, montagem das armaduras, protensão (quando for o caso), concretagem, desforma, transporte e montagem. Além disso, deve-se avaliar sempre o processo produtivo como um todo, se as etapas estão de acordo com o procedimento das normas e orientações do projetista, bem como conforme os documentos específicos da empresa responsável.

Usualmente, as formas, em processos com elevada repetição, são metálicas, o que garante seu maior aproveitamento, uma vez que sua durabilidade é maior. Na etapa de formas, o responsável na obra deve conferir as dimensões (em concordância com o projeto estrutural) e esquadros, uso de desmoldante, se for o caso, etc. Quanto às armaduras, deve inspecionar as dimensões e bitolas do aço (diâmetro da seção transversal); quantidade de barras; uso de espaçadores; protensão; quando for o caso, etc., sempre de acordo com o projeto. O profissional deve se atentar também quanto a quaisquer outros detalhes solicitados em projeto, tais como: presença de furos e passagens, reforços, etc.

Com relação ao concreto, é desejável que seja usinado (comprado de empresa especializada), que sejam solicitados os resultados dos parâmetros físicos e mecânicos de seus componentes (cimento, areia, brita, aditivos, etc.), nota fiscal com indicação do respeito aos parâmetros solicitados na compra, etc. Além disso, realiza-se seu controle tecnológico, com vistas à conferência dos resultados de resistência mecânica, ou qualquer outro parâmetro físico e mecânico que se faça necessário.

Empresas fabricantes de CPM que dispõem de Sistema de Gestão da Qualidade implantado em suas plantas devem manter documentação relativa à conferência de todas as etapas do processo produtivo, indicando quaisquer não conformidades verificadas durante a produção das peças. Regularmente, seu processo produtivo deve ser auditado interna e externamente, a fim de se melhorar o controle de qualidade da produção. A construtora responsável pela montagem no canteiro deve também manter

documentação e auditorias atualizadas, inclusive com relação aos equipamentos empregados na obra.

Estruturas pré-moldadas: exemplos

O concreto pré-moldado é empregado na produção de pilares, vigas, barras de treliças, placas de lajes e paredes, calhas, rufos, sistemas para fundações e fachadas, etc. (OLIVEIRA, 2015).

A Figura 1.14 exemplifica uma estaca para fundação em concreto pré-moldado.

Figura 1.14 | Estaca em concreto pré-moldado



Fonte: <<https://bit.ly/2kzBqa9>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Oliveira (2015) trata também dos pórticos e sistemas do tipo esqueleto, comuns para estruturação de galpões, montados com pilares, lajes e vigas pré-moldadas.

Um outro exemplo de aplicação do CPM são os painéis portantes que acumulam a dupla função de estruturação e vedação, inclusive já com o acabamento. Seu uso como elemento estrutural se dá quando a parede tem o papel de receber as cargas da edificação e transmitir a outros elementos. Além disso, esses painéis têm a função de separar os diferentes cômodos da edificação, bem como a área interna da externa, por isso também acumulam a função de vedação. Têm como vantagem a supressão de etapas construtivas,

pois apresentam acabamento liso e promovem isolamento acústico, entre outras funções.

O autor lembra também que diversas pontes são executadas em concreto protendido e pré-moldado e comenta que há diversas metodologias de montagem das peças. A Figura 1.15 exemplifica a montagem por balanços sucessivos.

Figura 1.15 | Ponte em montagem por balanços sucessivos



Fonte: Rosemblum (2009 apud OLIVEIRA, 2015, p. 15).

Almeida (2010) apresenta as etapas de produção de lajes alveolares protendidas e em CPM no Capítulo 1.1. Esses elementos estruturais são empregados lado a lado com camada complementar de concreto e podem ser apoiados tanto sobre vigas pré-moldadas e moldadas in loco como metálicas.

Segundo ele, as cordoalhas de aço são pré-tracionadas antes do lançamento do concreto, o qual apresenta resistências à compressão acima de 40 MPa. Alcançada a resistência do concreto, o pré-esforço é liberado, as peças são cortadas no tamanho desejado e armazenadas, conforme mostra a Figura 1.16.

Figura 1.16 | Lajes alveolares empilhadas



Fonte: Almeida (2010, p. 3).

Sem medo de errar

Conforme você pôde acompanhar ao longo dessa seção, o concreto pré-moldado é um sistema já consagrado na construção civil pela capacidade de incorporar características industriais ao processo de execução das edificações.

Certamente, investidores e clientes que desejam construir um empreendimento mais rapidamente, com canteiros mais organizados e limpos e menor contingente de colaboradores em obra, podem analisar a viabilidade de solicitar aos projetistas que estudem essa solução. Além disso, esse sistema é bastante eficaz quando se deseja vencer grandes vãos e dispor de maior espaço interno para organização dos ambientes. Por isso, é comum sua escolha na construção de galpões comerciais, shoppings, hospitais, etc.

Segundo foi exposto na seção, há diferentes metodologias de produção de CPM.

Os pré-moldados de canteiro são produzidos nas proximidades da obra onde serão montados, ou em seu próprio canteiro. Têm menores índices de repetição, pois são produzidos sob demanda e, por isso, apresentam menor produtividade e menor grau de controle. Nesses casos, deve-se avaliar a viabilidade com bastante cuidado, por exemplo, quanto ao uso de formas metálicas ou outro insumo que apresente preço elevado e possa inviabilizar a obra.

Os pré-moldados de fábrica, por outro lado, têm elevado grau de repetitividade, o que pode viabilizar o emprego de insumos mais caros, pois se ganha no volume e no prazo. As peças são produzidas em planta fora do canteiro, não necessariamente nas proximidades do empreendimento de destino. Esse fator demanda a inclusão do transporte dos elementos da indústria para a obra no estudo de viabilidade e orçamento da edificação. Esse grupo tem maior grau de industrialização e, no canteiro, praticamente as peças são apenas montadas.

Esse subgrupo apresenta as seguintes etapas: produção da peça, seu transporte à obra, montagem e ligações. A produção consiste na montagem das formas, que podem ser metálicas; posicionamento das armaduras, com ou sem uso de protensão; dosagem e lançamento do concreto. Com a cura e ganho da resistência desejada do concreto, retiram-se as formas, transportam-se as peças para seu destino final, onde são içadas por meio de equipamentos e conectadas à estrutura da edificação. O manuseio das peças concretadas se dá por meio de dispositivos auxiliares. Eles evitam o surgimento de concentração de tensões, danos no manuseio e facilitam essa etapa.

A montagem dos diversos elementos em CPM que compõem a edificação envolve a ligação entre cada um, para que os esforços sejam corretamente distribuídos e convenientemente transferidos.

Essas ligações podem ser: isostática, rotulada, semirrígida, engastada e a ligação entre viga e pilar.

As peças estruturais que demandam complementação por meio de outro elemento resistente são do tipo pré-moldado de seção parcial (ex. vigotas de lajes pré-moldadas).

De acordo com o porte da peça estrutural, os elementos se classificam em "leve" e "pesado". Usualmente, aquelas que não demandam equipamentos de grande porte para seu transporte são leves; já as pesadas demandam esse tipo de máquina para sua movimentação.

O pré-fabricado pode desempenhar também uma função arquitetônica, além da estrutural. Nesse caso, devido ao seu caráter estético, ele passa por um processo de acabamento em sua superfície para se garantir o efeito desejado.

O controle da qualidade do produto final é realizado com a avaliação do processo como um todo; se as etapas estão de acordo com o procedimento das normas e com as orientações do projetista, bem como conforme os documentos específicos da empresa responsável. Quando da execução das formas, são conferidas as dimensões e esquadros, uso de desmoldante, se for o caso, etc. Com relação às armaduras, inspecionam-se as dimensões e bitolas do aço; quantidade de barras; uso de espaçadores; protensão (quando for o caso), entre outros itens, sempre de acordo com o projeto. Deve-se ficar atento a quaisquer outros detalhes solicitados em projeto, tais como: presença de furos e passagens, reforços, etc.

É comum que o concreto empregado seja usinado e que a empresa responsável pela sua produção forneça os resultados dos parâmetros físicos e mecânicos do cimento, da areia, brita e aditivos, entre outros. Ela deve entregar, no dia da concretagem, a nota fiscal indicando os parâmetros do material. Mesmo com os resultados fornecidos pela concreteira, a empresa que fabrica os pré-moldados realiza o controle tecnológico do concreto, de maneira a conferir, por meio de ensaios, os resultados de resistência mecânica, ou qualquer outro parâmetro físico e mecânico que se faça necessário.

É sempre desejável que as empresas fabricantes de CPM, bem como as demais envolvidas na construção da edificação, disponham de Sistema de Gestão da Qualidade. Elas devem manter documentação relativa à conferência de todas as etapas do processo produtivo, indicando quaisquer não conformidades verificadas durante a produção das peças, e seu processo produtivo deve ser auditado internamente e externamente. Todos os equipamentos e ferramentas empregados devem ser aferidos dentro dos prazos recomendados nos respectivos procedimentos técnicos.

A qualidade do produto final é assegurada pelo atendimento às normas relacionadas ao concreto pré-moldado, aos seus componentes e etapas principais, tais como execução de formas, montagem das armaduras, protensão (quando for o caso), concretagem, desforma, transporte e montagem.

Concreto pré-moldado para vencer grandes vãos

Descrição da situação-problema

Você faz parte da equipe multidisciplinar de uma empresa de projetos para edificações. Nesse momento, participa de uma reunião com os demais projetistas para a definição do sistema construtivo de um shopping. Dela participa também um dos investidores do empreendimento, que lhe pergunta: para esse tipo de edifício, o concreto pré-moldado seria indicado? Por quê?

Resolução da situação-problema

Você explica ao investidor que sim, o concreto pré-moldado é indicado para essa situação, e passa a elencar algumas características e vantagens que sustentam sua afirmação.

Por se tratar de um shopping, o cronograma é apertado, pois atrasos significam demora em implantar as lojas e demais fontes geradoras de renda para o investidor, tais como estacionamentos. Nesse sentido, o CPM apresenta etapas bem definidas, racionalizadas e mais fáceis de controlar por meio de cronogramas físicos e financeiros. Esse sistema admite a interface com outros projetos também industrializados, como fechamentos e vedações por painéis, fundações pré-fabricadas, acabamentos internos em *drywall*, etc.

Além disso, trata-se de metodologia construtiva que permite projetos com grandes vãos, o que é bastante interessante em shoppings e outros empreendimentos que necessitem de flexibilidade na disposição interna dos ambientes e lojas. Isso significa que a estrutura dos andares pode ser o mais aberta possível para que as divisões internas ocorram convenientemente por meio de um sistema de vedação industrializado, como por exemplo: *drywall*, placas cimentícias, divisórias, etc.

Faça valer a pena

1. Existem no mercado diferentes tipos de sistemas em concreto pré-moldado, de acordo com o local de sua produção e outros parâmetros. Sobre esse assunto, são feitas as seguintes afirmações:

- I. O pré-moldado de canteiro demanda a instalação de uma indústria para a produção das peças em CPM na obra, com controle rígido da produção e produção em larga escala.
- II. Quando do emprego do pré-moldado de seção completa, dispensa-se a incorporação de material para a ampliação da seção resistente do sistema. Um exemplo prático desse tipo são as lajes alveolares.
- III. Para o emprego com apelo estético, o pré-moldado passa por tratamento posterior e acabamento superficial que lhe conferem o efeito desejado.

Com base nas afirmativas anteriores, marque a alternativa correta.

- a) Estão corretas apenas as afirmativas I e II.
- b) Apenas a afirmativa II está correta.
- c) Apenas o que se afirma em III está correto.
- d) Estão corretas apenas as afirmativas I e III.
- e) Estão corretas apenas as afirmativas II e III.

2. Sobre as etapas de produção de peças em concreto pré-moldado, seguem algumas afirmações:

- () Aplica-se o desmoldante após o posicionamento do aço da estrutura a fim de garantir maior facilidade na retirada das formas e menor risco de movimentação da armadura.
- () É comum no Brasil o transporte de pré-fabricados de concreto por meio rodoviário. Durante o transporte, deve-se atentar quanto aos riscos de quebra das peças, movimentação excessiva que gere distorções não previstas ou concentrações de tensões.
- () Um tipo de ligação entre peças pré-fabricadas, já na montagem em obra, é o engaste. Ele pode ser feito com uma solda de chapa metálica, conectando-se uma viga e um console. Esse tipo de solução é definido em campo, pelo gestor da obra.

Seja (V) para verdadeiro e (F) para falso, marque a alternativa a seguir que julga corretamente as afirmativas anteriores na ordem em que aparecem.

- a) V, F, V.
- b) F, F, F.
- c) V, V, F.
- d) F, V, V.
- e) F, V, F.

3. O concreto pré-moldado é um sistema construtivo já consagrado na engenharia devido à sua elevada produtividade, diminuição de desperdícios e racionalização dos processos. Além disso, integra facilmente outras indústrias do segmento, gerando renda, empregos e mão de obra qualificada.

Considerando seus conhecimentos sobre o concreto pré-moldado, marque a alternativa correta.

- a) Os dispositivos auxiliares para içamento são executados já na obra para facilitar o içamento e transporte dos elementos pré-moldados.
- b) Um canteiro da obra de um empreendimento em pré-moldado de fábrica deve dispor de uma central de concreto usinado no local para execução das ligações e complementos de seção resistente.
- c) Na ausência de uma norma específica para concreto pré-moldado, cada construtora pode fixar seus parâmetros produtivos e de montagem das peças.
- d) O concreto usinado apresenta maior controle de seus parâmetros, e seu emprego na indústria de pré-moldados garante maior facilidade no controle tecnológico das propriedades desejadas e maior produtividade, por meio da terceirização da etapa da fabricação desse insumo.
- e) A protensão é uma etapa comum a todos os tipos de estruturas pré-fabricadas e deve ser realizada ainda durante a produção, antes do lançamento do concreto. Trata-se de uma técnica que aumenta a resistência mecânica das peças.

Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da Construção Industrializada**: Conceitos e etapas. Brasília: ABDI, 2014. Disponível em: <<http://www.abramat.org.br/datafiles/publicacoes/manual-construcao.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

ALMEIDA, André F. de O. **Comportamento de Lajes Alveoladas Sujeitas a Cargas Pontuais**: Análise Numérica da Distribuição de Esforços. 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

AQUINO, Ligia M.; BARROS, Mércia M. S. B. Light Steel Framing aplicado à construção de habitação de interesse social: Interação entre vedos vertical e estrutura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Artigo**. Canela: ENTAC, 2010. p. 1-10. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/95.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. ABNT, 2013.

_____. **NBR 15253**: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais. ABNT, 2014.

_____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BARBOSA, Juliana C.; LINO, A.; SHIMBO, L. Indicadores de Sustentabilidade na cadeia produtiva de habitação em madeira de reflorestamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Artigo**. Salvador: ENTAC, 2000. p. 181-188. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_366.pdf>. Acesso em: 21 maio 2018.

BASTOS, Paulo S. dos S. **Concreto Protendido**. Bauru: Unesp, 2018. 100 p. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

CARVALHO, Anderson T. de. Produção enxuta. **Comunidade ADM**, [s.l.], nov. 2010. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/producao-enxuta/49630/>>. Acesso em: 9 mar. 2018.

CENTRO DE TREINAMENTO BRASILIT. **Construção Industrializada**. [S. l.]: Brasilit, 2014. 88 p. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/sites/default/files/treinamentos/pdf/apostila-construcao-industrializada.pdf>>. Acesso em: 9 mar. 2018.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2003.

CONSTRUSECO. **Etapas Construtivas**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.construseco.com.br/etapas.html>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

CORSINI, Rodnei. Paredes normatizadas. Revista Técnica, São Paulo, n. 183, dez. 2011. Disponível em: <<http://technet17.pini.com.br/engenharia-civil/183/paredes-normatizadas-norma-inedita-para-paredes-de-concreto-moldadas-287955-1.aspx>>. Acesso em: 22 maio 2018.

DIÓGENES, Hidelbrando J. F. **Análise tipológica de elementos e sistemas construtivos pré-moldados de concreto do ponto de vista de sensibilidade a vibrações em serviço.** 2010. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06042010-110905/pt-br.php#?>>. Acesso em: 7 abr. 2018.

ECKER, Taienne W. P.; MARTINS, Valdemar. **Comparativo dos sistemas Steel frame e Wood frame para habitações de interesse social.** 2014. 154 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4016/1/PB_COECI_2014_2_7.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2018.

EL DEBS, Mounir K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 75 p. Disponível em: <<http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Concreto-pre-moldado-fundamentos-e-aplicacoes-DEG.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.** CEN: Belgium, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design.** CEN: Belgium, 2003.

FORMOSO, Carlos T. Lean Construction: princípios básicos e exemplos. **Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obras.** Porto Alegre, 2002, v. 15, p. 50-58.

GERMANO, Francimar. Ford e sua importância na linha de produção. **Comunidade ADM**, [s.l.], 2 jun. 2011. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/marketing/ford-e-sua-importancia-na-linha-de-producao/55589/>>. Acesso em: 9 mar. 2018.

GOUVEIA, Lucas. Steel Frame - A construção inteligente. Parte 1. **Portal Metálica**, [s. l.: s. d.]. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1450>. Acesso em: 25 mar. 2018.

_____. Steel Frame - A construção inteligente. Parte 2. **Portal Metálica**, [s. l.: s. d.]. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1451>. Acesso em: 25 mar. 2018.

JUNIOR, Carlito C.; LAHR, Francisco A. R.; DIAS, Antonio A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira.** Barueri: Ed. Manole, 2003.

JUNIOR, Carlito C.; MOLINA, Julio C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo.** São Paulo: Pini, 2010.

KATO, Ricardo B. **Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta**. 2002. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/111939/193963.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 8 mar. 2018.

MELO, Fernanda R. L. **Influência do uso de sistemas construtivos industrializados e racionalizados, na obtenção da certificação de qualidade ambiental AQUA nos grupos 2 e 3**: Estudo de caso em empreendimento imobiliário no Distrito Federal. 2014. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/6388>>. Acesso em: 8 mar. 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **DIRETRIZ SINAT nº 005 - Revisão 02**. Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "*Light Wood Framing*"). Brasília: SINAT, 2017.

MOLINA, Julio C.; JUNIOR, Carlito C. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. **Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/4017/6906>>. Acesso em: 22 maio 2018.

MOURA, Eride. Fachadas respirantes. **Revista Techné**, São Paulo, ed. 144, p.1-9, mar. 2009. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/144/fachadas-respirantes-fachadas-ventiladas-combinam-funcoes-esteticas-com-bom-287636-1.aspx>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

NAKAMURA, Juliana. Light wood frame. **Revista Técnica**, [s. l.], n. 148, jul. 2009. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/148/artigo286608-1.aspx>>. Acesso em: 22 maio 2018.

OLIVEIRA, Ana B. de F. **Inserção de sistemas industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil brasileira**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3281>>. Acesso em: 9 mar. 2018.

OLIVEIRA, Daniel F. C. **Concreto pré-moldado**: Processos executivos e análise de mercado. 2015. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A9SFZ8/monografia_final.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 abr. 2018.

PEDROSO, Sharon P. et al. Steel Frame na Construção Civil. In: ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL, 12., 2014, Cascavel. **Artigo**. Cascavel: Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, Faculdade Dom Bosco, 2014. p. 1 - 14. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/upload/ecci/anais/559532ca64bc5.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

PIETRO, João E. di. Critérios para otimização da produção e controle de qualidade para elementos pré-fabricados em concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Artigo**. Curitiba: Abepro, 2002. p. 1 - 6. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR21_1323.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.

REGO, Diogo J. M. **Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing**. 2012. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144743152/MScThesis Diogo Rego.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144743152/MScThesis%20Diogo%20Rego.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2018.

SACCO, Marcelo de F.; STAMATO, Guilherme C. Light wood frame - construções com estrutura leve de madeira. **Revista Técnica**, v. 16, p. 75-80, São Paulo: Pini, 2008.

SANTOS, Adriana de P. L.; ANTUNES, Cristiano E.; BALBINOT, Guilherme B. Levantamento de quantitativo de obras: comparação entre o método tradicional e experimentos em tecnologia BIM. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, v. 6, n. 12, p. 134-155, jan. 2015. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/2525/pdf_64>. Acesso em: 27 mar. 2018.

SANTOS, Virgílio S. M. dos. Produção enxuta. **Blog Melhoria de Processos**, mar. 2017. Disponível em: <<https://www.fm2s.com.br/producao-enxuta/>>. Acesso em: 9 mar. 2018.

SENDEN, Henry O. T. **Sistemas construtivos em concreto pré-moldado**. 2015. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015768.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS. **Etapas da Obra**. Ponta Grossa, 2018. Disponível em: <<http://smartsistemasconstrutivos.com.br/etapas-da-obra/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

TODARO, Mauro E. C. Produção Enxuta. **Sistemas Produtivos**. Curso de Engenharia Mecânica - UEMA. [S.d.]. Disponível em: <<https://sistemasprodutivos.wordpress.com/sistema-de-producao-enxuta/>>. Acesso em: 9 mar. 2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Construção em Madeira**: Sistema Plataforma - Estrutura. São Paulo: NUTAU-USP, 2016. Disponível em: <<http://www.usp.br/nutau/madeira/paginas/parede/estrutura.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

VERÍSSIMO, Gustavo de S.; CÉSAR JUNIOR, Kléos M. L. **Concreto Protendido**: Fundamentos Básicos. 4. ed. Viçosa: UFV, 1998. 78 p. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

VIEIRA, Luara B. **Projeto de paredes de concreto armado**: apresentação das recomendações normativas e avaliação da influência das aberturas. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/16209/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Luara_Batalha_Vieira.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.

Processos construtivos de conforto ambiental

Convite ao estudo

Olá, aluno!

A unidade anterior proporcionou-lhe alguns conceitos básicos e exemplos práticos para entendimento da Industrialização na Construção Civil. Nosso objetivo agora é ampliar os conhecimentos e, para tanto, é necessário que você reflita que, para além das exigências mais comuns, tais como segurança e funcionalidade, o usuário busca, também, sentir-se confortável em uma edificação.

E essa é uma demanda cada vez mais crescente, tanto que normas específicas vêm sendo editadas a fim de se contemplar as necessidades das pessoas em relação a uma construção, seja ela residencial, ou não. Deve-se ressaltar também que a preocupação com a sustentabilidade nas construções está impondo mudanças de postura dos envolvidos nas diversas etapas produtivas, bem como na utilização da edificação pronta. Essas mudanças convergem para processos e sistemas que consumam menos energia, gerem menos resíduos e ofereçam maior durabilidade.

Sendo assim, os profissionais deverão estar alinhados às normas e tecnologias disponíveis a fim de participarem desse processo ativamente. Tendo em vista o que foi declarado, a Unidade 2 explorará os processos construtivos voltados para o conforto ambiental sob os seguintes aspectos: térmico, acústico e lumínico.

A competência a ser cobrada de um profissional do segmento é conhecimento dos sistemas construtivos de

conforto ambiental, de maneira que ele seja capaz de definir materiais e técnicas para aplicação nas construções, seja nas instâncias de projeto e definição, ou no momento da execução. Para guiá-lo na aquisição desse conhecimento, propõe-se o seguinte contexto:

Suponha que você trabalhe em um escritório de projetos arquitetônicos, como parte da equipe que define sistemas construtivos, propõe soluções que atendam às demandas do cliente, elabora os desenhos e orienta os construtores na obra.

Toda a equipe sabe que, ao entrar em um imóvel, o usuário deseja se sentir confortável, buscando construções que lhe possibilitem abrigo contra o frio, ou ambientes mais arejados e amenos, conforme o caso. Além da temperatura, é comum que seus clientes busquem também isolamento contra os ruídos externos e aqueles causados pelo funcionamento dos sistemas da edificação. Vocês são constantemente cobrados para que o projeto seja eficiente quanto à iluminação dos ambientes, aproveitando ao máximo a luz natural e oferecendo conforto lumínico. Nesse sentido, faz-se necessário que as construções ofereçam também elevado desempenho acústico e lumínico.

Cada vez mais, os usuários sabem o que esperar de uma construção e se resguardam juridicamente a fim de obterem um produto com as especificações desejadas. Visando ao atendimento dessas exigências, a empresa na qual você trabalha segue sempre as normas, buscando as recomendações e diretrizes que a auxiliem nas escolhas de projeto.

Você seria capaz de se imaginar nessa situação? Quais conhecimentos são demandados de um profissional que especifica, ou mesmo executa, soluções que visem o conforto daqueles que usufruem de uma edificação?

Para lhe fornecer diretrizes ao entendimento dessas questões, a unidade tratará das normas, materiais, técnicas e exemplos aplicáveis aos sistemas construtivos de isolamento acústico e térmico, bem como do conforto lumínico.

Seção 2.1

Sistemas construtivos de isolamento térmico

Diálogo aberto

Na unidade anterior, você conheceu os conceitos relativos à Industrialização na Construção, bem como pode ter contato com exemplos de sistemas que empregam a racionalização em suas etapas. Já na Unidade 2, serão apresentadas normas, materiais, técnicas e exemplos aplicáveis aos sistemas construtivos de isolamento térmico, acústico e conforto lumínico.

Para a Seção 2.1, criou-se um contexto em que você é membro da equipe de um escritório de projetos arquitetônicos, no qual atua na definição de sistemas construtivos, propondo soluções que atendam às demandas do cliente, elaborando, adicionalmente, os desenhos e orientando os construtores na obra.

Em um dado momento, sua equipe foi contratada para elaborar o Projeto Arquitetônico de um edifício comercial de elevado padrão econômico, situado em um centro urbano. Nessa cidade, as médias de temperatura anual são bastante elevadas, chegando a ultrapassar 30°C durante o verão.

O edifício se destinará a abrigar salas comerciais para empresas que desejam implantar seus escritórios, salas de reunião, call centers, etc. Por isso, vocês deverão considerar que poderá haver um número elevado de pessoas por sala, a depender do tipo de negócio da empresa que comprar ou alugar a sala. Com isso, o conforto térmico é uma exigência desse projeto, para que o uso de condicionamento de ar seja o mínimo possível. Por outro lado, nesse tipo de projeto, é comum que se opte por fachadas em vidro, e seu cliente já sinalizou que gosta dessa solução, do ponto de vista estético. Ele inclusive lhe questionou, pois já ouviu falar que o vidro na fachada não contribui com o conforto térmico da edificação.

No desenvolvimento do projeto, você se preocupou em pesquisar boas alternativas de técnicas construtivas que possibilitassem o padrão de conforto desejado, incluindo, por exemplo, outras opções

para revestimento das fachadas. Quais sistemas estão disponíveis no mercado? Quais as desvantagens da fachada de vidro?

Quais normas se aplicam ao conforto térmico em edificações?

Quanto à escolha de materiais, quais são suas preocupações como projetista? Como profissional, para compreender e responder a essas questões, você deverá conhecer os materiais e técnicas disponíveis para uso nas edificações, visando o isolamento térmico. Adicionalmente, será imprescindível o conhecimento das normas pertinentes, bem como suas aplicações.

Não pode faltar

Isolamento térmico: Conceitos e Normas

Os usuários sempre buscam o bem-estar quando no interior de uma edificação e, no que diz respeito ao conforto térmico, introduzem sistemas complementares para alcançarem esse objetivo. Um exemplo de sistema complementar é o ar condicionado, instalado nos ambientes nos quais se deseja controlar a temperatura.

Contudo, a implantação desses sistemas complementares para melhoria da eficiência térmica das edificações tem seus aspectos negativos. Conforme pontua Vieira (2014), o setor residencial, de comércio e serviços são os maiores responsáveis pelo consumo de energia no Brasil.

Ainda segundo esse autor, essa situação vem gerando uma demanda por mudanças conceituais dos projetistas e construtores com o intuito de tornar as edificações mais eficientes. Em 2009, o relatório da Procel (VIEIRA, 2014) já sinalizava uma grande participação do condicionamento de ar no consumo de energia nas residências, com uma fatia de 20% de todo o gasto com aparelhos. No setor comercial, esse valor é ainda maior: 48%.

Dessa maneira, visando melhorar esse quadro, verificou-se a demanda por criar/melhorar procedimentos e normas que estabeleçam parâmetros e orientem projetistas na definição de sistemas, técnicas e materiais com melhor desempenho térmico para as edificações. Dessa necessidade, surgiu a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) intitulada *Edificações Habitacionais – Desempenho*, disponível na Biblioteca Virtual, que visa traduzir as exigências dos

usuários quanto ao desempenho das edificações nas seguintes instâncias: requisitos gerais, sistemas estruturais, pisos, vedações verticais internas e externas, coberturas e sistemas hidrossanitários.

No item 11, parte 1, da referida norma, aborda-se a adequação quanto ao desempenho térmico das construções, que podem ser avaliadas, quanto a esse requisito, tanto por meio de simulação computacional, como por medição em protótipos ou construções existentes. Alguns outros pontos desse item são descritos a seguir.



Assimile

As edificações devem apresentar condições térmicas internas iguais ou melhores que as do ambiente externo, à sombra, durante o verão. O método de avaliação é por simulação computacional.

Para o inverno, as condições térmicas internas devem ser melhores e não há necessidade de avaliação (ABNT, 2013). Nesse caso, a norma explicita que, nos ambientes de permanência prolongada, tais como sala e dormitórios, a temperatura interna mínima do ar, ao longo do dia, deve ser, pelo menos, 3°C superior à temperatura mínima externa.

Na fase de projeto, deve-se avaliar a unidade habitacional isolada como um todo; em caso de conjuntos habitacionais, uma unidade representativa com maior número de paredes expostas e, nos edifícios, a unidade do último andar. Todos os recintos devem ser simulados, bem como suas trocas térmicas com o ambiente, outros recintos e outras edificações.

Tendo como base os requisitos da norma, Vieira (2014) explica que os projetistas envolvidos (Engenheiros e Arquitetos) precisam ter conhecimento de materiais, sistemas e técnicas capazes de atender essas demandas. A partir disso, a concepção de um projeto deverá levar em conta as variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas. O estudo das variáveis climáticas leva a um melhor aproveitamento das condições de contorno (tais como ventilação e iluminação naturais) que possam influenciar na sensação térmica dentro da edificação. Isso evita, por exemplo, que o usuário sofra com insolação nos quartos nos horários mais quentes do dia, pouca circulação do ar na área de serviço, ambientes naturalmente pouco iluminados (o

que demanda maior uso de lâmpadas que, consequentemente, contribuem com o aquecimento do local), etc.

Vieira (2014) explica que a radiação solar é composta por ondas curtas, as quais são facilmente absorvidas por alguns materiais que, em seguida, refletem-nas com um comprimento de onda maior, o que, consequentemente, dificulta sua passagem de volta para o ambiente externo através das superfícies (lembre-se de que alguns materiais absorvem bem ondas curtas e não as longas). Por isso a etapa de definição dos materiais é tão relevante para o conforto do usuário, a fim de se evitar esse efeito estufa no interior dos ambientes.



Reflita

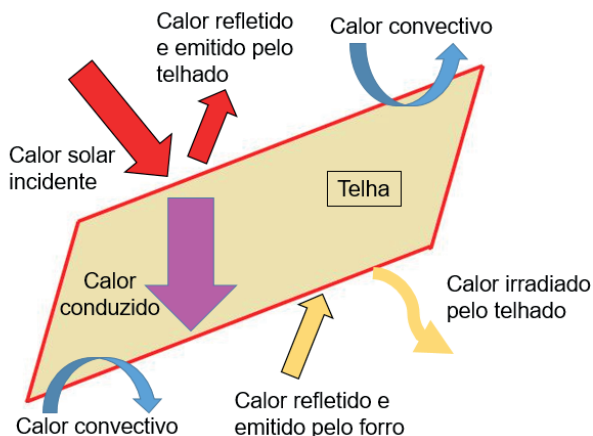
O vidro é um insumo largamente empregado na etapa de acabamento das edificações. Porém, ele é um exemplo de material que absorve facilmente as ondas curtas e é praticamente opaco à emissão das ondas longas de volta ao meio externo. Apesar disso, tem-se percebido seu emprego crescente como revestimento de fachadas. Qual a consequência disso para o conforto interno das edificações? Qual a solução mais usual para minimizar o desconforto interno em dias de calor nessas construções? Você diria que se trata de um material eficiente em regiões quentes e ensolaradas? Há outros materiais com características semelhantes?

Peralta (2006) explica os conceitos físicos para transmissão de calor a partir da definição de que essa transferência ocorre sempre que há um gradiente de temperatura em um sistema ou quando sistemas com temperaturas diferentes entram em contato. Há três processos de transferência do calor do sistema com maior temperatura para aquele com menor: condução, convecção e radiação. A condução envolve o contato entre corpos sólidos com temperaturas distintas ou em um mesmo corpo sólido com gradiente (variação) de temperatura; na convecção o processo é semelhante, mas envolve também o movimento de massa; já a radiação se passa na superfície por meio da emissão ou recepção do calor em forma de ondas eletromagnéticas, mesmo no vácuo.



Nas edificações, os três processos de transmissão de energia podem ser ilustrados a partir da Figura 2.1.

Figura 2.1 | Representação das trocas de calor em um telhado



Fonte: adaptado de Akutsu (2003 apud PERALTA, 2006).

Da observação da Figura 2.1, percebe-se que a condução pode acontecer na transferência do calor da face externa da telha para sua face interna, aproveitando o gradiente que se estabelece no material. A convecção se processa na medida em que o ar quente se expande, troca calor com a superfície da telha, esfria e diminui de volume. Esse movimento de volume faz com que o ar circule e transporte o calor para diferentes espaços. A radiação pode ser percebida tanto no calor que chega do sol, como naquele que se transporta da face interna da telha e aquece o ambiente interno sem o contato com outro corpo.

Na fase de projetos, os profissionais envolvidos devem levantar as piores situações climáticas ao longo do ano, sejam elas o frio extremo ou o calor excessivo, e apontar as intervenções adequadas.

Outras variáveis são mais humanas e dependem do tipo de uso da edificação ou ambiente, pois há diferença quando se pensa na temperatura de conforto para os locais de repouso e aqueles de trabalho, principalmente quando nesses últimos há a presença de computadores, mais iluminação, maior número de pessoas aglomeradas, roupas, etc.

O autor cita também as variáveis arquitetônicas relacionadas à escolha de sistemas e materiais para a construção, aberturas, fachadas, formato, etc. Essas variáveis determinam a absorção e emissão de calor, bem como a circulação interna do ar.

A norma NBR 15.220-2 (ABNT, 2003) estabelece os procedimentos e metodologias para cálculo das propriedades térmicas dos materiais e componentes das edificações. Com base na referida norma, elaborou-se a Tabela 2.1 que contém os valores de densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de alguns materiais empregados na Construção Civil.

Tabela 2.1 | Parâmetros físicos dos materiais empregados na Construção Civil

Material	Densidade de massa aparente (kg/m³)	Condutividade térmica (W/(m.K))	Calor específico (kJ/(kg.K))
Argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
Concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
Placa de gesso, gesso acartonado	750-1000	0,35	0,84
Madeira compensada	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
Aço, ferro fundido	7800	55	0,46

Fonte: ABNT (2003, p. 9).

A partir da Tabela 2.1 nota-se a diferença dos valores de condutividade térmica e calor específico entre os materiais. Ao se comparar o aço ao compensado de madeira, por exemplo, nota-se que o primeiro apresenta uma condutividade térmica muito maior e, por outro lado, menor calor específico. Sabe-se que a condutividade está diretamente relacionada à condução de calor do material, já o calor específico quantifica a energia necessária para aumento de sua temperatura. Nesse sentido, o aço, claramente, conduz melhor o calor do que a madeira, transmitindo-o para outro corpo com mais facilidade e, conseqüentemente, demandando menos energia para ser aquecido.



Como as propriedades descritas, para os materiais anteriores podem influenciar no conforto térmico de uma edificação?

Comparando o gesso ao concreto, a partir da Tabela 2.1, qual deles apresenta maior isolamento térmico?

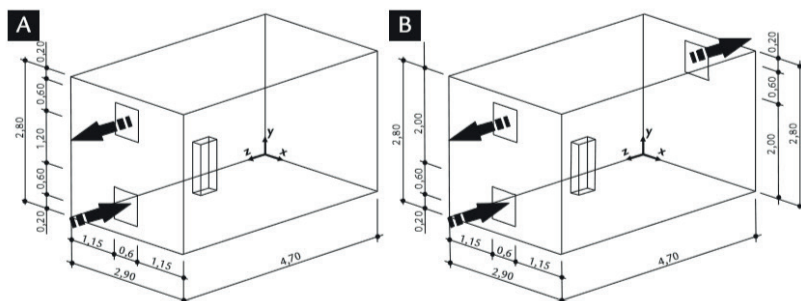
A parte 3 dessa norma divide o mapa do Brasil em zonas bioclimáticas e apresenta algumas diretrizes construtivas aplicáveis a elas.

Para além das NBR's, é relevante destacar também a certificação americana LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Trata-se de uma série de requisitos de sustentabilidade a serem cumpridos pelas edificações novas ou em reforma a fim de que elas alcancem essa certificação. O LEED considera o conforto ambiental, aspectos socioeconômicos e ecológicos na avaliação do empreendimento para sua classificação. Através de simulação computacional, as edificações novas devem apresentar 10% de redução de consumo energético, já as em reforma, 5%. Vieira (2014) comenta que há estudos que demonstraram uma redução de 28 a 39% no consumo de energia das construções com essa certificação, quando comparadas às que não possuem.

Isolamento térmico: aplicações, alguns materiais e sistemas disponíveis

Souza e Rodrigues (2012) consideram que a ventilação natural é dos recursos mais eficientes para conforto ambiental nas edificações. A maneira mais usual de aproveitamento da circulação natural do ar se dá por meio das aberturas nas fachadas (janelas), que permitem a passagem do vento através da edificação, auxiliando no seu resfriamento, quando esse é necessário. Através da Figura 2.2, os autores apresentam os dois tipos de ventilação considerados: unilateral e cruzada.

Figura 2.2 | Tipos de ventilação (A) Unilateral; (B) Cruzada



Fonte: Souza e Rodrigues (2012, p. 190).

Em muitos casos, a ventilação cruzada pode ser a solução mais eficiente. Em todo caso, a técnica mais comum e conhecida para condicionamento do ambiente interno é a instalação das janelas e portas para circulação do ar e troca de calor entre as superfícies e o ambiente.

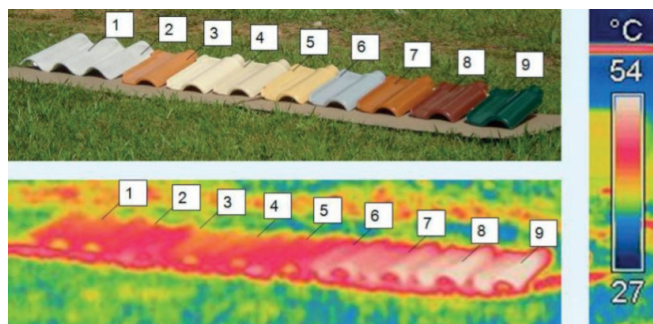
Vieira (2014) cita diversas técnicas que podem tornar a temperatura interna da edificação mais agradável, algumas das quais serão descritas nos próximos parágrafos:

A forma da construção altera a maneira como os raios solares incidem sobre a superfície. Nesse sentido, as formas arredondadas contribuem para uma menor incidência dos raios solares, já que há uma redução na área superficial. Essa preocupação pode ser interessante em regiões de climas mais quentes ou em que a temperatura varia muito ao longo do dia, pois promove a manutenção da temperatura interna.

Considerando a escolha do tipo de revestimento para as fachadas, deve haver também essa preocupação, já que essas são o limite entre o espaço interno e o externo e contribuem diretamente com as trocas de calor. A troca de calor com o meio externo se dá por condução, convecção ou radiação e, por isso, de acordo com o objetivo do projeto, opta-se por materiais e técnicas que dificultem ou facilitem a entrada do calor no interior. Por exemplo, o sistema de fachada aerada é conhecido por dificultar a entrada do calor na edificação na medida em que o revestimento não fica em contato direto com as alvenarias externas. Esse espaço entre a parede e o acabamento da fachada é ocupado por ar, que tende a circular

de baixo para cima, através de um movimento natural no qual o ar quente sobe até se dissipar e frio penetra por baixo. Essa circulação mantém a superfície mais resfriada e, consequentemente, o espaço interno sofre menos com o aquecimento promovido pela insolação. As cores dos materiais empregados nos revestimentos também devem ser previstas. A Figura 2.3 mostra a temperatura da superfície de telhas cerâmicas em função de sua cor.

Figura 2.3 | Temperatura e cor de telhas cerâmicas



Fonte: Vieira (2014, p. 12).



Reflita

Com base nessa lógica das cores, qual deve ser a preocupação de um projetista ao especificar materiais para revestimento externo e de telhados em locais de climas quentes, considerando a busca por melhor eficiência energética?

A Tabela 2.1 mostrou a condutividade térmica de alguns materiais. Esse parâmetro, bem como a espessura de um fechamento, deve ser levado em conta nas escolhas de projeto. Segundo Vieira (2014), é usual a confecção de paredes e fechamentos que aproveitam o fato de o material ser mau condutor de calor, como é o caso do gesso. Adicionalmente, fabricam-se sistemas com espessuras duplas visando dificultar ainda mais a passagem do calor. O *drywall* é um excelente isolante térmico, pois a técnica combina as características físicas do gesso e a existência de uma parede dupla preenchida por ar. O ar interno dificulta a troca de calor.

Quando há a preocupação em aumentar o isolamento de paredes ocas (*drywall*, *wood frame* e *steel frame*), é comum seu preenchimento com lã de rocha, lã de vidro, fibra de plástico, poliestireno expandido ou poliuretano expandido (Vieira, 2014).

Peralta (2006) afirma que as coberturas são responsáveis pela maior quota da absorção de energia solar nas edificações térreas, em comparação às paredes. Sendo assim, as escolhas de projeto que minimizem os efeitos do calor gerado nas edificações a partir da cobertura podem ter um impacto significativo no conforto geral da construção.

Com relação às coberturas, a definição do tipo de telha é bastante importante, pois são elas que estarão em contato direto com a radiação solar. Uma opção que tem se tornado atrativa no mercado são as telhas térmicas (sanduíches), constituídas, usualmente, por duas folhas de aço galvanizado, galvalume, alumínio ou aço inoxidável, preenchidas por material que possui menor capacidade de condutividade térmica (ANDRADE, 2016), tais como poliuretano, poliestireno (isopor) ou lã de rocha.

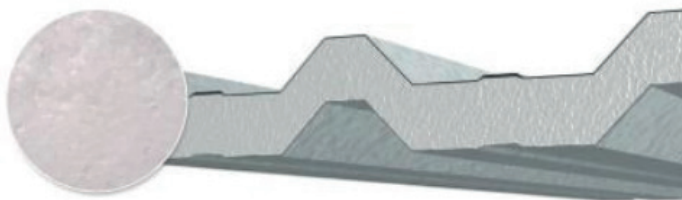


Vocabulário

Galvalume é um revestimento composto por: 55% de alumínio, 43,5% de zinco e 1,5% de silício. É empregado na fabricação de telhas, quando a agressividade ambiental é reduzida.

A Figura 2.4 mostra, esquematicamente, a estrutura descrita.

Figura 2.4 | Esquema da seção de uma telha sanduíche e detalhe enchimento



Fonte: Pizzinatto (2015 apud ANDRADE, 2016, p. 55).

O material de preenchimento do espaço entre as duas folhas metálicas, por não conduzir bem o calor, contribui com a redução da absorção térmica do telhado. Adicionalmente, essa telha apresenta a vantagem de demandar uma estrutura mais esbelta, pois é relativamente leve e não deformável. Muitas delas já vêm com acabamento interno, o que permite seu uso sem a necessidade de instalação de forro. A norma que estabelece seus requisitos de desempenho é a NBR 16373 (ABNT, 2015).

Lamberts et al. (2016) citam alguns recursos para melhoria das condições térmicas das edificações.

Os brises (Figura 2.5) são dispositivos que se projetam para além das janelas na fachada, reduzem a incidência dos raios solares e sua geometria é função do ângulo entre os raios e a superfície externa. Podem ser instalados nas posições mais convenientes ao projeto e ao fim desejado. Além disso, podem ser móveis, para que o usuário consiga modificar sua direção à medida que o ângulo de incidência dos raios solares mude ao longo do dia.

Figura 2.5 | Brises em fachada de edifício



Fonte: iStock.

Na Figura 2.5, os brises são os elementos verticais cuja seção transversal é perpendicular à face da fachada. A depender do ângulo de incidência dos raios solares, eles diminuem a entrada da luz através das janelas.

Outros recursos para melhoria do desempenho térmico da edificação são listados abaixo (VIEIRA, 2014):

- Emprego de forros de gesso acartonado abaixo da laje que separa a cobertura (ou telhado) do último pavimento.
- Emprego de blocos cerâmicos de maior espessura nas alvenarias externas, rebocados com argamassa.
- Uso de janelas com vidros fotoativos, capazes de diminuir sua absorção térmica em função da incidência de luz.
- Adoção de telhados verdes que promovam o resfriamento das coberturas.
- Implantação de jardins e plantas que contribuam com o conforto térmico por meio da evapotranspiração das folhas.
- Correto cálculo da demanda por ar condicionado, ou aquecedor, para evitar o superdimensionamento ou sua ineficiência. Além disso, os ambientes devem ser estanques a fim de que não haja troca de calor com outros espaços.



Pesquise mais

Leia atentamente as soluções mostradas ao longo dessa seção e pesquise mais sobre elas, buscando figuras e detalhes construtivos. Seguem algumas indicações de textos que podem auxiliá-lo:

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila da disciplina Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: Labeeee, 2016. 239 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2kwV1r6>>. Acesso em: 22 abr. 2018. (Itens 3.7, 4.2, 5.1, 5.2 e 6.2).

VIEIRA, Rômulo Valente Custódio. **Análise da eficiência energética e conforto térmico do Instituto de Biologia**. 2014. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2OboZ1Q>>. Acesso em: 22 abr. 2018. (Itens 2.2 e 2.4).

No desenvolvimento do projeto para o qual seu escritório foi contratado, a equipe deverá estar atenta às demandas dos usuários, bem como às normas que tratam do desempenho térmico, além das demais aplicáveis à elaboração e aprovação de projetos.

Como o edifício estará situado em região de clima predominantemente quente e pode vir a comportar elevado número de pessoas, vocês se preocuparam em buscar soluções que amenizem o aquecimento interno e minimizem a demanda por condicionamento de ar.

Você teve a iniciativa de pesquisar alternativas que poderão contribuir com o conforto desejado, inclusive para o sistema de fachadas. Isso porque, conforme você explicou ao contratante, as fachadas revestidas com vidro contribuem, em uma primeira análise, com o aquecimento interno, visto que o vidro absorve bastante a luminosidade e o calor. Seu cliente sinalizou que confia nos seus apontamentos e que está disposto a considerar outras soluções, se for para a qualidade geral da edificação.

Você, então, mostrou-lhe o sistema de fachada ventilada (aerada) no qual o revestimento não fica em contato direto com a parede externa da edificação, formando-se um espaço por onde o ar circula e contribui com o resfriamento da superfície. Os revestimentos podem ser cerâmicos, porcelanatos, pedras naturais, etc., e o apelo estético também é alcançado.

Uma proposta semelhante pode ser aplicada à cobertura com a construção de laje entre a cobertura e o último pavimento, já que esse é o que mais pode sofrer com a incidência dos raios solares.

Pode-se aproveitar a circulação natural do ar por meio de aberturas e janelas na fachada. Os brises podem ser empregados a fim de minimizar a incidência direta dos raios solares internamente.

Você sugeriu, ainda, um estudo de viabilidade econômica para analisar a possibilidade de emprego do *Steel Frame* que também apresenta bom desempenho térmico devido à estrutura oca poder ser preenchida com material que dificulta a passagem do calor, tal como a lã de vidro. Caso a estrutura convencional em concreto armado e vedações em alvenaria seja a alternativa mais

viável economicamente, pode-se empregar algumas técnicas para melhorar sua eficiência. O uso de forros de gesso acartonado nos tetos dificulta a radiação do calor para o ambiente, já que o gesso é um bom isolante. As alvenarias podem ser revestidas com argamassa e as paredes internas executadas em *Drywall*.

Ao longo da conversa, o cliente perguntou-lhe sobre o LEED, demonstrando interesse em analisar a viabilidade para que o presente edifício alcance essa certificação. Você, então, explicou que o documento propõe uma série de requisitos de sustentabilidade a serem cumpridos pelas edificações novas ou em reforma. Através de simulação computacional, um empreendimento novo, como o do seu cliente, deve apresentar 10% de redução de consumo energético por meio de ações no nível dos projetos, execução das obras e, após finalizada a construção, no funcionamento do prédio. Como o contratante ainda estava em dúvidas, você demonstrou que é possível gerir ativamente as escolhas de projeto, de modo que os sistemas sejam compatíveis entre si, gerando poucas interferências uns nos outros, e que as soluções construtivas sejam planejadas e não decididas na obra. Além disso, a equipe de obra deve ser conscientizada quanto à necessidade de que todos os resíduos gerados sejam corretamente separados e seu descarte acompanhado. No que diz respeito ao funcionamento da edificação, esta pode ser pensada visando a economia de água e energia, aproveitamento da luz e ventilação naturais, com sistemas de reaproveitamento de água, etc.

Depois do encontro com o cliente, você organizou uma reunião com os membros da equipe para repassar alguns pontos principais das duas normas principais relativas ao tema do conforto térmico:

A NBR 15.575 (ABNT, 2013), que trata do desempenho geral da edificação, contemplando requisitos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. A norma trata explicitamente do conforto térmico em sua parte 1, apresentando os parâmetros a serem considerados e avaliados, bem como a metodologia a ser empregada na obtenção dos resultados. O texto demonstra a preocupação quanto à melhoria do conforto térmico nas edificações, tanto do ponto de vista do bem-estar do usuário, como de se alcançar um desenvolvimento mais sustentável por meio da maior eficiência energética da edificação.

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) trata especificamente do desempenho térmico das edificações, apresentando os métodos de cálculo das variáveis aplicáveis à mensuração do conforto.

Além das normas citadas, você ressaltou que cada sistema construtivo pode estar sujeito a uma norma específica que deve ser obedecida.

Avançando na prática

Aproveitamento da circulação natural do ar

Descrição da situação-problema

Você é o gestor de uma obra e seu estagiário lhe diz que tem algumas dúvidas quanto ao aproveitamento da circulação natural do ar como estratégia de conforto térmico. Ele está estudando sobre o assunto na faculdade e deseja ampliar seus conhecimentos. Ele lhe diz que sabe que as janelas são empregadas para aproveitar a circulação do ar, mas são usualmente fechadas por vidro, o qual não contribui para alcance do objetivo desejado. E acrescenta: como, então, será possível manter uma boa circulação do ar e evitar que os raios solares incidam diretamente nos ambientes internos?

Resolução da situação-problema

Você explica ao estudante que, de fato, as janelas e demais aberturas na fachada são essenciais para a passagem do vento do meio externo para o meio interno, e a circulação do ar permite o resfriamento do ambiente interno, nos casos em que isso é desejável. Por outro lado, quando as janelas estão abertas, a luz solar adentra nos ambientes, seja pela abertura ou pelo vidro da janela.

Uma alternativa para minimizar a incidência desses raios é a instalação de aparatos externos que se projetam na fachada e bloqueiam a luz parcialmente. O brise é um exemplo desse tipo de solução e pode ser posicionado na parte superior das aberturas, ao longo da lateral delas, pode cobri-las parcialmente, ou pode ficar em outra configuração que o projetista verificar ser mais eficiente. Ele pode apresentar uma direção fixa ou móvel, o que permite que o usuário movimente-o de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares.

Faça valer a pena

1. Os diferentes materiais apresentam comportamento característico frente ao calor em função de parâmetros físicos. A Tabela 2.1 contém os valores de densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de alguns materiais empregados na Construção Civil.

Tabela 2.1 | Parâmetros físicos dos materiais empregados na Construção Civil

Material	Densidade de massa aparente (kg/m³)	Condutividade térmica (W/(m.K))	Calor específico (kJ/(kg.K))
Argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
Concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
Placa de gesso, gesso acartonado	750-1000	0,35	0,84
Madeira compensada	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
Aço, ferro fundido	7800	55	0,46

Fonte: ABNT (2003).

Cada insumo da tabela possui valores específicos para as propriedades citadas, o que os torna mais ou menos eficientes como isolantes térmicos.

Considerando a tabela, bem como seus conhecimentos sobre o assunto, marque a alternativa correta.

- a) A densidade de um dado material é preponderante na definição de sua eficiência térmica.
- b) Como o gesso acartonado é menos denso que a argamassa comum, seu emprego como material de acabamento promove maior eficiência energética na construção como um todo.
- c) Ao se comparar a madeira compensada ao gesso, percebe-se que a madeira demanda mais energia para elevação da sua temperatura e o gesso apresenta maior condutividade térmica.
- d) A condutividade é inversamente proporcional à condução de calor do material.
- e) Um material que demanda menos energia para ser aquecido é, por definição, um bom isolante térmico.

2. Na concepção de um projeto, os profissionais envolvidos devem possuir os conhecimentos necessários acerca do desempenho dos materiais

que pretendem especificar, bem como as técnicas que gerem eficiência energética e térmica no interior da edificação.

Sobre algumas das variáveis na concepção dos projetos são feitas as seguintes afirmações. Marque a alternativa que contém a afirmação correta.

- a) O estudo das variáveis climáticas é posterior à definição das técnicas e soluções arquitetônicas do projeto a fim de se alcançar melhor aproveitamento dos materiais para gerar conforto térmico para o usuário.
- b) Em um escritório com diversas estações de trabalho e situado em cidade de clima tropical, o projetista deve buscar especificar técnicas e materiais capazes de absorver as ondas curtas da radiação solar, sem, contudo, dissipá-las para o meio externo.
- c) As edificações com fachadas de maior área superficial são adequadas às construções situadas em regiões de clima quente, pois dissipam com mais facilidade o calor para o meio interno.
- d) O responsável pelo projeto especifica materiais, técnicas e sistemas construtivos, as aberturas nas fachadas, o tipo de fachada a ser empregado, bem como o formato da edificação. Cada ponto citado deve contribuir com a manutenção do conforto interno da edificação.
- e) O formato do edifício pouco influi na temperatura do ambiente interno.

3. Sabe-se que na concepção de um projeto, os profissionais envolvidos têm se deparado com a necessidade de buscarem conforto térmico às edificações. Diversas são as soluções que, separadamente ou em conjunto, contribuem com a manutenção do conforto no interior das construções. Algumas são listadas a seguir:

I – Fachada ventilada.

II – Aproveitamento da ventilação natural.

III – Drywall.

IV – Lã de rocha.

Marque a opção na qual a solução construtiva para manutenção do conforto térmico no interior da edificação (I, II, III ou IV) está corretamente explicada.

- a) IV – Elemento de enchimento das alvenarias de blocos cerâmicos a fim de melhorar suas propriedades térmicas e energéticas.
- b) III – Alvenaria executada em tijolos cerâmicos com revestimento em argamassa para melhoria de suas propriedades isolantes.

- c) IV – Revestimento empregado na face externa das paredes para dificultar a propagação do calor entre dois meios.
- d) II - Sistema que contribui com o isolamento térmico da edificação na medida em que o espaço entre o revestimento e a parede externa facilita a passagem de calor do meio externo para o interno.
- e) I - O movimento ascendente do ar no espaço entre o revestimento e a parede externa contribui com resfriamento da superfície.

Seção 2.2

Sistemas construtivos de isolamento acústico

Diálogo aberto

Olá, aluno,

Como você pôde perceber, essa unidade trata da busca pelo conforto ambiental nas construções. Nesse sentido, a primeira seção apresentou-lhe os processos construtivos específicos para o conforto térmico. Já na presente seção, você terá a oportunidade de conhecer mais os sistemas construtivos que se aplicam ao isolamento acústico. Esse conhecimento poderá lhe ser útil em situações profissionais nas quais precise especificar, projetar ou executar obras, principalmente tendo em vista que a busca por soluções de conforto é um caminho sem volta na construção.

Lembre-se de que você trabalha em um escritório de projetos arquitetônicos, como parte da equipe que define sistemas construtivos, propõe soluções, elabora os desenhos e orienta os construtores em obra.

A demanda atual do escritório é a elaboração de um novo projeto, pelo qual você é responsável: um edifício residencial destinado a um público de classe média. A construção terá 20 pavimentos com dois apartamentos por andar e estará localizado em área comercial, por onde passam diversas linhas de ônibus e em cuja vizinhança há diversas construções em andamento.

Devido à localização do empreendimento, uma de suas preocupações principais é o isolamento acústico das unidades, para conforto dos usuários. Você expôs sua preocupação ao contratante e este recebeu muito bem suas considerações e ideias.

Em reunião com o contratante, este lhe expôs suas principais dúvidas para implantação de técnicas construtivas que proporcionem conforto acústico aos moradores da edificação. Essas dúvidas podem ser sistematizadas nas seguintes perguntas:

Quais os sistemas disponíveis no mercado para atenuação acústica?

Quais os materiais comumente empregados para esse fim?

Quais as normas utilizadas para direcionar a atuação dos profissionais?

Para lhe fornecer bases que o permitam responder a essas questões, a seção apresentará as normas relativas ao tema, sistemas disponíveis, materiais e aplicações principais. Ao final do texto, você deverá ser capaz de identificar as principais técnicas construtivas aplicáveis ao conforto acústico, bem como alguns dos materiais mais utilizados.

Boa leitura!

Não pode faltar

Isolamento acústico: conceitos e normas

Simões (2011) afirma que os ruídos são os terceiros maiores poluidores do ambiente, atrás apenas dos poluidores do ar e da água. A poluição sonora causa efeitos severos à saúde humana, tais como distúrbios no sono, interferências na fala, bem como problemas cardiovasculares.

Ainda segundo o autor, conforto térmico e acústico parecem difíceis de alcançar simultaneamente, já que uma das premissas do primeiro é o aproveitamento da ventilação natural por meio de aberturas nas fachadas. Não é incomum as pessoas abrirem as janelas em busca de ventilação e perceberem que os ruídos externos invadem o meio interno, principalmente nos grandes centros urbanos.

Castro et al. (2015), OMS (2014), Nunes e Ribeiro (2008) e Pimentel-Souza (1997) apud Santos Filho, Sposto e Caldas (2017) afirmam que a exposição ao ruído está relacionada aos distúrbios de sono, estresse e, direta ou indiretamente, aumento do risco de enfarte, acidente vascular cerebral e infecções. Para esses autores, a falta de privacidade na habitação, ocasionada pelo excesso de ruídos, é causadora de irritação e violência.

Nesse sentido, é crescente a busca por recursos que minimizem os ruídos no interior das edificações, através de soluções de projeto, emprego de materiais mais eficientes e pesquisas com novas tecnologias. Essas alternativas devem operar em conjunto com aquelas que visam o conforto térmico e lumínico.

O som é originado da variação de pressão por causa de uma vibração mecânica na forma de onda. As ondas sonoras, por serem

mecânicas, precisam de um meio, que não seja o vácuo, para se propagarem. O mais comum é que isso aconteça através do ar, mas elas se deslocam também através de meios sólidos (estruturas dos edifícios, por exemplo) e líquidos (SIMÕES, 2011). Comportamento diferente acontece com as ondas eletromagnéticas, exemplificadas pelos raios solares, que são emitidos pelo sol e se propagam através do espaço no vácuo.

A fonte sonora é a superfície que vibra e transmite as ondas através do meio (ar, por exemplo). Por definição, as ondas possuem algumas propriedades, tais como frequência, velocidade, comprimento de onda, período, etc.



Pesquise mais

A **frequência** de uma onda mede a quantidade de oscilações (ciclos) que ela executa em uma unidade de tempo definida. Já o tempo para se executar um ciclo é o seu **período**. Considerando um determinado padrão de onda, a distância entre dois padrões repetitivos e consecutivos é o **comprimento de onda**. A **intensidade** ou **volume** do som é usualmente medido em decibel (dB).

Pesquise mais sobre esses conceitos no capítulo 14 do livro abaixo, disponível também em sua Biblioteca Virtual.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros:** mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2011. 1v.

Simões (2011) afirma que todo som desagradável é considerado ruído, e este pode ser proveniente de fontes externas ou internas ao ambiente no qual o observador se posiciona. Ruídos internos são produzidos por conversação, funcionamento de eletrodomésticos, ar-condicionado, tubulação hidráulica, elevadores, etc. Já os ruídos externos resultam do tráfego de automóveis, atividades comerciais e industriais, etc.

No que diz respeito às edificações, segundo esse autor, o desempenho acústico é função da absorção sonora (fonte e receptor se encontram no mesmo ambiente) e da transmissão sonora (fonte e receptor em ambientes diferentes). A absorção sonora se dá quando, em um mesmo

ambiente, o som é emitido e parte dele é refletido através das superfícies que ali se situam. A reflexão do som é determinada pela geometria da superfície e por sua capacidade de absorção, que é afetada, por exemplo, pela porosidade do material constituinte e pela frequência do som incidente (agudo ou grave). Já a transmissão ocorre quando parte do som passa pelas paredes e atinge outro ambiente, por meio aéreo ou estrutural. O Quadro 2.1 resume a forma como esses fenômenos se comportam no que diz respeito ao desempenho acústico:

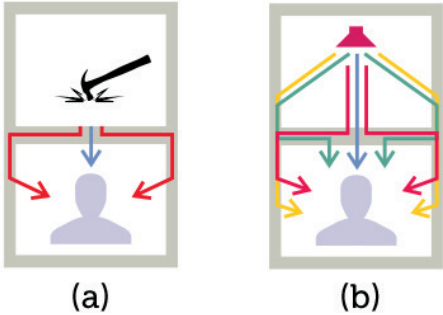
Quadro 2.1 | Absorção e transmissão sonora no desempenho acústico das edificações

Absorção sonora	Fonte e receptor no mesmo ambiente.	Função das superfícies (e suas características) presentes no ambiente.
Transmissão sonora	Fonte e receptor em ambientes diferentes.	Propagação por meio aéreo ou estrutural.

Fonte: adaptado de Simões (2011).

Pierrard e Akkerman (2013) pontuam que a transmissão pode ser do ruído de impacto ou aéreo. Em uma edificação o ruído de impacto é aquele produzido no piso, nas paredes, etc. Para ilustrar essa situação, pode-se considerar o som percebido pelo vizinho em um apartamento abaixo de outro cujo morador deixou cair um martelo no piso. O ruído aéreo não é originado do contato direto com a fonte, mas sua transmissão pode se dar por meio da estrutura da edificação. Exemplo desse caso acontece quando uma pessoa liga um aparelho de som com o volume elevado, fazendo com que as janelas vibrem. A Figura 2.6 mostra, esquematicamente, a diferença entre esses dois tipos de ruído e sua forma de transmissão em uma edificação.

Figura 2.6 | Transmissão de ruídos de impacto (a) e aéreos (b)



Fonte: Pierrard e Akkerman (2013, p. 13).

Andrade (2016) pontua que o tempo de reverberação é curto quando o som se reflete pouco entre as superfícies, devido a características específicas do material, cessando, então, mais rapidamente. Por outro lado, aquele que demora mais para cessar reflete repetidamente entre as superfícies, com pouca perda de energia em cada incidência.

Portela (2011) classifica os materiais para tratamento acústico conforme a função que desempenham. Nesse sentido, há aqueles que são isolantes, já que visam bloquear a transferência do ruído de um ambiente para outro, sendo constituídos de materiais densos e sólidos. Os refletores propagam o som pelo ambiente, possuem superfície lisa. Os difusores refletem o som sem ressonância, de maneira difusa. E os absorventes são usualmente leves e de baixa densidade e, com isso, impedem a passagem do som para outro ambiente, absorvem reverberação e eco.



Refleta

Como as escolhas das técnicas e materiais a serem empregados na Construção Civil impactam o desempenho acústico de uma edificação? E quais as consequências do desempenho acústico insatisfatório da construção sobre a vida das pessoas?

O conhecimento dos conceitos mínimos relativos ao comportamento do som e os materiais mais apropriados para cada situação é essencial ao se projetar as edificações e seus subsistemas. Porém, esse conhecimento é muitas vezes ignorado e o usuário não obtém o conforto adequado nas edificações. Devido a isso, há as normas técnicas que explicitam os parâmetros mínimos a serem seguidos para se alcançar conforto ambiental.

A NBR 10151 (ABNT, 2000) estabelece os níveis de ruído para os períodos diurno e noturno, em diferentes ambientes externos, tais como sítios e fazendas, hospitais, escolas, residências, etc. Delimita-se o período diurno entre 7h e 22h e o noturno nos demais horários. Por fim, a norma define as informações mínimas de um relatório de medição em um dado ambiente.

Já NBR 10152 (ABNT, 2017) trata dos ambientes internos e os níveis de ruído aceitáveis, em diferentes locais, para se manter o conforto.

Há também a NBR 12179 (ABNT, 1992) que contém o valor de isolamento acústico e o coeficiente de absorção acústica de diferentes materiais empregados na Construção Civil. Adicionalmente, a norma apresenta as definições de diversos termos aplicáveis e um roteiro resumido para isolamento e condicionamento acústico dos ambientes.

No condicionamento acústico da NBR 12179 (ABNT, 1992), o nível de ruídos já está estabelecido e se calcula o tempo de reverberação do som no recinto. O tempo de reverberação é aquele necessário para que o som não seja mais ouvido.

O texto que aponta os requisitos nesse sentido para atendimento às exigências do usuário é a NBR 15575 (ABNT, 2013), definindo que o conforto acústico é uma exigência para habitabilidade das edificações. Segundo a norma, deve-se garantir atendimento aos parâmetros mínimos para isolamento tanto das vedações externas como entre áreas comuns e privativas, por meio dos sistemas de pisos. Além disso, contém requisitos e critérios para a verificação do isolamento entre o meio externo e o interno, considerando unidades autônomas e ambientes de uma unidade e áreas comuns. Apresenta também valores de referência baseados em ensaios de laboratório realizados em componentes, elementos e sistemas construtivos.

Isolamento acústico: aplicações, alguns materiais e sistemas disponíveis

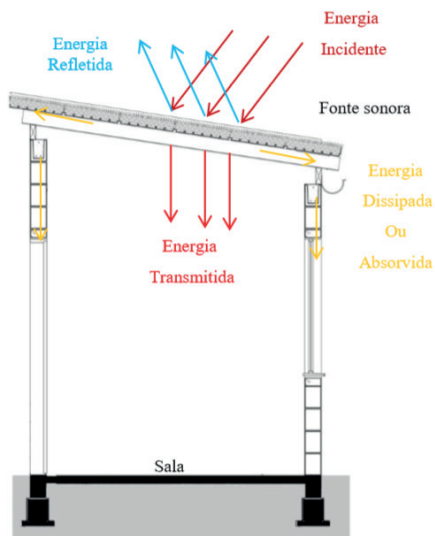
Para Santos Filho, Sposto e Caldas (2017), as fachadas de porcelanato assentado com argamassa oferecem isolamento satisfatório, principalmente contra os ruídos externos de alta frequência (sons mais agudos). Já contra os de baixa frequência (graves), esse sistema apresenta resultados menos satisfatórios. Souza et al. e Faria (2006; 2009) apud (Andrade, 2016) dizem que os sons de alta frequência são mais fáceis de serem isolados que os de baixa frequência.

Para que um dado material empregado no fechamento dos telhados seja considerado termoacústico, deve obedecer à NBR 16373 (ABNT, 2015). Esses materiais devem ser capazes de minimizar a reflexão das ondas no ambiente, o que corresponde ao seu nível de reverberação (ANDRADE, 2016).



Muitas vezes, escolhe-se o revestimento dos telhados em função do preço e da durabilidade, apenas. Tendo em vista o conceito de conforto acústico, você acha que é adequada a escolha de um telhado em chapas galvanizadas para um galpão situado em rua residencial? Por quê?

Figura 2.7 | Incidência das ondas sonoras em uma cobertura



Fonte: Andrade (2016, p. 25).

Percebe-se pela Figura 2.7 que, após a incidência das ondas sonoras sobre a superfície, parte da energia é refletida, dissipada na forma de calor e absorvida, sendo apenas uma parte transmitida ao interior do ambiente. Da parcela que não é transmitida ao interior na forma de som, deve-se considerar também que uma parte causará vibração no entorno da edificação (ANDRADE, 2016). A transmissão estrutural do som nas coberturas gera vibrações que passam das telhas para a estrutura da edificação e provocam som novamente ao escaparem por frestas.

Os elementos tipo sanduíche (painéis, por exemplo) são também empregados como atenuadores acústicos. Eles são formados pela união de materiais diferentes que, combinados, apresentam

propriedades superiores que quando isolados, no que diz respeito à atenuação de ruídos.

As telhas sanduíche são uma opção no mercado com vistas à redução do ruído e do calor no interior da edificação. São confeccionadas através da junção de telhas metálicas preenchidas por material isolante: poliestireno (EPS - isopor), poliuretano (PU), polisocianurato (PIR) ou lã mineral. Como vantagens adicionais, os fabricantes prometem leveza, fácil manuseio e desempenho mecânico satisfatório. Elas possuem encaixe tipo macho e fêmea para facilitar a montagem e sua fixação se dá por parafusos autoperfurantes.



Exemplificando

Dependendo do tipo de preenchimento, o desempenho da telha sanduíche vai variar. As preenchidas com EPS são mais leves, mas o isopor não retarda a propagação de chamas, em uma situação de incêndio. As de PU são estruturalmente mais rígidas, o que permite sua aplicação em vãos maiores, e retardam a propagação de chamas. O PIR apresenta as características do poliuretano melhoradas.

O preenchimento com lã mineral pode ser realizado na obra, o que a difere dos demais tipos. São resistentes ao fogo, mas necessitam de reforço estrutural.

Andrade (2016) cita alguns materiais comumente empregados com a finalidade de absorver o som, quando usados na forma de preenchimento. São eles: lãs minerais, espumas, tecidos, etc. A Figura 2.8 exemplifica o emprego da lã de vidro no interior de parede com fechamento em placas de gesso.

Figura 2.8 | Lã de vidro como preenchimento de paredes



Fonte: iStock. Disponível em: <<https://bit.ly/2LCnjv>>. Acesso em: 25 maio 2018.

As lãs e mantas são empregadas no preenchimento de paredes, nos espaços entreforro e nos pisos flutuantes. Nos sistemas *Steel Frame*, *Wood Frame* e *Drywall* é bastante recorrente seu uso como material de preenchimento das paredes.

A medida da absorção sonora dos materiais é dada pelo seu coeficiente de absorção, que varia de 0 a 1,00 e, quanto maior o seu valor, maior a absorção. Nesse sentido, para uma mesma frequência da banda de oitava (dada em *hertz* - Hz), a lã de vidro apresenta coeficiente de absorção mais elevado que a chapa de aço, por exemplo, e, assim, absorve mais o som.



Vocabulário

Entre as frequências perceptíveis pelo ouvido humano, dividiu-se esse intervalo em oito faixas, de modo a facilitar a definição da faixa na qual se está medindo a intensidade de um dado som. Cada faixa é uma banda, por isso o termo banda de oitava.

Assista ao vídeo a seguir e conheça um pouco mais esse conceito.

O que são as BANDAS DE OITAVA DE FREQUÊNCIA? | Core Safety Academy. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2NDjZSd>>. Acesso em: 21 maio 2018.

O elevado desempenho acústico das lãs pode ser explicado também pela sua elevada porosidade que, segundo Andrade (2016), diminui o tempo de reverberação do som, pois reduz a energia da onda sempre que ela é refletida.



Assimile

Os materiais de superfície lisa, como as cerâmicas e porcelanatos, tendem a ser refletores do som e, com isso, propagam-no pelo ambiente.

Manta de poliuretano, lã de vidro e EPS possuem baixa densidade, o que contribui para que sejam absorventes.

Tijolos, pedras e madeira, por serem densos, bloqueia a transferência do ruído entre ambientes e, por isso, são conhecidos como isolantes.

Elementos com superfície irregular tendem a ser difusores do som e refleti-lo de forma difusa. Os lambris de madeira são empregados para esse fim.

Existem no mercado também janelas com tecnologia para atenuação do som, que prometem barrar o ruído externo por meio de perfis mais robustos que os usuais, ausência de frestas e uso de vidros especiais. Essas esquadrias podem ser em alumínio, PVC ou madeira, usualmente, e são fabricadas sob encomenda. Uma solução também são as janelas sobrepostas, aplicadas sobre as existentes, do lado de dentro da edificação. Trata-se de uma solução interessante para diminuir os impactos da reforma ou quando há restrições no condomínio quanto à descaracterização da fachada.

Quanto às portas em madeira, por exemplo, obtém-se desempenho superior com o emprego de madeira maciça, ou preenchendo-as com materiais acústicos, e por meio de vedação extra nos fechamentos e frestas, através de veda-portas.

Outro problema recorrente em edificações são os ruídos causados pela passagem dos fluidos e detritos nas tubulações de instalação hidráulica. Uma maneira de atenuar esse problema é o isolamento dos tubos por meio de calhas acústicas de lã de vidro. Esse procedimento é muito empregado nos ramais de esgoto. Podem ser empregados isolantes em neoprene no encontro entre os tubos e a estrutura. Isso amortece a vibração que seria transmitida à edificação (LEAL, 2003). Podem ser instalados amortecedores também nos elementos de fixação dos tubos às paredes para amenizar a transmissão das ondas através das paredes da edificação. A Figura 2.9 exemplifica uma tubulação com o sistema de isolamento em lã de vidro para atenuação dos ruídos devidos à passagem dos fluidos.

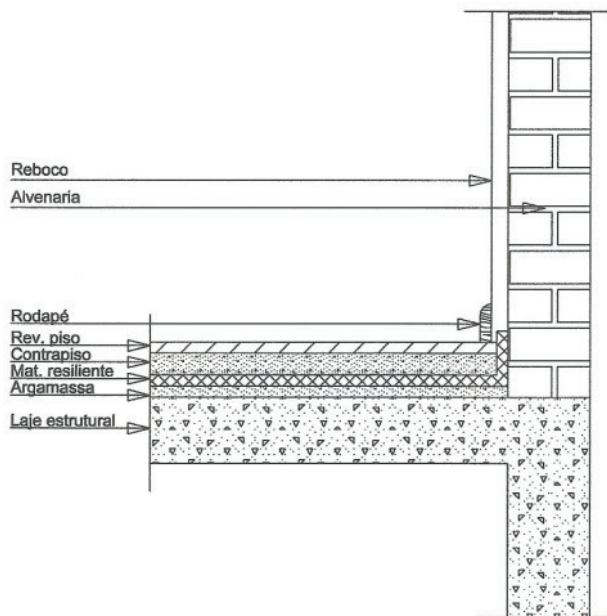
Figura 2.9 | Isolamento de tubulação com calha acústica



Fonte: <<https://bit.ly/2Aa0U8G>>. Acesso em: 21 maio 2018.

Visando a redução dos ruídos transmitidos através dos pisos, Neubauer (2009) cita algumas soluções satisfatórias. O autor explica que emprego de tapetes nos pisos pode reduzir o nível de ruído, principalmente aqueles com base isolante. Uma outra alternativa é o emprego de pisos flutuantes, aqueles que ficam totalmente separados da estrutura por meio de um material elástico, conforme mostra a Figura 2.10.

Figura 2.10 | Piso flutuante



Fonte: Gerges (1992 apud NEUBAUER, 2009, p. 23).



Pesquise mais

Como você viu, o piso flutuante oferece uma solução à atenuação acústica por meio da instalação, entre o contrapiso e o piso acabado, de uma manta de EVA (espuma vinílica acetinada) ou polietileno. Pesquise mais sobre esse sistema e como ele deve ser executado. Seguem materiais que poderão lhe auxiliar:

É fácil instalar pavimento flutuante. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2uPrUVV>>. Acesso em: 21 maio 2018.

OGAWA, Matheus de Oliveira Afonso; ÁVILA FILHO, Mauro Cézar; RASSI, Pedro Fábio. Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais. 2014. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2uYvzzT>>. Acesso em: 21 maio 2018.

Sem medo de errar

Agora que você já leu sobre o conforto acústico, é capaz de refletir sobre as questões propostas no início da seção.

Como o empreendimento usado como exemplo se situa em local sujeito a grande poluição sonora, você e o restante da equipe envolvida no projeto do edifício sabem que precisam estar atentos a técnicas e materiais que amenizem os impactos dos ruídos e propiciem bem-estar aos usuários da edificação.

Em reunião com o contratante, este lhe expôs suas principais dúvidas para implantação de técnicas construtivas que proporcionem conforto acústico aos moradores da edificação. Você, que é o líder da equipe que elaborará esse projeto, reuniu-se com o cliente para resolver as dúvidas dele.

Você lhe explicou que há diversas normas específicas das técnicas empregadas e algumas com orientações gerais para os projetistas e construtores. Essas últimas explicitam os parâmetros mínimos a serem seguidos para se alcançar conforto ambiental.

A NBR 10151 (ABNT, 2000) estabelece os níveis de ruído para os períodos diurno e noturno, em diferentes ambientes externos, tais como sítios e fazendas, hospitais, escolas, residências, etc.

A NBR 10152 (ABNT, 2017) trata dos ambientes internos e os níveis de ruído aceitáveis, em diferentes locais, para se manter o conforto.

A NBR 12179 (ABNT, 1992) contém o valor de isolamento acústico, e o coeficiente de absorção acústica, de diferentes materiais empregados na Construção Civil. Além disso, apresenta as definições de diversos termos aplicáveis e um roteiro resumido para isolamento e condicionamento acústico dos ambientes.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) aponta os requisitos para habitabilidade das edificações a partir do atendimento aos parâmetros mínimos

de isolamento, tanto das vedações externas como entre áreas comuns e privativas. Além disso, contém requisitos e critérios para a verificação do isolamento entre o meio externo e o interno, considerando unidades autônomas e ambientes de uma unidade e áreas comuns. Apresenta também valores de referência baseados em ensaios de laboratório realizados em componentes, elementos e sistemas construtivos.

Para melhor compreensão de seu interlocutor, você pontuou alguns exemplos de técnicas e materiais disponíveis no mercado para melhoria do conforto acústico nas edificações.

Um sistema empregado no revestimento externo de edifícios são as fachadas ventiladas, que possuem elevado desempenho térmico e oferecem bons resultados quanto ao isolamento das edificações contra os ruídos externos. Nele, o revestimento das fachadas pode ser realizado com granito, materiais cerâmicos ou placas cimentícias afixadas à superfície externa por meio de *inserts* metálicos, sem a utilização de argamassa. Com isso, o revestimento não fica diretamente em contato com a parede, o que resulta em um espaço entre ambos no qual o ar circula.

O cliente ficou bastante interessado nessa técnica e você lhe explicou que ela pode ser aliada a um sistema de telhado termoacústico, o que auxilia na minimização da reflexão das ondas no ambiente. As telhas sanduíche são uma opção no mercado com vistas à redução do ruído e do calor no interior da edificação. São confeccionadas através da junção de placas metálicas preenchidas por material isolante: poliestireno (EPS - isopor), poliuretano (PU), polisocianurato (PIR) ou lã mineral. Além disso, são leves, de fácil manuseio e desempenho mecânico satisfatório.

Como forma de melhorar ainda mais o desempenho da edificação, há outras técnicas disponíveis, algumas das quais você apresenta ao cliente.

Alguns materiais podem ser empregados para absorver o som, quando usados na forma de preenchimento. São eles: lãs minerais, espumas, tecidos, etc., que são posicionados no interior das paredes, no espaço entre forro, nos pisos flutuantes, etc.

Há também janelas em alumínio, PVC ou madeira, com tecnologia para atenuação do som, que prometem barrar o ruído externo, por meio de perfis mais robustos que os usuais, ausência de frestas e

uso de vidros especiais. Quanto às portas em madeira, por exemplo, obtém-se desempenho superior com o emprego de madeira maciça, ou preenchendo-as com materiais acústicos, e por meio de vedação extra nos fechamentos e frestas, através de veda-portas.

Após a sua exposição, o cliente ficou bastante satisfeito ao conhecer as possibilidades que o mercado oferece.

Avançando na prática

Ruídos gerados pelas tubulações hidráulicas

Descrição da situação-problema

Você é projetista de instalações hidráulicas e conversa com um amigo leigo no assunto da Construção Civil e que lhe relata que, no apartamento onde mora, o ruído provocado pelas tubulações da instalação hidráulica é bastante incômodo. Ele aproveita para lhe perguntar o que poderia ter sido pensado durante a fase de projetos e executado durante as obras para amenizar a transmissão desses ruídos.

Resolução da situação-problema

Você explica que há sim algumas alternativas que poderiam ter sido consideradas pelos profissionais envolvidos.

Para amenizar os ruídos aéreos oriundos da movimentação dos fluidos e detritos no interior das tubulações, o projetista prevê que elas sejam envolvidas com mantas acústicas. Em obra, o gestor deve supervisionar para que essa condição seja atendida.

Você pontuou também que é comum que as tubulações vibrem e transmitam ondas através das paredes da edificação. Para contornar esse problema, utilizam-se amortecedores nos elementos de fixação dos tubos às paredes.

Faça valer a pena

1. O conhecimento dos conceitos mínimos relativos ao comportamento do som, muitas vezes, é ignorado e o usuário não obtém o conforto adequado nas edificações. Considerando alguns desses conhecimentos, analise as seguintes afirmações:

() As normas relativas ao conforto nas edificações definem que, na impossibilidade de se proporcionar simultaneamente alívio térmico, lumínico e acústico, os projetistas optem por garantir a minimização dos ruídos no interior das edificações. Isso decorre da constatação que os ruídos contribuem fortemente com o surgimento de doenças cardiovasculares nas pessoas.

() As ondas não se propagam no vácuo, somente através de meios sólidos. O mais comum é que esse movimento aconteça através do ar. Exemplos de ondas que se comportam assim são as ondas sonoras e a luz.

() O som que se reflete pouco entre as superfícies possui tempo de reverberação curto. Por outro lado, seu tempo de reverberação é longo quando se reflete repetidamente entre as superfícies e leva mais tempo para cessar.

Analise se as afirmações anteriores são verdadeiras (V) ou falsas (F) e marque a alternativa abaixo que apresenta corretamente o resultado dessa análise.

a) V, V, F.

b) F, V, V.

c) F, F, F.

d) F, F, V.

e) V, V, V.

2. Observe as seguintes afirmações. Note também que antes de cada uma delas há um número.

(03) Nas fachadas aeradas, o revestimento não fica em contato direto com a estrutura metálica de fixação e, com isso, surge um espaço preenchido com ar, amenizando o desconforto térmico e acústico que o meio externo causaria ao meio interno dos edifícios.

(54) As telhas sanduíche são uma opção no mercado com vistas à redução do ruído e do calor no interior da edificação. São confeccionadas através da junção de placas cimentícias preenchidas por material isolante: poliestireno (EPS - isopor), poliuretano (PU), polisocianurato (PIR) ou lã mineral.

(58) Os projetistas devem buscar soluções que atendam às normas de desempenho das edificações. Nesse sentido, as fachadas aeradas e as telhas sanduíche são exemplos de sistemas que auxiliam na promoção de conforto ambiental aos usuários das edificações.

Julgue quais afirmações anteriores que são verdadeiras e some apenas seus números, desconsiderando as falsas. Marque a alternativa abaixo que apresenta a soma correta.

- a) 57.
- b) 03.
- c) 58.
- d) 54.
- e) 112.

3. Considere as afirmativas a seguir:

- I. Dependendo do tipo de preenchimento, o desempenho da telha sanduíche vai variar: o EPS é mais leve e retarda a propagação de chamas; o PU é estruturalmente mais rígido e permite sua aplicação em telhas que deverão vencer vãos maiores que as telhas de PIR.
- II. As lãs e mantas, por apresentarem absorção sonora adequada (usualmente maior do que o de uma chapa de aço), podem ser empregadas no preenchimento de paredes do sistema Steel Frame, por exemplo.
- III. As vibrações causadas pela passagem dos fluidos nas tubulações de instalação hidráulica geram incômodos aos usuários da construção e podem causar danos à instalação.

Analise as afirmativas anteriores e marque a alternativa correta abaixo.

- a) Apenas as afirmações II e III estão corretas.
- b) Apenas a afirmação I está correta.
- c) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) Apenas a afirmação III está correta.

Seção 2.3

Conforto lumínico

Diálogo aberto

Caro aluno,

O tema da Unidade 2 é o conforto ambiental nas edificações e foi dividido para que você conhecesse alguns sistemas disponíveis para isolamento térmico (Seção 2.1), isolamento acústico (Seção 2.2) e conforto lumínico (presente Seção 2.3). Além das técnicas disponíveis, foram apresentadas as normas pertinentes a cada tema.

Essa seção contém alguns conceitos básicos, normas e recomendações sobre o conforto lumínico nas edificações, além de atividades práticas, que lhe possibilitarão maior compreensão do assunto.

Para contextualizar a Seção 2.3, considere a seguinte situação hipotética:

Como um membro experiente de uma equipe de projetos arquitetônicos, habituado a elaborar projetos que contemplam detalhamentos de iluminação para edificações, você foi convidado para apresentar uma palestra sobre Conforto Lumínico em edificações em um congresso sobre desempenho das construções.

Para o dia do evento, você preparou alguns tópicos principais com conceitos básicos, sistemas de iluminação, normas, recomendações e exemplos de cálculo.

Esses tópicos serão introduzidos na forma de perguntas:

O que é conforto lumínico? Há alguma definição em norma acerca desse conceito?

Quais as recomendações da norma quanto aos sistemas de iluminação para os ambientes?

Para refletir sobre o tema e responder às questões propostas, você deverá ficar atento aos conceitos apresentados, algumas das recomendações normativas e compreender os exemplos de cálculo. Procure sempre ler todo o conteúdo, pesquisar os textos indicados e resolver atividades propostas.

Bons estudos!

Conforto lumínico: introdução, conceitos, sistemas de iluminação

Barbosa (2011) comenta que a luz é capaz de alterar a percepção sobre o espaço, definindo formas, mostrando os contornos, texturas, cores, etc. Nesse sentido, ela faz um ambiente parecer mais quente, frio, fechado, etc. Os espaços podem ser iluminados tanto pela luz natural, presente durante o dia, como pela luz artificial, gerada pela energia elétrica.

Segundo essa autora, a percepção sobre a forma de objetos é função da direção e intensidade da luz que incide sobre eles. Já a aparência das texturas depende do ângulo e da direção com que a luz incide. O raio luminoso é capaz também de revelar as cores ou criar cor nas superfícies.

A partir desse conhecimento, a arquitetura explora esses recursos a fim de impactar a maneira como os usuários percebem os espaços e objetos, bem como sua textura, opacidade e transparência, segundo se deseja valorizar ou esconder algo.

Para o entendimento dos recursos que podem ser obtidos com a luz, faz-se necessário o conhecimento de suas propriedades de propagação: reflexão, transmissão e absorção (BARBOSA, 2011).

A **reflexão** permite a visualização das coisas e pode ser:

- a. Difusa (irregular): acontece em superfícies com acabamento fosco. Diminui o ofuscamento graças às irregularidades que causam a reflexão da luz em diversos ângulos. Ex.: gesso.
- b. Mista (semiespecular): a reflexão se dá de forma espelhada porque a superfície reflete a luz em várias direções. Ex.: parede com uma pintura mais brilhante.
- c. Especular: ocorre em superfícies perfeitamente polidas, como os espelhos, nos quais o ângulo de incidência do raio luminoso é igual ao ângulo de reflexão.

A **transmissão** é a passagem do raio luminoso através das superfícies que sejam transparentes ou translúcidas. Por fim, uma porção de luz pode ser absorvida pelos objetos, principalmente aqueles opacos e de cor escura, e ser transformada em calor. Essa propriedade é a **absorção**.

As qualidades da luz são (BARBOSA, 2011):

- a. Intensidade: diz respeito à quantidade de brilho que define o nível de iluminação.
- b. Modelagem: relaciona-se aos contrastes de intensidade e cor devido às diferentes distribuições da luz. O contraste se dá entre luz e sombra.
- c. Movimento: é a capacidade de mudança de intensidade, cor ou forma.
- d. Cor: intrínseca à frequência da onda eletromagnética.

As funções da luz (BARBOSA, 2011) podem ser sistematizadas em:

- a. Destacar para chamar a atenção do observador.
- b. Separar diferentes ambientes em uma casa.
- c. Conectar ou criar uma transição entre espaços.
- d. Definir uma hierarquia espacial ou uma orientação visual.

Para aproveitamento da luz natural nas edificações, há diversos recursos arquitetônicos, tais como janelas, sacadas, cortina de vidro, teto translúcido, etc. Para o controle desses recursos, e se evitar o ofuscamento no interior, são empregados toldos, cortinas, brises, beirais, venezianas, etc. (BARBOSA, 2011). A Figura 2.11 mostra uma janela com brises.

Figura 2.11 | Brise em janela



Fonte: iStock.

De um modo geral, a iluminação artificial deve ser pensada para complementar a natural, durante o dia, e à noite, como iluminação

ambiente. Isso pode variar, caso a iluminação natural seja insuficiente, ou quando, do contrário, há ofuscamento causado por ela.

Os responsáveis por elaborar projetos luminotécnicos têm em mente que para cada finalidade da edificação, ou do ambiente, faz-se necessário um esquema de iluminação diferente. Dessa maneira, quando se deseja criar a sensação de que o espaço é mais amplo, trabalha-se com a uniformidade na iluminação, inclusive das paredes periféricas. Por outro lado, emprega-se um conceito não uniforme para se estabelecer uma impressão de relaxamento no ambiente. Essa busca por impressões específicas se dá por meio dos Modos de Iluminação de Reforço (BARBOSA, 2011).



Assimile

É desejável o maior aproveitamento da luz natural possível através de aberturas nas paredes e tetos. Contudo, para se evitar o ofuscamento dos usuários no interior da edificação, empregam-se cortinas, brises, toldos, etc. Estes são mecanismos de controle contra o ofuscamento.

Já a iluminação artificial visa complementar a natural, nos momentos em que esta não está presente ou não pode ser aproveitada.

O projeto luminotécnico pode utilizar a luz (natural ou artificial) para criar diferentes efeitos no ambiente, tais como destacar ou separar diferentes ambientes, conectar espaços, definir uma hierarquia espacial ou uma orientação visual.

As janelas e demais aberturas nas paredes, para entrada de luz, constituem a **iluminação lateral**, que, segundo Barbosa (2011), não distribui a luz com uniformidade no espaço, pois esta fica mais concentrada nas proximidades das aberturas.

A **iluminação zenital** é obtida com aberturas na cobertura da construção, tais como domos, claraboias e cúpulas. Essas garantem maior uniformidade na distribuição da luz.



Exemplificando

Santos (2009) apresenta alguns sistemas inovadores para aproveitamento da iluminação natural.

Os **vidros prismáticos** se aproveitam da reflexão e refração da luz para controlar e redirecionar os raios internamente. Eles podem, inclusive, ser móveis, para ampliar as opções do usuário.

Os **túneis de luz** captam os raios solares através de claraboias, transportando-os por meio de túneis até o ambiente.

Krum (2011) apresenta as seguintes grandezas fotométricas importantes para o desenvolvimento de projetos luminotécnicos e na avaliação de desempenho das edificações:

- Fluxo energético: potência dada em Watts (W) é a medida de energia considerada na análise do consumo do sistema de iluminação.
- Fluxo luminoso (Φ): radiação total emitida pela fonte de luz, expressa em lumens (lm).
- Eficiência luminosa: dada em lumen/watt, mede o rendimento da fonte, pois expressa a relação entre seu fluxo luminoso e o fluxo energético.
- Intensidade luminosa (I): é associada à lâmpada ou luminária, fornecida pelo fabricante e expressa em candela (cd).
- Iluminância (E): valor médio do fluxo luminoso que incide sobre uma área, em lux ou lm/m^2 , dada pela equação:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

Em que A é a área considerada.

- Luminância: luz refletida e vista a partir das superfícies e objetos. Sua unidade é cd/m^2 , dada pela equação:

$$L = \frac{I}{A \times \cos \alpha} \quad (2.2)$$

Em que α é o ângulo considerado em graus.

- Contraste: diferença de luminância entre um objeto e seu entorno. Deve ser controlado para se evitar ofuscamentos não desejados.
- Índice de reprodução de cor (IRC): medida da capacidade de uma lâmpada de garantir a cor real do objeto ao usuário. Valores desejáveis estão próximos de 100 IRC.

- Temperatura de cor: grandeza expressa em Kelvin (K), utilizada para definição da cor da fonte luminosa. A luz amarela (quente) possui temperaturas próximas a 2700 K, já a branca (fria), em torno de 5000 K.



Assimile

Barbosa (2010) destaca que em situações de repouso, nas quais a atividade mental é reduzida, lâmpadas cujas temperaturas ficam em torno de 2700 K são mais recomendadas. Por outro lado, quando a atividade mental é mais intensa, temperaturas mais elevadas (acima de 4000 K) contribuem com o aumento da atenção na tarefa. Para o desempenho de atividades físicas, o texto aponta que as temperaturas também devem ser mais elevadas (acima de 5000 K), pois a luz deve estimular as pessoas nessas circunstâncias.

Conforto lumínico: normas, recomendações e exemplos de cálculo

Para as residências, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece parâmetros mínimos relativos à iluminação natural e artificial para garantia do desempenho satisfatório nesse aspecto. Para um bom desempenho, deve haver aproveitamento da iluminação natural durante o dia e a iluminação artificial deve garantir condições internas satisfatórias relativas à ocupação dos recintos e circulação com conforto e segurança.

Segundo a norma, durante o dia, contando apenas com a iluminação natural, na sala de estar, dormitórios, copa, cozinha e área de serviço, a iluminância geral mínima deve ser maior ou igual a 60 lux.

Considerando-se a iluminação artificial, em sala de estar, dormitórios, banheiro, área de serviço, garagens/estacionamentos internos e cobertos, corredores ou escadas internas à unidade, corredores e escadas de uso comum, a iluminância geral mínima deve ser maior ou igual 100 lux; em copas e cozinha, maior ou igual 200 lux; em garagens/estacionamentos descobertos, maior ou igual a 20 lux. A Tabela 2.2 resume os dados apresentados acima:

Tabela 2.2 | Iluminância mínima (em lux) por ambiente

Ambiente	Iluminância (lux) - iluminação natural	Iluminância (lux) - iluminação artificial
Sala de estar, dormitórios, banheiros e área de serviço.	60	100
Copa e cozinha	60	200
Garagens/estacionamentos internos e cobertos, corredores ou escadas internas e de uso comum.	-	100
Garagens/estacionamentos descobertos.	-	20

Fonte: adaptado de NBR 15575 (2013).

Outra norma aplicável é NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013), que define que a iluminação, é boa ao permitir a visualização do ambiente, para que as pessoas transitem com segurança e desempenhem suas tarefas visuais de maneira confortável. Ela aponta os requisitos de iluminação para locais de trabalho em ambientes internos. Esses requisitos visam aumentar a eficiência nesses ambientes para que os trabalhadores possam desempenhar suas atividades eficientemente e com conforto. Ela disponibiliza também critérios qualitativos para controle de ofuscamento. Por exemplo, para um salão de cabeleireiro, essa norma estabelece iluminância mínima de 500 lux e para a recepção de um escritório, 300 lux.



Pesquise mais

Pesquise mais sobre as recomendações e requisitos qualitativos e quantitativos para iluminação de ambientes. A seguir, seguem textos que poderão auxiliá-lo:

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. Percepção da iluminação no espaço da Arquitetura: preferências humanas em ambientes de trabalho. 2010. 247p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Deste, leia os capítulos 2.6, 3.1.2, 3.1.3, 3.3, 3.4.

Da próxima indicação, leia o capítulo 3:

KRUM, Christiane Cunha. Desempenho luminoso em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso. 2011. 181p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Na elaboração de um projeto luminotécnico, o profissional desenha sobre um layout da unidade, ambiente ou edificação como um todo, e, se for o caso, desenha também os pontos de iluminação, com descrição das luminárias e lâmpadas a serem empregadas. Além disso, ele deve explicitar os pontos de acionamento de cada luminária e apresentar todos os detalhes necessários ao completo entendimento do projeto.

Alguns recursos disponíveis em iluminação incluem: acionamento por sensor de presença, controle da intensidade luminosa variável, automação e definição de cenas, etc.

Considerando o efeito desejado, algumas luminárias e lâmpadas são concebidas com dimerização que possibilita o controle da intensidade luminosa da fonte, proporcionando diferentes níveis de luz. Nesses casos, deve-se especificar no projeto em quais pontos de iluminação está previsto este recurso, devendo tanto a lâmpada como a luminária ser compatíveis com essa finalidade.

Importante destacar também que o projeto de instalações elétricas deve contemplar todas as soluções técnicas necessárias à implementação das definições constantes no luminotécnico.



Assimile

As luminárias são dispositivos nos quais são afixadas as lâmpadas a fim de protegê-las e direcionar o fluxo luminoso, além de possuírem efeito estético. A Figura 2.12 apresenta luminárias pendentes, cada uma com uma lâmpada em seu interior.

Figura 2.12 | Luminárias e lâmpadas



Fonte: iStock.

No que diz respeito aos diferentes tipos de lâmpadas disponíveis no mercado, Campos (2017) cita três categorias.

As **incandescentes** emitem luz devido à passagem da corrente elétrica por um filamento que se aquece e brilha. Infelizmente, utilizam a maior parte da energia elétrica para gerar calor e a menor parcela apenas produz a iluminação. Sua eficiência pode ser melhorada pela introdução de gás halógeno (bromo, cloro ou iodo) que regeneram o tungstênio do filamento. Para melhorar sua capacidade luminosa, insere-se um refletor no interior do bulbo da lâmpada.

As **lâmpadas de descarga** oferecem uma variada gama de cores e produzem luz pela passagem da descarga elétrica através dos gases em seu interior. Possuem vida útil bem maior que as incandescentes e maior rendimento luminoso.

Nas lâmpadas **LED** (*Light Emitting Diode* – Diodo emissor de luz), os elétrons do semicondutor em estado sólido (composto por cristais de silício e germânio) emitem luz após excitados pela passagem da corrente. São lâmpadas muito econômicas, possuem maior taxa de iluminação, vida útil bem maior que os demais tipos, variedade de cores e resistência às intempéries. A Figura 2.13 mostra uma lâmpada LED na embalagem, a qual contém algumas informações empregadas no projeto luminotécnico em função da escolha do tipo de lâmpada, tais como: temperatura e fluxo luminoso da unidade.

Figura 2.13 | Lâmpada LED



Fonte: iStock.

É crescente o emprego da tecnologia LED nos projetos luminotécnicos, devido às diversas vantagens desse tipo de lâmpada, com isso, ela tem se mostrando o futuro da iluminação.



Com base no ambiente que se deseja criar no espaço, como o projetista define a distribuição da luz pelo ambiente? Qual a disposição das luminárias em função da distribuição da luz?

O projeto luminotécnico deve responder a três questões (OSRAM, 200-):

- Como a luz se distribuirá pelo ambiente?

Para se responder essa questão, o projetista define se a iluminação será geral, localizada ou por tarefa. Alguns ambientes exigem que se mesquem dois ou três desses tipos.

- Como a luminária distribuirá a luz?

Essa questão diz respeito à definição de um sistema principal de iluminação, que é mais funcional, e um secundário, mais personalizado.

- Qual a ambientação que se deseja criar com a luz?

Esse questionamento deve ser levado em conta para o detalhamento do sistema secundário de iluminação, na busca por: destacar objetos, criar um determinado efeito, decoração, variação na intensidade, etc.

Luz (1995) cita duas metodologias para cálculo luminotécnico:

- a) Método dos Lumens ou do Fluxo Luminoso e
- b) Método Ponto a Ponto.

A seguir, apresenta-se mais detalhadamente a primeira metodologia.

O Fluxo Luminoso (lm) total demandado por ambiente é dado pela equação:

$$\varphi = \frac{E \times A}{\mu \times d} \quad (2.3)$$

Na equação, temos que:

α é o coeficiente de utilização, que usualmente é fornecido pelo fabricante da luminária.

d é o fator ou coeficiente de depreciação, indicado pelo fabricante da luminária.

O número (n) de lâmpadas para o fluxo calculado é obtido por meio da equação:

$$n = \frac{\varphi}{\phi} \quad (2.4)$$

Em que:

ϕ é o fluxo luminoso de cada lâmpada.

O cálculo expresso pelas duas equações anteriores baseia-se no conhecimento da iluminância determinada pelas normas, por ambiente.



Exemplificando

Com base nas indicações normativas e empregando-se o método descrito anteriormente, calcularemos o número de lâmpadas para um ambiente com as seguintes características:

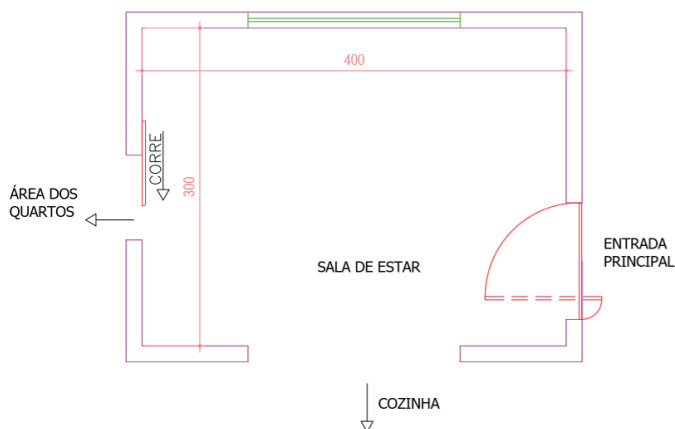
Sala de estar com dimensões de 3 x 4m (o que corresponde a 12m² de área). Pela NBR 15575 (ABNT, 2013), exige-se uma iluminância mínima de 100 lux para esse tipo de ambiente. Para ilustrar, a Figura 2.14 apresenta o croqui de uma sala semelhante à do exemplo.

Fator de utilização: 0,581.

Fator de depreciação: 0,85.

Fluxo luminoso da lâmpada a ser empregada: 1500 lm.

Figura 2.14 | Planta sala de estar



Fonte: elaborada pelo autor.

Empregando-se a Equação 2.3, obtém-se o fluxo luminoso total demandado pelo ambiente:

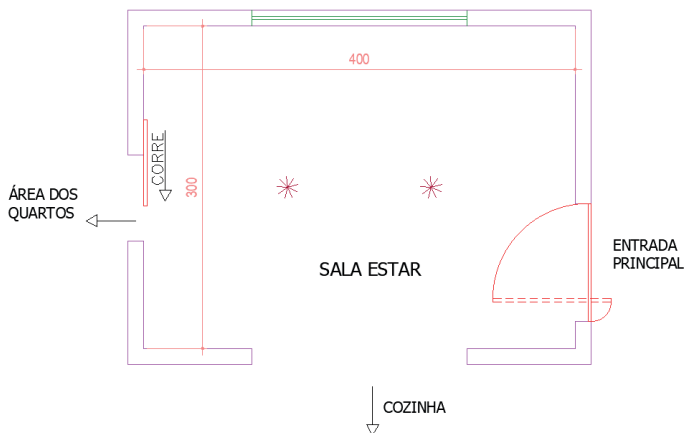
$$\varphi = \frac{E \times A}{\mu \times d} = \frac{100 \times 12}{0,581 \times 0,85} = 2429,89 \text{ lum} \quad (2.5)$$

Com base na escolha prévia da lâmpada a ser empregada no ambiente, é possível calcular o número de lâmpadas por meio da Equação 2.4:

$$n = \frac{\varphi}{\phi} = \frac{2429,89}{1500} = 1,61 \text{ unidades} \quad (2.6)$$

Arredondando-se, serão empregadas duas lâmpadas nessa sala. A Figura 2.15 apresenta o croqui com as luminárias indicadas.

Figura 2.15 | Planta sala de estar com indicação das luminárias



Fonte: elaborada pelo autor.



Pesquise mais

Emprega-se o método de cálculo Ponto a Ponto nas situações em que a fonte luminosa possui dimensões muito inferiores ao plano a ser iluminado. Determina-se a iluminância (lux) por ponto da superfície e o iluminamento total é a soma das unidades.

Pesquise mais sobre esse método, buscando exemplos de cálculos para enriquecer seus conhecimentos. Seguem duas indicações de textos para auxiliar sua busca:

LUZ, Jeanine Marchiori da. Luminotécnica. Apostila do curso de luminotécnica. Campinas: UNICAMP, 1995. 36p. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2018.

OSRAM. Iluminação: Conceitos e projetos. [s.l.], [s.d.]. 59p. Disponível em: <<https://bit.ly/2JjnUSz>>. Acesso em: 11 maio 2018.

Sem medo de errar

No dia da palestra, no congresso sobre Conforto Lumínico em edificações, você apresentou os conceitos básicos, sistemas de iluminação, normas e recomendações e exemplos de cálculo.

Você iniciou sua fala apresentando as duas principais normas brasileiras que tratam do assunto. A NBR 15575 (ABNT, 2013) trata do desempenho geral da edificação em diversos quesitos, dentre os quais, o lumínico. Para atendimento ao desempenho esperado pelo usuário, deve haver aproveitamento da iluminação natural durante o dia e a iluminação artificial deve garantir condições internas satisfatórias relativas à ocupação dos recintos e circulação com conforto e segurança. Ao longo do dia, contando apenas com a iluminação natural, a norma declara que a iluminância geral mínima na sala de estar, dormitórios, copa, cozinha e área de serviço deve ser maior ou igual a 60 lux.

Considerando-se a iluminação artificial em sala de estar, dormitórios, banheiro, área de serviço, garagens/estacionamentos internos e cobertos, corredores ou escadas internas à unidade, corredores e escadas de uso comum, a iluminância geral mínima deve ser maior ou igual 100 lux; em copas e cozinha, maior ou igual 200 lux; em garagens/estacionamentos descobertos, maior ou igual a 20 lux.

A outra norma técnica é a NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013) que define que a iluminação é adequada quando permitir a visualização do ambiente, para que as pessoas transitem com segurança e desempenhem suas tarefas visuais de maneira confortável. Ela aponta os requisitos de iluminação para locais de trabalho em ambientes internos.

Após explicar alguns dos pontos normativos, você comentou com a plateia que ao elaborar um projeto luminotécnico, o profissional responsável desenha sobre um layout da unidade da edificação, o ambiente ou edificação como um todo, e, se for o caso, desenha também os pontos de iluminação, com descrição das luminárias e lâmpadas a serem empregadas. Além disso, ele deve explicitar os pontos de acionamento de cada luminária.

Aos ouvintes, você explicou que é comum se considerarem duas metodologias para cálculo luminotécnico:

- a. Método dos Lumens ou do Fluxo Luminoso e
- b. Método Ponto a Ponto.

Contudo, optou por detalhar mais as equações da primeira metodologia.

O Fluxo Luminoso total demandado por ambiente é dado pela equação:

$$\varphi = \frac{E \times A}{\mu \times d} \quad (2.3)$$

Em que:

α é o coeficiente de utilização, que usualmente é tabelado.

d é o fator ou coeficiente de depreciação, indicado pelo fabricante da luminária.

O número (n) de lâmpadas para o fluxo calculado é obtido por meio da equação:

$$n = \frac{\varphi}{\phi} \quad (2.4)$$

Em que:

ϕ é o fluxo luminoso de cada lâmpada.

O cálculo expresso pelas equações apresentadas anteriormente baseia-se no conhecimento da iluminância determinada pelas normas, por ambiente.

Elementos do projeto luminotécnico

Descrição da situação-problema

Você possui um escritório que desenvolve projetos arquitetônicos e um cliente o procura porque deseja reformar o apartamento e quer implementar uma solução mais moderna na iluminação dos ambientes, inclusive com adoção de automação para a sala. Em conversa com você, ele lhe pergunta:

- a. Quais são os principais componentes desse tipo de projeto?
- b. Quais as soluções mais modernas e o impacto delas na instalação elétrica da residência?
- c. Qual o tipo de lâmpada mais indicada?

Resolução da situação-problema

Você explica ao cliente que o projeto luminotécnico contempla a definição dos pontos de iluminação, sobre um desenho de cada ambiente, com indicação das luminárias e lâmpadas compatíveis entre si. Além disso, ele deve conter os pontos de acionamento dos pontos de luz, indicando a eventual necessidade de tomadas, quando alguma luminária específica demandar.

Atualmente, é bastante usual o emprego de automação para o acionamento e controle da intensidade da luz, de maneira que o usuário pode usufruir de cenas diferentes de iluminação. Essa solução demanda uma interface entre a instalação elétrica, os acionamentos e luminárias, além dos aparelhos eletrônicos, como tablets e celulares, usados para configuração e controle. Para adoção de iluminação automatizada, deve ser contratada uma empresa especializada para elaboração de projeto de automação, com indicação das intervenções na instalação elétrica, modelos de acionamentos adequados. Com isso, a equipe da obra pode executar a infraestrutura necessária e o cliente pode comprar os materiais, equipamentos e acessórios compatíveis entre si.

Conforme você explica ao seu ouvinte, é desejável que se opte por lâmpadas de LED, pois são mais econômicas, duráveis e se adequam bem às necessidades das edificações modernas.

Faça valer a pena

1. Considere o seguinte enunciado referente às propriedades da luz:

Para a transmissão dos raios luminosos através das superfícies, é necessário que estas sejam _____. Por outro lado, a absorção da luz acontece pelos objetos _____.

Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado anterior, considerando também a ordem em que as mesmas estão dispostas.

- a) Opacas – translúcidos.
- b) Transparentes – translúcidos.
- c) Translúcidas – opacos.
- d) Densos – de cor escura.
- e) Reflexíveis – opacos.

2. Considere as afirmações a seguir:

- I. O conhecimento das propriedades da luz - reflexão, transmissão e absorção – auxilia o projetista na escolha de materiais e sistemas adequados ao propósito do projeto. Nesse sentido, nos casos em que a iluminação natural é elevada, e poderia causar ofuscamento, opta-se por aberturas translúcidas na fachada, a fim de favorecer a transmissão dos raios solares.
- II. Os brises são exemplos de anteparos nas fachadas que auxiliam no controle do ofuscamento interno gerado pela iluminação natural excessiva.

Analise as afirmações anteriores e marque a alternativa correta.

- a) As afirmativas I e II estão corretas.
- b) A afirmativa II é um exemplo prático do que se declara no enunciado I.
- c) Nenhuma das duas afirmativas está correta.
- d) Apenas a afirmativa I está correta.
- e) Apenas a afirmativa II está correta.

3. Seguem alguns dados fictícios relativos ao projeto luminotécnico de uma cozinha de apartamento residencial:

Dimensões de 3,5 x 4,5 m.

Fator de utilização: 0,61.

Fator de depreciação: 0,80.

Fluxo luminoso da lâmpada a ser empregada: 1550 lm.

Com base nas indicações da NBR 15575 (ABNT, 2013) e empregando-se o método descrito anteriormente, marque a alternativa que apresenta o número mínimo de lâmpadas para o ambiente 1.

- a) 5 lâmpadas.
- b) 10 lâmpadas.
- c) 12 lâmpadas.
- d) 4 lâmpadas.
- e) 7 lâmpadas.

Referências

ANDRADE, Bruna Fuzzer de. **Padrões normativos, ensaios experimentais e análise da performance acústica de telhas sanduíche**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7920>>. Acesso em: 17 maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8.995-1: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 54 p.

_____. **NBR 10.151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR 10.152: Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 12.179: Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16.373: Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. **Percepção da iluminação no espaço da Arquitetura: preferências humanas em ambientes de trabalho**. 2010. 247p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2OfuUTd>>. Acesso em: 11 maio 2018.

CAMPOS, Érick Thomas de Sousa. **Luminosidade, cores e fotometria**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Naturais, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2JRqFd9>>. Acesso em: 11 maio 2018.

ISOVER – Soluções em lã de vidro para isolamento e tratamento acústico. Isolamento de Tubulações Hidráulicas. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2Aa0U8G>>. Acesso em: 21 maio 2018.

KRUM, Christiane Cunha. **Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso**. 2011. 181p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/49298>>. Acesso em: 10 maio 2018.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila da disciplina Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa

Catarina. Florianópolis: Labeee, 2016. 239 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2kwV1r6>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

LEAL, Ubiratan. Ruídos em tubulações podem ter várias causas. **Téchne**, São Paulo, ed. 72, p. 1-5, mar. 2003. Disponível em: <<https://bit.ly/2mE8Zsg>>. Acesso em: 2 maio 2018.

LUZ, Jeanine Marchiori da. **Luminotécnica**. Apostila do curso de luminotécnica. Campinas: UNICAMP, 1995. 36p. Disponível em: <<https://bit.ly/2sJz9fR>>. Acesso em: 11 maio 2018.

MOURA, Eride. Fachadas respirantes. **Techné**, [S.l.], ed. 144, p. 1-9, mar. 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2F1ymwa>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

NEUBAUER, Paola Mezzomo. **Estudo comparativo entre diversas composições com pisos flutuantes de madeira natural - assoalho e tacos - quanto ao isolamento do ruído de impacto**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2mDeoQF>>. Acesso em: 2 maio 2018.

OGAWA, Matheus de Oliveira Afonso; ÁVILA FILHO, Mauro Cézar; RASSI, Pedro Fábio. **Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais**. 2014. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2uYvzT>>. Acesso em: 21 maio 2018.

OSRAM. **Iluminação**: Conceitos e projetos. [s.l.], [s.d.]. 59p. Disponível em: <<https://bit.ly/2JjnUSz>>. Acesso em: 11 maio 2018.

PERALTA, Gizela. **Desempenho térmico de telhas**: Análise de monitoramento e normalização específica. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/2LHwBr4>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

PIERRARD, Juan Frias; AKKERMAN, Davi. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**: Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho. São Paulo: Rush Gráfica e Editora Ltda., 2013. 32 p. Realização ProAcústica Associação Brasileira para a Qualidade Acústica. Disponível em: <<https://bit.ly/2uXd6Uk>>. Acesso em: 21 maio 2018.

PORTELA, Marcelo. **Materiais acústicos: conceitos para acústica arquitetônica**. Florianópolis: LVA/UFSC, 2011. 23 slides, color. Disponível em: <<https://bit.ly/2mIlgzX>>. Acesso em: 2 maio 2018.

REIS, Inês Filipa Gomes dos. **Avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico de um edifício**. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas Energéticos Sustentáveis, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2O96yKZ>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

SANTOS, Sara Dionísio Palma. **Sistemas Avançados de Iluminação Natural**: Estudo Comparativo de Vidros Prismáticos, Laser-Cut Panels e Channel Panels. 2009. 142

f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2A6bXIT>>. Acesso em: 11 maio 2018.

SANTOS FILHO, Vamberto Machado dos; SPOSTO, Rosa Maria; CALDAS, Lucas Rosse. Análise do desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em um edifício habitacional em Brasília-DF. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 116-130, 15 maio 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2NAjFDQ>>. Acesso em: 2 maio 2018.

SOUZA, Henor Artur de; RODRIGUES, Luciano Souza. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 2, p. 189-194, jun. 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2NEpa4C>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

SIMÕES, Flávio Maya. **Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro: Ufal, 2011. 117 p. Trabalho elaborado no âmbito do convênio ECV033/04 realizado entre ELETROBRAS PROCEL e UFAL. Disponível em: <<https://bit.ly/2LAluY>>. Acesso em: 2 maio 2018.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2011. 1v. Disponível em: <<https://bit.ly/2mBrptV>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

VIEIRA, Rômulo Valente Custódio. **Análise da eficiência energética e conforto térmico do Instituto de Biologia**. 2014. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2OboZ1Q>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

Patologia das construções

Convite ao estudo

Olá, aluno!

Conforme você avança na leitura do livro, vai aprendendo novos conteúdos que podem lhe ser úteis em sua futura atuação profissional.

Na Unidade 1 você aprendeu um pouco mais sobre a industrialização na Construção Civil, a partir do desenvolvimento teórico do tema, bem como de exemplos práticos. A segunda unidade tratou dos processos construtivos voltados para o conforto térmico, acústico e lumínico das edificações.

Como um profissional que poderá trabalhar especificamente lidando com patologias nas construções, alguns contextos possivelmente demandarão o conhecimento acerca da interpretação de trincas, rachaduras e fissuras nas estruturas. Nesse sentido, a presente unidade abordará algumas patologias nas construções em estruturas de concreto, aço e madeira, bem como os desgastes nos acabamentos. Serão abordadas também algumas técnicas e procedimentos para manutenção e recuperação das estruturas.

Visando ilustrar a aplicação desses conhecimentos, vamos imaginar uma empresa de Engenharia que fornece consultorias para patologias em edificações e da qual você faz parte, sendo que, dentro da equipe da companhia, você atua como consultor técnico especialista nesta área.

As edificações sofrem com a ação do tempo e, por isso, apresentam desgastes devido à sua utilização, bem como pelo contato com as intempéries.

A fim de amenizar esses efeitos, a empresa sempre recomenda que os usuários realizem a manutenção preventiva

dos diversos elementos que compõem uma edificação. Essas manutenções têm a capacidade de aumentar sua vida útil como um todo, quando se compara com a situação de ausência de manutenção. Porém, nem sempre os usuários procedem conforme orientado, e em outros casos, a falta de profissionais habilitados na etapa de construção faz com que eles não sejam orientados corretamente. Por isso é comum que a empresa seja acionada para oferecer consultorias, nas quais orientam sobre reformas e reparos em edificações nessas circunstâncias.

Como profissional experiente, você sabe que, além da ação do tempo, as edificações estão sujeitas a patologias causadas pela má utilização, acidentes, reformas não supervisionadas, ou até mesmo erros de projeto e executivos. Como os problemas nas construções podem impactar financeiramente seus usuários? E no que diz respeito à segurança?

Cada sistema da construção está sujeito a problemas diferentes. As construções em aço, por exemplo, podem sofrer com a oxidação, com sobrecarga, erros de projeto, etc. e cada uma dessas situações exige uma providência diferente. Os elementos de madeira sofrem bastante com a ação do tempo e da umidade, ataques de pragas, sobrecarga, entre outros fatores. As pinturas podem ser comprometidas por vazamentos, sujeiras, etc. Já os acabamentos cerâmicos estão sujeitos ao desgaste abrasivo e a choques mecânicos, por exemplo. Quais os problemas a que cada um desses sistemas está sujeito?

Nesses casos, quando o cliente detecta o problema e chama a empresa, esta lhe envia ao local a fim de identificar o tipo de patologia e propor a correta intervenção.

Para que você esteja apto a responder essas questões, serão abordadas as normas, materiais, técnicas e exemplos aplicáveis à identificação e recuperação de patologias em construções.

Seção 3.1

Fissuras, trincas e rachaduras nas edificações

Diálogo aberto

Olá, aluno.

Imagine que você trabalhe em uma empresa de consultoria em patologias e que um cliente tenha ligado, solicitando uma visita técnica para avaliação de problemas que ele acredita serem estruturais.

Você, como consultor técnico em patologias, foi designado pela empresa para visitar o cliente. Ao chegar à casa do cliente, você soube que se tratava de uma construção anexa à residência principal e que nesse anexo alguns problemas foram detectados: trincas nos pilares, que expunham a armação já em processo de oxidação, e vigas com pequenas trincas no meio do vão em sua porção inferior.

Você avaliou as patologias, fez algumas considerações no local e se comprometeu a enviar uma proposta para definição da melhor solução para resolução dos problemas. Enquanto isso, solicitou que os usuários isolassem o anexo para impedir a entrada de pessoas.

Como forma de introduzir esse conhecimento no seu relatório final de consultoria para o cliente, pense nas seguintes questões:

Quais as diferenças entre fissura, trinca e rachadura?

Você seria capaz de citar alguns tipos de patologias em concreto?

Quais as principais causas e mecanismos de patologias em concreto?

Como a qualidade dos materiais pode interferir no desempenho das estruturas de concreto?

Não pode faltar

Fissuras, trincas e rachaduras nas edificações: definições, causas e mecanismos

As construções podem apresentar anomalias, defeitos e mal funcionamento devido à ação do tempo, erros de projeto, negligências na fase de execução, pela ausência de manutenções periódicas, etc. Para os países, os gastos com recuperação de estruturas, ou com os

prejuízos oriundos dos acidentes envolvendo edificações, são elevados e dispendiosos para os governos. Dessa maneira, é primordial que seja dada atenção à etapa de planejamento nos empreendimentos, que os projetos sejam elaborados conforme as normas, que as obras sejam executadas segundo as técnicas corretas, obedecendo-se os projetos, e que os usuários procedam às manutenções necessárias. Com isso, perdas materiais e humanas podem ser evitadas.

Silva (2011) explica que não se deve confundir o termo “manifestação patológica” com “patologia” ao se referir ao sintoma resultante de um processo de degradação. Segundo ele, Patologia é a ciência formada pelas teorias que buscam explicar o processo cujo resultado é uma manifestação patológica, que é aquilo que o responsável técnico observa em uma vistoria em uma edificação.



Exemplificando

Silva (2011) cita algumas manifestações patológicas, suas causas, origens e mecanismos associados. Por exemplo:

Manchas de corrosão e deslocamento do cobrimento em uma viga de concreto armado são manifestações patológicas que podem ser causadas por fissuras no concreto e ataque de agentes agressivos (tais como CO₂, Cl⁻, íons sulfatos). A origem desse tipo de problema pode estar associada à etapa de projetos, execução ou pós-entrega, e ainda à má qualidade de materiais empregados na construção. O mecanismo de degradação se dá através da corrosão das armaduras, pela reação expansiva do aço com o oxigênio e água que adentram na peça estrutural.

Fissuras e trincas podem ser causadas por sobrecarga, armação insuficiente, recalques de fundação, retração do concreto, etc. As origens são semelhantes às das manifestações patológicas citadas anteriormente e o mecanismo é a deformação excessiva e não prevista da estrutura, com a abertura de fissuras. O Quadro 3.1 resume alguns desses problemas.

Quadro 3.1 | Exemplos de manifestações patológicas

Manifestação patológica	Causa	Origem	Mecanismo
Corrosão, deslocamento do cobrimento.	Fissuras e ataques de agentes agressivos.	Projeto Execução Materiais Pós-obra	Corrosão do aço.

Fissuras e trincas.	Sobrecarga, armação insuficiente, problemas de fundações, retração do concreto.	Projeto Execução Materiais	Deformação não prevista e abertura de fissuras.
Eflorescência	Porosidade do concreto, excesso de água, cal livre no cimento.	Execução Materiais	Reação do excedente de água com a cal e sua percolação para a superfície da peça.

Fonte: adaptado de Silva (2011, p. 8).

Como as trincas, fissuras e rachaduras são bastante comuns dentre as manifestações patológicas, sendo importante destacar a diferença entre elas, já que esse conhecimento é exigido do profissional que trabalha com perícias, elaboração de laudos, vistorias, etc.

Corsini (2010) diz que o termo fissura é tecnicamente mais correto que trinca e não considera uma diferenciação entre ambos. Já Gonçalves (2015) define que as **fissuras** são aberturas com espessura inferior ou igual a 0,5 mm, por outro lado, as **trincas** possuem espessura superior a esse valor e inferior a 1 mm. As **rachaduras** são aberturas maiores e mais profundas que os dois tipos anteriores, porém sua espessura não ultrapassa 1,5 mm, já que acima desse valor, a abertura é chamada de **fenda**.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define **fissura** como sendo uma abertura capilar que pode se apresentar de duas maneiras: a) ativa: cuja abertura varia; b) passiva: abertura não varia. Essa norma também considera a palavra **trinca** como uma expressão coloquial, contudo, define-a, em termos dimensionais, de maneira semelhante a Gonçalves (2015): aberturas com valores maiores que 0,5 mm.

De acordo com Corsini (2010), as fissuras são consequências de solicitações impostas aos materiais que, por sua vez, não resistem a tais solicitações. Quanto maior for a impossibilidade de movimentação da peça e quanto mais frágil for seu material, maior sua tendência de fissurar. Ainda segundo esse autor, as causas dessas manifestações patológicas podem ser internas ou externas. As causas externas estão

associadas a movimentações térmicas e higroscópicas, sobrecargas, deformações e recalques nas fundações. Já as internas advêm da retração ou alterações químicas nos materiais. Há ainda aquelas causas que têm origem exógena, isto é, externa à obra, tais como, sismos, escavações na vizinhança, infiltrações, etc.



Assimile

A retração no concreto é um fenômeno devido à:

- Perda de água causada por uma cura inadequada ou exsudação, acontece antes do início da pega (retração plástica).
- Perda de água no estado endurecido, em consequência da dosagem errada (retração por secagem ou hidráulica).
- Reação de hidratação que gera redução de volume da peça (Retração Química).
- Água que migra dos poros do concreto (retração autógena).
- Liberação de calor na reação exotérmica de hidratação do cimento. Nesse caso, ocorre uma expansão inicial do concreto e, com o resfriamento, este se retrai, podendo ocasionar as fissuras (retração térmica).

Nas alvenarias, as fissuras geométricas são as que ocorrem tanto nos blocos como na argamassa de assentamento. As fissuras mapeadas acontecem por retração da argamassa (entre outros motivos) e são mais superficiais que as anteriores. Essas duas classificações admitem aberturas ativas ou passivas (CORSINI, 2010).

Corsini (2010) explica que a configuração de fissuras com diferentes origens pode ser semelhante. Isso pode gerar confusão e exige a presença de um profissional habilitado para avaliação e solução do problema.

Com os prazos cada vez menores das obras, é comum também que os tempos de cura dos materiais não sejam obedecidos.

A fixação (também chamada de encunhamento) entre alvenaria e estrutura deve respeitar os prazos de finalização de toda a estrutura e alvenaria, para ser executada dos andares de cima em direção aos de baixo. Isso porque, à medida que a estrutura recebe as cargas

das alvenarias, deforma-se, gerando tensões nos pavimentos, que fissurariam as alvenarias de baixo, caso estas já estivessem ligadas às vigas. Contudo, nem sempre a ordem é respeitada e esses problemas acabam acontecendo (CORSINI, 2010).

Algumas manifestações patológicas típicas em alvenaria são sistematizadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 | Fissuras típicas em alvenarias

Causa	Configuração da abertura	Mecanismo de ruptura
Sobrecarga	Vertical, horizontal por esmagamento da argamassa, inclinadas próximas às janelas e portas.	Esforço de tração nos blocos devido a esforços horizontais criados pela argamassa sobrecarregada.
Variação de temperatura	Horizontais, inclinadas, verticais ou que acompanham a interface com a estrutura.	Movimentação térmica da estrutura de concreto ou movimentação térmica da alvenaria.
Deformação de elementos estruturais	Horizontais, na forma de arco, inclinadas nos cantos superiores e inferiores das paredes, verticais no centro da parede.	Tensões de compressão, tração e cisalhamento na alvenaria.
Recalques de fundação	Diversas configurações	Deformações
Retração e expansão	Horizontais, na base da parede, verticais, ou que acompanham a interface com a estrutura	Retração da estrutura, retração ou expansão da alvenaria.

Fonte: adaptado de Magalhães (2004).

Fissuras em reboco aparecem quando sua execução se dá antes da completa cura do emboço ou mesmo da alvenaria. Segundo Zuchetti (2015), as fissuras em revestimentos de argamassa causadas pela perda de água nas primeiras idades apresentam forma de mapa. Em seguida, quando o material já está seco e mais rígido, ocorrem movimentos de retração, com consequente surgimento de tensões que induzem à formação de aberturas mapeadas que se cruzam em ângulo aproximado

de 90°, como mostra a Figura 3.1. Quando o estado se torna agudo, pode acontecer o deslocamento de partes da argamassa. Esse autor cita, como principais causas dos problemas nas argamassas: baixa qualidade dos materiais utilizados, traço incorreto e erros de execução. Quando são assentados sobre elas outros revestimentos, tais como cerâmicas e porcelanatos, essa situação pode induzir o deslocamento das peças.

Figura 3.1 | Fissuras em argamassa



Fonte: iStock.

O controle da qualidade dos materiais componentes da argamassa é essencial para garantir a qualidade final do revestimento. A água da mistura deve ser potável e estar limpa, sem contaminantes. Deve-se verificar a origem da areia, realizar ensaios e testes para determinação das propriedades físicas demandadas bem como da presença de elementos que possam contaminar a argamassa ou mesmo o concreto. Para se evitar algumas dessas preocupações em obra, é comum que as construtoras optem pela argamassa industrializada. Apesar disso, mantém-se o cuidado com a qualidade e com a quantidade (segundo especificações da embalagem) de água, os parâmetros mecânicos ainda precisam ser controlados por meio de ensaios em amostras, conforme as normas específicas.

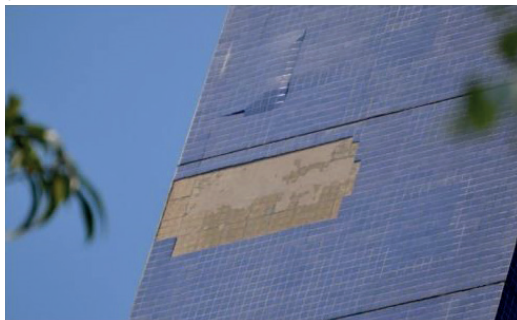
Um desses ensaios é o de aderência, realizado por meio do arrancamento de corpos cilíndricos de argamassa, conforme NBR 13528 (ABNT, 2010) e NBR 13749 (ABNT, 2013), a fim de se medir a aderência da argamassa ao substrato. São confeccionados painéis de revestimento de argamassa nos quais as amostras são retiradas, medindo-se a tensão alcançada.

Ainda sobre revestimentos e argamassas, podemos citar as patologias em fachadas de edifícios altos, situação essa muito

recorrente na construção civil do Brasil. Devido ao processo de movimentação térmica do sistema de revestimento, tanto a argamassa quanto as placas cerâmicas das fachadas podem trincar e deslocar (Figura 3.2), ocasionando queda desses pedaços e possíveis acidentes.

Além da movimentação térmica, podemos citar outras causas para esse deslocamento, como a deficiência na fase de projeto, o desconhecimento das características dos materiais empregados e/ou emprego de materiais inadequados, erros de execução ou também falta de manutenção. A NBR 13755 (ABNT, 2017) traz várias recomendações e detalhes de projetos para as fachadas de edifícios, inclusive orientando para o posicionamento adequado das juntas de movimentação nas fachadas, sistema obrigatório para que essas patologias sejam evitadas.

Figura 3.2 | Deslocamento em fachada de edifício



Fonte: Machado (2017).

Problemas na impermeabilização também resultam no aparecimento de trincas, já que, quando essa etapa é negligenciada, a passagem da água pode atacar revestimentos, fachadas, estruturas, etc.



Exemplificando

O vazamento no concreto de uma piscina, com o tempo, resultou no comprometimento da estrutura. A degradação do concreto e do aço, neste caso, é potencializada, porque a água em questão é uma solução que contém cloro.

A negligência na impermeabilização das áreas molhadas, tais como o box de banheiro, propicia a passagem da umidade para outros ambientes e fachadas, causando manchas (Figura 3.3) e trincas.

Figura 3.3 | Mancha em superfície devido à passagem de umidade

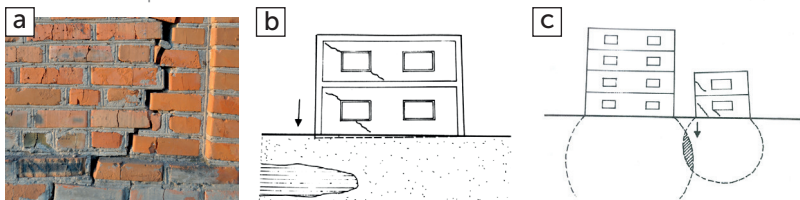


Fonte: <<http://www.saiunojornal.com.br/infiltracao-o-que-fazer-quando-o-seu-teto-parede-ou-piso-comecam-a-ficar-com-bolhas-descascar-e-ficar-cinza-cor-de-mofo.html>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

No contato entre alvenaria e os pilares de concreto, caso a amarração entre ambos seja ineficiente ou não seja executada, surgem aberturas, pois o coeficiente de dilatação das duas superfícies é diferente.

Zuchetti (2015) destaca outra situação, os recalques de fundação que podem ocasionar diversos problemas nas edificações, devidos à movimentação não prevista da estrutura, vedação e demais sistemas. Essa movimentação pode ser diferencial, ou seja, um setor da edificação afunda e outro, não, ocasionando separação entre partes da edificação e fissuras generalizadas (figura 3.4). Os recalques se dão, tanto por problemas de projeto e execução da etapa de fundação, como por abalos sísmicos, escavações e vibrações em terreno vizinho, alterações químicas ou retração do solo. Oliveira (2012) pontua que, no caso de recalques de fundações, as fissuras típicas são inclinadas, com abertura variada.

Figura 3.4 | Fenda em alvenaria causada por recalque da base (a); esquema de fissuração devido ao recalque ocasionado por solo não homogêneo (b); recalque e fissuração em edifício menor pela interferência de um edifício maior no seu bulbo de tensões (c)



Fonte: (a) iStock; (b) e (c) Thomaz (1989, p. 97).

Alguns tipos de patologias em concreto

Para as estruturas de concreto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define estado-limite de formação de fissuras como sendo aquele momento a partir do qual se inicia a formação dessas aberturas, devido à ultrapassagem da tensão de tração máxima do concreto. Quando as aberturas atingem um valor máximo, a norma considera que se atingiu o estado-limite de abertura de fissuras.

Ainda de acordo com a norma NBR 6118, devido ao risco elevado de corrosão do aço, nas peças com fissuração excessiva, esse estado deve ser evitado por meio de uma espessura mínima de recobrimento (ou cobrimento) da armadura: a camada de concreto que separa o aço da peça e o meio externo. Com isso, estando a peça sujeita às fissuras aceitáveis, o recobrimento impede que o aço fique exposto à corrosão. Os valores de cobrimento são expressos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e constam no livro da disciplina de Estruturas de Concreto I.



Assimile

A presença de fissuras no concreto é inevitável, tendo em vista que é um material frágil que apresenta baixa resistência à tração. A retração do concreto em suas primeiras idades também pode ocasionar fissuração, visto que o material ainda não possui resistência suficiente para absorver as tensões.

O que se busca é controlar os valores máximos de abertura de fissuras, conforme resumido na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 | Algumas exigências relativas à fissuração no concreto

Tipo de concreto	Abertura máxima característica das fissuras (valor estatístico)
Concreto armado	$\leq 0,4$ mm (a depender da classe de agressividade do meio).
Concreto protendido	$\leq 0,2$ mm ou por meio de equação específica dada pela NBR 6118 (a depender da classe de agressividade do meio).

Fonte: adaptada de ABNT (2014).

Segundo Corsini (2010), em vigas de concreto armado, fissuras capilares no meio do vão são menos graves que aquelas situadas próximas aos apoios, já que, nessa circunstância, podem indicar alguma sobrecarga causando esforços cortantes não previstos.

Outro problema bastante comum é a fissuração em lajes, que ocorre devido à sobrecarga durante as obras pela estocagem de pilhas de sacos de cimento (ou argamassa), tijolos, etc. É frequente que esses materiais sejam estocados em pilhas muito próximas ou em grandes quantidades, e essa situação sujeita as lajes a carregamentos superiores aos previstos em projetos (CORSINI, 2010).

Das manifestações patológicas observadas no concreto armado, o ataque por íons cloreto é uma das situações mais estudadas pela Engenharia, gerando gastos anuais, aproximadamente, de 800 milhões de reais para recuperação de estruturas (SILVA; LIMA; SILVA, 2017). Esses íons podem adentrar estruturas localizadas em ambientes litorâneos, ou por contaminação, via absorção capilar, ou por já estarem presentes na composição do concreto. Quanto mais poroso o concreto (elevado fator a/c), maiores as chances de absorção ou difusão dos cloretos. No interior da peça, os íons cloreto atacam a armadura, promovendo sua oxidação, um processo que gera tensões internas na peça, devido ao aumento de volume do aço. Com isso, surgem fissuras e posterior deslocamento da camada de concreto de cobrimento, conforme exemplificado pela Figura 3.5.

Figura 3.5 | Deslocamento e ataque do aço de laje em concreto



Fonte: iStock.

Como o concreto é um meio básico, ele oferece proteção extra ao aço, contudo, quando é contaminado com substâncias que alteram seu pH, diz-se que houve despassivação da armadura. Esta fica, então, suscetível à corrosão (SILVA; LIMA; SILVA, 2017).

Os aditivos empregados no concreto podem conter cloretos em sua composição, que o contaminariam. Por isso, há que se controlar o tipo de aditivo a ser usado. E mesmo que o concreto seja usinado, a obra deve solicitar ao fornecedor essa informação.

Quem também pode comprometer as estruturas de concreto são os íons sulfatos conduzidos através da água ou dos solos contaminados por eles, para o interior das peças. Eles reagem com a pasta de cimento, causando a formação de gipsita e etringita no concreto já endurecido. Esses produtos são depositados nos poros da matriz cimentícia, e, quando o volume desses produtos supera o próprio volume do poro, é causada uma expansão interna do concreto, fissuração e perda da resistência mecânica.

Outra situação à qual o concreto está sujeito é a carbonatação. Siqueira et al. (2017) explicam que o CO_2 (gás carbônico) atmosférico, em contato com o concreto, penetra em sua massa e, em presença de água, reage com o Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio), que é um dos produtos da hidratação do cimento, gerando CaCO_3 (carbonato de cálcio). Tal reação se processa a partir da face externa das peças de concreto e, por difusão do CO_2 para o meio interno, avança dentro da estrutura, diminuindo o pH da massa de concreto. A diminuição do pH, à maneira do que acontece nos ataques de íons cloretos, despassiva a armadura, expondo-a à oxidação precoce.



Reflita

O controle dos materiais que compõem o concreto é de extrema importância, tanto no que diz respeito aos aditivos, como dos demais ingredientes da mistura: areia, cimento, brita, água, adições, etc.

Caso algum dos ingredientes do concreto não esteja de acordo, como isso poderia impactar a qualidade final do material?

Conforme explicado anteriormente, a água de emassamento do concreto precisa ser potável e limpa, com brita e areia sem presença de matéria orgânica ou outros contaminantes. Quanto ao cimento, além dos parâmetros físicos e mecânicos requeridos em projeto, controla-se sua validade e se não está “empedrado” pelo contato precoce com umidade.



Pesquise outros problemas a que o concreto está sujeito, suas causas e consequências às estruturas. Além disso, busque exemplos de outras situações que podem comprometer as alvenarias e as fachadas das edificações. Seguem algumas indicações de leitura:

MACHADO, Jorge André Gomes. Perícia em fachada de edifício multifamiliar para verificação e análise do deslocamento do revestimento cerâmico com auxílio de drone. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 19., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Ibape, 2017. p. 1-23. Disponível em: <<https://bit.ly/2MGSb2A>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

MAGALHÃES, Ernani Freitas de. **Fissuras em alvenarias**: configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10135>>. Acesso em: 25 maio 2018. Leia o item 2.7 e o capítulo 3 deste material.

ZUCHETTI, Pedro Augusto Bastiani. **Patologias da construção civil**: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari / RS. 2015. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2mhbjP2>>. Acesso em: 21 maio 2018. Leia os itens 2.2 e 2.3.

Sem medo de errar

Lembre-se de que você é o consultor que está atendendo a um cliente cuja solicitação é uma visita técnica para avaliação de problemas que ele acredita serem estruturais. Lá foram detectados os seguintes problemas: fissuras nos pilares que expunham a armação já em processo de oxidação, e vigas com pequenas aberturas no meio do vão em sua porção inferior.

Como forma de introduzir o tema no relatório final do cliente, você refletiu sobre as seguintes questões ao avaliar uma estrutura:

Quais as diferenças entre fissura, trinca e rachadura?

Você seria capaz de citar alguns tipos de patologias em concreto?

Quais as principais causas e mecanismos de patologias em concreto?

Como a qualidade dos materiais pode interferir no desempenho das estruturas de concreto?

Alguns autores entendem que não há diferenças tão relevantes entre os termos “trinca” e “fissura” a ponto de apresentarem definições específicas e, inclusive, consideram o último mais adequado. Outros autores, bem como as normas relativas ao tema, estabelecem que **fissuras** são aberturas com espessura inferior ou igual a 0,5 mm, as **trincas** possuem espessura superior a esse valor e inferior a 1 mm; as **rachaduras** são aberturas maiores que não ultrapassam 1,5 mm, e já aquelas que são maiores que isso são chamadas de **fendas**. As fissuras se apresentam de duas maneiras: a) ativa: cuja abertura varia; b) passiva: abertura não varia.

No que diz respeito especificamente ao concreto armado, fissuras (em vigas) próximas aos apoios podem indicar uma sobrecarga, que ocorre devido a esforços cortantes. Lajes costumam sofrer com sobrecarga durante as obras pela estocagem de pilhas de sacos de cimento (ou argamassa), tijolos, etc.

O ataque por íons cloreto, nas peças de concreto, é uma das situações que ocorre quando esses íons penetram estruturas localizadas em ambientes litorâneos, ou por contaminação, via absorção capilar, ou por já estarem presentes na composição do concreto (presentes em alguns aditivos). A porosidade da pasta (elevado fator a/c) aumenta as chances de absorção ou difusão dos cloretos. O cloreto causa a despassivação do aço (devida à diminuição do pH local), oxidando-o e, consequentemente, aumentando seu volume: um processo que gera tensões internas na peça. Daí surgem fissuras e deslocamento da camada de concreto de cobrimento.

Outro problema semelhante é a carbonatação, processo no qual o CO_2 (gás carbônico) atmosférico, em contato com o concreto, penetra em sua massa e, em presença de água, reage com o Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio), gerando CaCO_3 (carbonato de cálcio). Tal reação diminui o pH da massa de concreto, o que despassiva a armadura, expondo-a à oxidação.

Ainda existe o ataque por íons sulfato (SO_4^{2-}), presentes em águas e solos contaminados, que penetram na matriz, reagem com a pasta de cimento e produzem gipsita e etringita. Esses produtos

podem ocasionar expansão do concreto já endurecido, levando à fissuração e à perda de resistência mecânica.

O controle dos materiais que compõem o concreto é de extrema importância, tanto no que diz respeito aos aditivos, como dos demais ingredientes da mistura: areia, cimento, brita, água, adições, etc.

Materiais contaminados promovem reações não previstas no interior da massa de concreto, podem gerar expansões e consequentes tensões que provocam fissuras. Além disso, esses materiais podem favorecer a oxidação do aço do concreto, que também é uma reação expansiva e leva à fissuração.

Dessa maneira, não devem ser empregados aditivos que contenham cloretos ou demais substâncias deletérias ao concreto. A água empregada na mistura deve ser potável e limpa, com brita e areia sem presença de matéria orgânica ou outros contaminantes. Do cimento, controlam-se seus parâmetros físicos e mecânicos requeridos em projeto, sua validade e seu aspecto visual.

Avançando na prática

Patologias nas alvenarias

Descrição da situação-problema

Você é o gestor da obra de construção de um edifício de apartamentos residenciais, que está na concretagem dos últimos pavimentos da estrutura. Um dos clientes que visita frequentemente a construção questionou o motivo de você não ter iniciado as alvenarias e demais vedações do prédio já nos pavimentos inferiores. Ele aproveitou para lhe dizer que, frequentemente, vê, em outras edificações, fissuras nas paredes. Com isso, pergunta a você algumas das causas desses problemas e o que pode ser feito para evitá-los.

Resolução da situação-problema

Você explicou ao proprietário que à medida que a estrutura avança, mais carga é adicionada aos elementos inferiores, que estão aptos a receber a deformação gerada nesse processo. Contudo,

as alvenarias não possuem a mesma resistência, nem a mesma capacidade de deformação. Por isso, para evitar fissuração das paredes, deve-se aguardar os prazos de cura completa do concreto, iniciar-se as alvenarias do pavimento superior em direção ao inferior e, só então, executar ligação da porção superior das paredes à viga acima, por meio do encunhamento.

Outro problema bastante comum são as trincas entre alvenaria e concreto, quando a amarração entre os dois elementos não é corretamente feita. Tal fato decorre da diferença de dilatação, em função da variação de temperatura, entre as duas superfícies.

Você citou também as trincas presentes na superfície da parede já rebocada, que surgiram por não ter sido respeitado o tempo entre cada etapa que envolve a execução de uma parede de tijolos cerâmicos: execução de toda a alvenaria, tempo de cura, encunhamento, emboço, tempo de cura e reboco.

O cliente gostou bastante das explicações e sentiu-se seguro quanto aos cuidados que você toma para que se evitem esses problemas na presente obra.

Faça valer a pena

1. Seguem duas afirmações acerca de manifestações patológicas no concreto:

I – A corrosão, com posterior deslocamento do concreto, é uma _____ e algumas de suas causas são _____ e _____.

II - _____ têm diversas causas, entre as quais, sobrecarga e retração do concreto. Um de seus mecanismos é a _____.

Marque a alternativa que contém as palavras que, nessa ordem, preenchem as lacunas das afirmações anteriores.

- a) Deformação; tração; compressão; deslocamentos; movimentação térmica.
- b) Manifestações patológicas; ataque de cloretos; carbonatação; fissuras; deformação.
- c) Fissura; compressão; deformação; deslocamentos; tensões.
- d) Manifestações patológicas; ataque de cloretos; fissuração; fendas; deformação.
- e) Manifestações patológicas; eflorescência; manifestações patológicas; compressão.

2. Nas alvenarias, há diversas configurações para as fissuras, já que essas apresentam origens diferentes. Observe as duas colunas que seguem, a da esquerda diz respeito às causas das fissuras e a da direita, aos seus mecanismos de ruptura:

- | | |
|--|---|
| (a) Sobrecargas. | (1) Movimentação térmica da estrutura. |
| (b) Gradiente de temperatura na estrutura. | (2) Diminuição do volume da peça de concreto. |
| (c) Retração do concreto. | (3) Deformações. |
| (d) Recalques de fundação. | (4) Esforços de tração. |

Marque a alternativa que corretamente relaciona as duas colunas.

- a) a-3; b-2; c-1; d-4.
- b) a-1; b-2; c-4; d-3.
- c) a-4; b-2; c-1; d-3.
- d) a-4; b-1; c-2; d-3.
- e) a-2; b-1; c-4; d-3.

3. A respeito das manifestações patológicas, são feitas as seguintes afirmações:

- I) As alvenarias podem sofrer fissuras graves devido à deformação excessiva imposta a elas.
- II) A impermeabilização de áreas molhadas, reservatórios e locais sujeitos à incidência de chuvas é essencial para se evitarem problemas nas estruturas e demais sistemas da edificação. A infiltração da água das áreas molhadas em direção à fachada pode implicar em recalques diferenciais na alvenaria.
- III) Os recalques diferenciais consistem na movimentação dos elementos de fundação devido a problemas nas partes que constituem a infraestrutura da construção, vibrações no terreno do vizinho ou no próprio solo da edificação.

Considerando as afirmações anteriores, marque a alternativa correta.

- a) Apenas os itens I e II estão corretos.
- b) Os itens I, II e III estão corretos e o item III pode configurar uma causa do problema relatado em I.
- c) Apenas os itens II e III estão corretos e o item III pode configurar uma manifestação patológica oriunda da negligência do que se afirma em II.
- d) Apenas o item I está correto.
- e) Apenas os itens I e III estão corretos e o item III pode configurar uma causa do problema relatado em I.

Seção 3.2

Patologias em aço, madeira, pintura e desgaste dos acabamentos

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Na seção anterior, tratamos dos conceitos gerais relativos às fissuras em edificações, alguns problemas específicos das estruturas de concreto, trincas e fissuras em alvenarias. Além disso, você pôde compreender a importância do controle dos materiais como forma de garantir a qualidade final da edificação.

Já a presente seção apresentará alguns exemplos de manifestações patológicas relacionadas às estruturas de madeira e aço, problemas em pinturas e desgastes nos acabamentos. Para ilustrar algumas situações práticas, de maneira a contemplar os temas descritos anteriormente, imagine-se no seguinte contexto:

A empresa na qual você trabalha como consultor técnico foi acionada por um cliente em busca de consultorias mensais no momento da construção de uma casa de elevado padrão socioeconômico, em um condomínio de luxo.

A reunião aconteceu no escritório da empresa e você foi o responsável designado para este trabalho, que não costuma aparecer com frequência, já que nem sempre o cliente se preocupa em evitar patologias por meio de profissionais especializados nesse assunto.

A casa foi idealizada por um arquiteto que mesclou estruturas em perfis de aço aparente, algumas vigas em madeira e o restante em concreto. As vedações das paredes serão em alvenaria e seu acabamento em pintura. Banheiro e demais áreas molhadas, bem como os pisos da residência, serão em porcelanato. A fachada da residência será revestida em textura.

Haverá uma grande variedade de sistemas construtivos presentes nesse projeto, o que exigirá dos consultores bastante conhecimento quanto aos problemas particulares de cada material.

Quando aparece esse tipo de demanda, você pesquisa sobre os principais materiais a serem empregados e suas principais patologias.

Considerando esse tema, quais as principais patologias no aço destinado ao concreto armado? E quando se trata de perfis de aço, há muitas diferenças?

Quais os principais problemas relacionados às estruturas e peças de madeira?

Você poderia apontar algumas patologias em pinturas? E nos acabamentos cerâmicos?

Para responder a essas questões, você deverá saber as aplicações dos materiais e sistemas citados, bem como os principais problemas relacionados ao seu emprego. Será importante que, quando você for um profissional da área, saiba identificar as principais manifestações patológicas desses sistemas.

Não pode faltar

Os diversos sistemas que compõem uma edificação sofrem com a ação do tempo, desgaste dos materiais, fadiga dos seus componentes, etc. Por outro lado, verifica-se que, precocemente, materiais e sistemas apresentam falhas, sejam pelo uso inadequado, ou por problemas relacionados a projeto e execução.

Do profissional que atua no setor da construção, espera-se o conhecimento acerca de alguns problemas que acometem os principais componentes de uma edificação. Por isso, o conteúdo a seguir foi dividido em quatro subitens, visando a ampliar os conhecimentos do aluno quanto às manifestações patológicas nas estruturas de aço e madeira, bem como nos revestimentos e na pintura.

Patologias em estruturas de aço

Dal'bó e Sartorti (2012) pontuam que as construções em estruturas metálicas apresentam, por um lado, vantagens como a fácil adaptação e a versatilidade às necessidades do projeto e, por outro, uma demanda de elevado nível de detalhamento, que acompanhe os padrões disponíveis no mercado.

Os autores apontam algumas manifestações patológicas, que chamam de patologias, associadas às estruturas metálicas, causadas por falhas de projeto (e/ou detalhamento), nos processos, qualidade dos materiais, falta de manutenção ou sobrecarga.

Durante a montagem dos elementos estruturais podem ocorrer falhas na furação dos parafusos usados para unir os perfis, devido a erros de projeto ou de execução. Essas falhas podem causar desencontros entre os elementos, aumento do número de furos para corrigir, etc. No caso de encontros soldados, podem ocorrer falhas na geometria do encontro ou na solda, tornando a região mais suscetível a problemas estruturais (DAL'BÓ; SARTORTI, 2012). Com isso, tensões não previstas em projeto podem surgir nesses encontros.

A região das ligações (por parafuso ou solda) está sujeita a manifestações patológicas, tendo em vista a descontinuidade estrutural que surge nesse ponto. Alguns problemas podem ser associados às ligações (CASTRO, 1999):

- Alteração (ou execução incorreta) *in loco* do tipo de ligação concebida em projeto.
- Problemas na solda (devidos a material ou execução incorreta).
- Resistência insuficiente do parafuso.
- Cisalhamento na região do parafuso devido à insuficiência na resistência da chapa.
- Corrosão do parafuso ou da região de ligação.

O subdimensionamento dos elementos estruturais ou das ligações pode causar deformações acentuadas, ou mesmo colapso, em parte, ou na estrutura como um todo. Segundo Castro (1999), as falhas estruturais de componentes estruturais em aço são mais comuns em edifícios leves, tais como galpões, coberturas, hangares, etc., principalmente devido à ação do vento que, no Brasil, pode ser o principal agente solicitante. Com isso, os esforços não previstos podem arrancar partes da estrutura, gerar deformações e tensões excessivas, problemas nas ligações, entre outros.

É comum que a estrutura metálica se assente sobre base em concreto armado, ou que a edificação seja mista, com partes em perfis metálicos, e outras partes em concreto (aproveitando a melhor característica de cada sistema estrutural), ou os fechamentos em alvenaria. Essa situação demanda o planejamento da ligação entre diferentes materiais e, em caso de negligência, esses encontros podem ficar incompatíveis ou descentralizados, o que resulta em excentricidade nos esforços, geralmente uma situação não prevista.

Quando o fechamento do edifício é executado em alvenaria de blocos cerâmicos, podem surgir fissuras nas paredes se a estrutura se movimentar mais que o previsto ou se a solidarização entre os dois materiais não absorver as deformações que a estrutura transfere à alvenaria. Um outro problema comum é a infiltração de água nas frestas e ligações, pois as alvenarias não dão conta do maior número de detalhes, que é característico da geometria desse tipo de estrutura, em comparação ao concreto armado.

Segundo Dal'bó e Sartorti (2012), a corrosão do aço, tanto da estrutura como dos parafusos, ou das soldas de ligação, é um outro problema que atinge esse tipo de construção, o que exige cuidados, através de tintas ou outros revestimentos que formam uma barreira contra o ataque ao material. Para Castro (1999), a oxidação faz com que o material perca suas propriedades de resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, etc., pois os produtos resultantes desse processo não possuem as características originais do aço. Isso acontece porque durante a oxidação o metal reage com o oxigênio e volta a um estado não metálico, semelhante ao que é quando encontrado na natureza.

Castro (1999) cita alguns mecanismos associados à corrosão do aço:

- Contato entre metais (ou ligas) com diferentes potenciais de corrosão, como por exemplo o zinco e o aço. Essa situação é observada quando telhas galvanizadas se assentam sobre estruturas de aço, ocasionando a corrosão das primeiras.
- Regiões do aço sujeitas a estados diferentes de tensão possuem maior tendência à oxidação. Essa situação é caracterizada quando há que se considerar esforços que atuam em diferentes planos da peça.
- Regiões do metal no entorno do cordão de solda podem se oxidar mais que o restante da peça.
- Diferenças de temperatura induzem a corrosão do local com temperatura mais elevada.
- Deposição de partículas sólidas na forma de poeira.

Figueiredo (1998) comenta que o incêndio em edifícios é uma preocupação dos projetistas, tendo em vista que o combate ao fogo e o salvamento de pessoas se tornam cada vez mais complicados à medida que os prédios ficam mais altos; isso sem falar que os prejuízos de materiais são também maiores. A fim de garantir a segurança contra

incêndios (e mesmo em situações de incêndio), estudos quanto ao comportamento das estruturas de aço durante o fogo têm se intensificado com o auxílio da modelação computacional. Além disso, tem se exigido dos empreendimentos o projeto de combate a incêndio, conforme disposto na Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017. A referida lei define medidas para prevenir e combater incêndios e desastres em estabelecimentos, edificações e áreas públicas.

Ainda segundo esse autor, o aço sofre redução de suas propriedades mecânicas com o aumento da temperatura, chegando a zero quando se atinge 1200 °C.

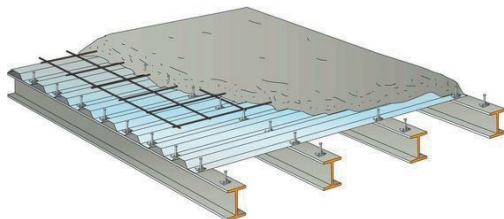
Em estruturas mistas de aço e concreto também são comuns as manifestações patológicas. Em estruturas metálicas com lajes em concreto armado, grandes vãos podem induzir à fissuração das lajes, se estas forem mal dimensionadas.



Exemplificando

No caso de lajes em concreto, estruturadas por chapas de aço dobradas, podem ocorrer **fissuras** devido à armação insuficiente ou à retração do concreto; **descolamento** entre os dois elementos por causa da sobrecarga, que gera tensões de cisalhamento não previstas; ou **corrosão** causada pela infiltração de água que se acumula entre a chapa e o concreto (CASTRO, 1999). A Figura 3.6 diz respeito a uma laje steel deck que é estruturada em chapa de aço e concreto no qual são inseridas barras de aço. A laje se apoia sobre vigas em perfis metálicos.

Figura 3.6 | Laje steel deck



Fonte: <<https://bit.ly/2Lh8sqc>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

Essa situação deve ser levada em conta, na medida em que o aço e o concreto possuem módulos de deformação diferentes. Uma deformação excessiva do aço poderia ultrapassar o valor admissível para o concreto e gerar-lhe fissuras. Por isso, o projeto de sistemas mistos deve considerar as particularidades dos materiais envolvidos.

Um outro sistema misto é o composto pelo concreto em cuja massa está mergulhada a armação em aço, conhecido como concreto armado. Nele, diversas manifestações patológicas podem ser apontadas, tais como as fissuras, que expõem o aço à corrosão e a carbonatação, que despassa a armadura, tornando-a mais vulnerável.

Patologias em estruturas de madeira

Brito (2014) apresenta conclusões de outros trabalhos (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989; CRUZ, 2001; CALIL et al., 2006), defensores do fato de que a madeira não se deteriora por si mesma, nem pela ação do tempo, já que há inúmeros exemplos de construções nesse material com centenas e milhares de anos.

O autor concorda que os problemas que surgem na madeira se devem à ação de agentes biológicos, físicos, químicos e mecânicos em condições específicas. No que diz respeito aos aspectos mecânicos, as causas podem estar relacionadas às falhas de projeto, execução ou manutenção.

Para a ação dos agentes bióticos, são necessárias condições propícias, tais como umidade, temperatura, oxigênio, além da madeira como fonte de alimento. Nessas circunstâncias, a madeira pode sofrer perda de resistência e amolecimento. Os fungos, por exemplo, segregam enzimas que degradam a celulose. A Figura 3.7 mostra uma peça de madeira contaminada por fungos, com manchas de mofo.

Figura 3.7 | Mofo e fungo em madeira úmida



Fonte: iStock.

Os insetos estão entre os principais deterioradores da madeira, uma vez que escavam túneis e orifícios nela, causando-lhe enormes prejuízos. Além dos furos, outro indicativo visual do ataque por insetos é a presença de pó e excrementos na superfície da peça (BRITO, 2014).

Os causadores abióticos dos problemas em estruturas podem ser de origem física, química, atmosférica ou meteorológica, além dos incêndios (BRITO, 2014).

Os agentes físicos costumam se relacionar a uma sobrecarga imposta às peças, que geram deformações permanentes nas fibras da madeira. Essa sobrecarga pode ter origem estrutural (uso inadequado da estrutura, falta de manutenção, concepção inadequada, problemas nas ligações, etc.), mecânica (desgaste em pontes pela passagem dos veículos, recalques, acúmulo de neve), ou pode ser causada por animais e por vandalismo.

O autor explica que a degradação química ocorre, por exemplo, devido ao contato com ácidos, bases ou com a corrosão dos elementos metálicos (ligações). Quando ocorre a corrosão dos elementos de ligação da madeira, esta pode ser atacada pelos produtos ácidos dessa reação, o que também favorece a proliferação de fungos apodrecedores.

Brito (2014) ressalta ainda a ação do intemperismo, luz solar e agentes meteorológicos, como desencadeadores de danos às peças de madeira, tais como, empenamento, decomposição química, esforços não considerados no cálculo, etc.

Por fim, o texto trata dos danos causados por incêndios, que constituem o processo de degradação mais rápido do material. Em uma situação de incêndio, a combustão da superfície das peças forma um carvão que protege seu interior, retardando o avanço da combustão, contudo, caso a temperatura continue a subir, ocorre o colapso da estrutura.



Assimile

Considerando o trabalho de Brito (2014), as principais causas de manifestações patológicas na madeira podem ser sistematizadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 | Agentes de deterioração da madeira

Agentes bióticos	Bactérias
	Fungos
	Insetos
	Perfuradores marinhos

Agentes abióticos

Agentes físicos	Origem estrutural
	Danos mecânicos
	Animais
	Vandalismo
Agentes químicos	Corrosão em ligações Efeitos da corrosão na madeira.
Agentes atmosféricos ou meteorológicos	Luz ultravioleta
	Intemperismo
	Danos por inchamento e retração da madeira.
	Vento
Incêndio	

Fonte: adaptado de Brito (2014).

Principais problemas em pinturas

Sartor (2017) apresenta algumas das principais manifestações patológicas em sistemas de pintura em edificações:

- **Eflorescência:** são manchas brancas que surgem pelo fato de o reboco ainda estar úmido no momento da pintura. Com isso, materiais alcalinos se depositam sobre a superfície, causando as marcas.
- **Saponificação:** constitui um estágio seguinte à eflorescência, marcado pelo aspecto pegajoso na tinta.
- **Descascamento:** caracteriza-se pelo descolamento da tinta e ocorre quando essa é aplicada sobre superfície empoeirada ou com parte de pintura antiga.
- **Bolhas:** são defeitos que surgem quando a tinta é aplicada sobre superfície empoeirada, ou quando há várias camadas de pintura antiga e não se faz o tratamento adequado para isolamento.
- **Enrugamento:** ocorre quando se aplica uma camada grossa de tinta ou se aplica uma camada sobre outra não completamente seca.
- **Crateras:** causadas pela diluição inadequada da tinta ou presença de óleos na superfície.

- Bolor: são manchas escuras causadas pela presença de umidade na superfície.

A autora ainda cita defeitos na pintura causados pela má qualidade do material ou inadequada execução, tais como, diferenças de brilho e pigmento, cobertura insuficiente, escorrimento e marcas de pincel ou rolo.

A Figura 3.8 mostra exemplo de parede cuja pintura está manchada por bolor; já na Figura 3.9 vê-se o processo de descascamento da tinta da parede.

Figura 3.8 | Mofo em pintura



Fonte: iStock. Disponível em: <<https://bit.ly/2Nc3KvB>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

O bolor pode ser resultado da umidade ascendente desde a fundação, quando esta não é corretamente impermeabilizada.

Figura 3.9 | Descascamento da pintura



Fonte: iStock. Disponível em: <<https://bit.ly/2Mq0uQY>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

Desgaste dos acabamentos

Com relação aos acabamentos, a seguir, explicam-se alguns problemas que acometem os revestimentos cerâmicos, tanto em ambientes internos, como nas fachadas.

Um defeito comum em materiais assentados em pisos sujeitos à molhagem é o empoçamento, causado pelo caimento errado das placas sobre o substrato, ou pelo próprio contrapiso, caso esteja desnivelado. Outro problema nessa situação é a infiltração através do rejunte, se este for mal executado (SARTOR, 2017). No que diz respeito à inclinação dos sistemas de pisos, há alguns valores a serem observados. A NBR 13753 (ABNT, 2015) indica os seguintes caimentos para cada ambiente:

- Ambientes de estar: 0,0 a 0,5%.
- Banheiros e cozinhas: 0,5 a 1,5%.
- Box de chuveiro: 1,5 a 2,5%.
- Pisos externos: mínimo 1,0%.
- Terraços e lajes de coberturas: mínimo 1,5%.

Sartor (2017) explica que o descolamento das placas é causado por execução errada do serviço, sem o espaçamento correto entre as juntas, substrato empoeirado, que gera má aderência deste com a placa.

A ausência de juntas de dilatação, ou se estas não estiverem conforme o recomendado pelo fabricante do revestimento, dilatação e movimentações na estrutura causam **fissuras** nas placas cerâmicas. Caso as tensões sejam pequenas, porém maiores que o limite de resistência do esmalte, ocorrem **fissuras** capilares apenas na superfície das placas. A Figura 3.10 apresenta os dois tipos de fissuras relatadas.

Figura 3.10 | Fissuras em revestimento cerâmico

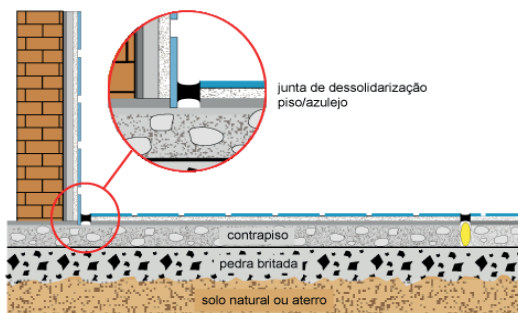


Fonte: iStock.

Segundo a norma NBR 13753 (ABNT, 2015), no assentamento de pisos cerâmicos devem ser previstas também as juntas de dessolidarização sempre que, internamente, a área total seja superior

a 32 m² e, externamente, superior a 20 m². Além disso, sempre que houver mudança de material; nos encontros com pilares, etc. A junta deve ser preenchida com material selante flexível. Na Figura 3.11, é possível observar o detalhe construtivo da junta de dessolidarização.

Figura 3.11 | Junta de dessolidarização



Fonte: Revista - Técnica e Arte, n.1, ano 1.

Fonte: <<https://bit.ly/2o25KvG>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

Chaves (2009) cita ainda a eflorescência em cerâmicas que são manchas esbranquiçadas na superfície das mesmas ocasionadas pelo transporte de sais solúveis a partir da alvenaria ou do reboco.



Refleta

Você percebe a importância do conhecimento referente aos problemas que podem acometer os diversos sistemas de composição de uma edificação?

Economicamente, qual o saldo da negligência com relação à qualidade dos materiais e serviços empregados na Construção Civil? E o risco para as vidas dos usuários?



Pesquise mais

Pesquise mais sobre as manifestações patológicas em estruturas metálicas e mistas com concreto, madeira, sistemas de pintura e revestimentos das edificações. Seguem algumas recomendações de leitura que poderão auxiliá-lo:

CHAVES, Ana Margarida Vaz Alves. **Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado)

- Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2MugGAL>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, [s.l.], v. 63, n. 368, p.432-445, dez. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2MKpQZe>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SALES, Urânia Costa; SOUZA, Henor Artur de. Mapeamento de problemas na construção industrializada em aço. **Rem, Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 4, p.1-8, dez. 2001. Disponível em: <<https://bit.ly/2Naamef>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SERRA, Armindo Henrique Garrido Ferreira. **Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2BCXcVP>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

Sem medo de errar

Retomaremos agora as questões levantadas no início dessa seção, e para tanto lembre-se: você é o consultor técnico de uma empresa e, nesse momento, participa de uma reunião com o cliente que deseja consultorias durante a construção de sua casa. A residência possuirá sistemas e acabamentos de elevado padrão e se situará em um condomínio de luxo.

Algumas das características do empreendimento podem ser resumidas a seguir: estrutura em perfis de aço aparente, algumas vigas em madeira e o restante em concreto; vedações em alvenaria pintada; banheiro e demais áreas molhadas, bem como os pisos da residência, em porcelanato; e fachada, em textura.

Considerando a diversidade de sistemas e materiais presentes nesse empreendimento, você aproveitou a oportunidade para sistematizar as informações acerca das principais manifestações patológicas às quais esses elementos podem estar sujeitos.

Em estruturas metálicas, algumas das manifestações patológicas podem ser associadas às falhas de projeto (e/ou detalhamento),

nos processos, qualidade dos materiais, falta de manutenção ou sobrecarga. Podem ocorrer falhas na furação dos parafusos, na geometria do encontro ou na solda, tornando a região de ligação mais suscetível a problemas estruturais. Associadas às ligações, podem ser citadas, ainda, a resistência insuficiente do parafuso e a sua corrosão ou da região de ligação.

A corrosão das peças estruturais como um todo é outro problema que demanda atenção dos projetistas, executores e usuários, pois esta causa diminuição das propriedades mecânicas do material.

O subdimensionamento dos elementos estruturais ou das ligações pode causar deformações acentuadas, ou mesmo colapso, em parte, ou na estrutura como um todo. Esse tipo de problema é comumente associado à ação do vento em galpões, coberturas, hangares, etc.

Quando é necessária a ligação do aço com diferentes materiais (concreto, alvenaria, etc.) esses encontros podem ficar incompatíveis ou descentralizados.

Importante destacar também o grande poder destrutivo do fogo contra as edificações, nas situações de incêndio, pois o aço sofre redução de suas propriedades mecânicas com o aumento da temperatura.

No concreto armado, apontam-se as seguintes manifestações patológicas: fissuras, que expõem o aço à corrosão e a carbonatação, que despassiva a armadura, tornando-a mais vulnerável.

No que diz respeito à madeira, seus problemas se devem à ação de agentes biológicos, físicos, químicos e mecânicos, em condições específicas. Os aspectos mecânicos se relacionam às falhas de projeto, execução ou manutenção.

Fungos, cupins, bactérias, cracas marinhas e outros agentes bióticos atuam em condições propícias de umidade, temperatura e oxigênio, gerando perda de resistência e amolecimento da madeira.

Além disso, as estruturas de madeira podem sofrer sobrecarga, devido ao uso inadequado, à falta de manutenção, à concepção inadequada, aos problemas nas ligações, etc.

Intemperismo, luz solar e agentes meteorológicos podem desencadear danos às peças de madeira, tais como, empenamento, decomposição química e esforços não considerados no cálculo. Por fim, os incêndios podem degradar rapidamente a madeira.

No que diz respeito aos sistemas de acabamento das superfícies, eles podem ser sistematizados em problemas que acontecem em pinturas e em revestimentos cerâmicos.

As tintas sofrem com eflorescência, saponificação, descascamento, formação de bolhas, enrugamento, crateras e bolor, principalmente. Isso sem contar os defeitos gerados pela má qualidade dos materiais e serviços.

Os acabamentos cerâmicos sujeitos à molhagem sofrem com o empoçamento da água que pode, inclusive, infiltrar através do rejunte. Outro problema comum é o descolamento das placas, causado pela má qualidade de serviços e materiais, falta de espaçamento entre as juntas, substrato empoeirado, entre outros.

Fissuras nas placas de cerâmica surgem quando as juntas de dilatação são inexistentes ou ineficientes, se houver dilatação e movimentações na estrutura. Já a eflorescência em cerâmica é ocasionada pelo transporte de sais solúveis a partir da alvenaria ou do reboco.

Avançando na prática

Problemas na pintura de uma residência

Descrição da situação-problema

Você trabalha em uma construtora, como gestor de obras e reformas. A empresa foi acionada pelo proprietário de uma casa que solicitou um orçamento para reparo da pintura interna. Você foi designado para ir ao local, onde constatou que as paredes internas, de um modo geral, estão com manchas escuras próximas à base, além de úmidas nessa região. O proprietário lhe questionou o que poderia ser aquele problema e as possíveis causas.

Resolução da situação-problema

Você explicou que as manchas pretas são indicativos de que as paredes estão contaminadas com bolor, problema que se manifesta comumente em paredes com presença de umidade ocasionada por infiltração desde a fundação. Isso acontece quando não há um sistema correto de impermeabilização que evite a passagem da água do solo, através dos elementos de fundação, até a base das paredes.

Faça valer a pena

1. Com relação às manifestações patológicas em estruturas de aço e mistas com concreto, são feitas as seguintes afirmações:

- (07) Sempre que uma estrutura de aço está em contato com outra de zinco (por exemplo, telhado), a primeira tende a se oxidar com mais facilidade que a de zinco.
- (10) Algumas das manifestações patológicas do concreto armado causam impacto negativo no aço da estrutura, expondo-o à corrosão. Dentre esses problemas, podem ser destacados a fissuração, carbonatação e o ataque de cloretos.
- (05) A região de contato da estrutura metálica com outros materiais, tais como alvenaria e concreto, requer atenção quanto ao detalhamento em projeto do esquema de solidarização.
- (15) Apesar de a região das ligações (por parafuso ou solda) ser um ponto que garante a continuidade na estrutura, o subdimensionamento delas pode causar graves manifestações patológicas.

Considerando apenas as afirmações verdadeiras e seus valores correspondentes, some-os e marque a alternativa que contém o resultado correto dessa operação.

- a) 25.
- b) 12.
- c) 30.
- d) 15.
- e) 20.

2. Sobre os problemas relacionados às estruturas de madeira, seguem algumas considerações:

- I) A corrosão dos elementos de ligação entre peças de madeira pode resultar em contaminação química e posterior degradação da estrutura.
- II) As estruturas de madeira sofrem, principalmente, com a ação do tempo e do ataque de agentes bióticos.
- III) Em uma situação de incêndio, a combustão da madeira forma uma camada superficial de carvão que lhe prolonga indefinidamente a vida útil.
- IV) Em um telhado estruturado em madeira, cujas telhas são de material leve (chapas galvanizadas, por exemplo), a ação do vento pode resultar em uma sobrecarga não prevista para essa estrutura, caso não se considerem os efeitos do vento no dimensionamento.

Com base nas afirmações anteriores, marque a alternativa correta.

- a) Estão corretas apenas as afirmativas I e II.
- b) Estão corretas apenas as afirmativas I e IV.
- c) Estão corretas apenas as afirmativas II e III.
- d) Estão corretas apenas as afirmativas II e IV.
- e) Estão corretas apenas as afirmativas III e IV.

3. Considerando os problemas relacionados aos revestimentos cerâmicos e às pinturas, preencha as lacunas das afirmações a seguir.

A presença de umidade no reboco causa manchas _____ na pintura, as quais tendem a evoluir para um estágio em que a tinta da parede se torna _____.

A _____ do alicerce de uma casa é uma etapa imprescindível a fim de se evitar que as paredes apresentem um aspecto mofado na base.

As _____ entre as cerâmicas devem ser preenchidas com argamassa específica e sua _____ é recomendada pelo fabricante desses revestimentos.

Marque a alternativa que corretamente preenche as lacunas anteriores.

- a) Escuras – pegajosa; impermeabilização; argamassas – profundidade.
- b) Esbranquiçadas – escura; impermeabilização; juntas – cor.
- c) Escuras – pegajosa; impermeabilização; juntas – cor.
- d) Esverdeadas – escura; impermeabilização; irregularidades – espessura.
- e) Esbranquiçadas – pegajosa; impermeabilização; juntas – espessura.

Seção 3.3

Manutenção e recuperação de estruturas

Diálogo aberto

Olá, aluno,

Lembre-se de que, na seção anterior, abordamos as manifestações patológicas em alguns sistemas relativos às edificações. Especificamente, tratamos dos problemas que podem acometer as estruturas de aço e de madeira, as pinturas e acabamentos.

Nessa nova seção, serão apresentadas algumas técnicas e materiais para recuperação e reparo de estruturas de concreto, madeira e aço. Serão discutidas também as responsabilidades dos envolvidos nas obras dessa natureza a partir dos preceitos da NBR 16280 (ABNT, 2014) bem como da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Lembre-se de que você trabalha em uma importante empresa de construção civil, com a qual um novo cliente entrou em contato, solicitando uma reunião para início de uma reforma em um edifício residencial. Nesse encontro, os demais moradores também participarão a fim de discutir o início da reforma das áreas comuns e fachadas da edificação. Você foi convidado a participar como consultor técnico.

Chegando lá, você soube que a edificação possui 10 anos, durante os quais, nunca passou por qualquer reforma. Ela apresenta problemas típicos das construções dessa idade, que são: desgaste na pintura, pisos e revestimentos com início de desgaste e soltos, etc. Porém, o problema que mais preocupa os moradores é o estado de um dos pilares da guarita o qual, conforme pode ser observado na Figura 3.12, exibe deslocamento do concreto com exposição do aço.

Figura 3.12 | Pilar de concreto da guarita do prédio dos clientes



Fonte: iStock.

Na reunião estará presente também um representante da construtora que fará a reforma, o qual propõe que você explique a todos os presentes as diferenças entre recuperação e reforço, para que os moradores possam compreender melhor esse tipo de serviço. Adicionalmente, pede que você indique a situação do pilar e qual metodologia deve ser empregada no tratamento deste.

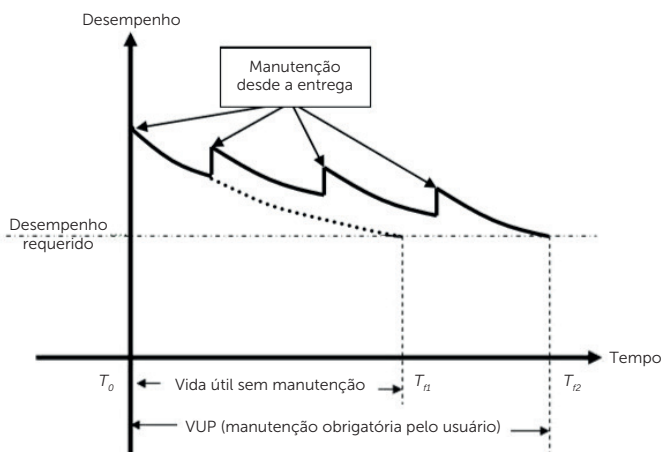
Não pode faltar

As edificações estão sujeitas à ação do tempo e, por isso, precisam ser inspecionadas periodicamente, a fim de que os problemas sejam identificados precocemente e, em tempo, corrigidos. Relacionam-se a essas intervenções, a manutenção, o reforço e a recuperação das estruturas, sendo importante saber a diferença entre cada uma dessas situações.

Diferenças entre manutenção, reforço e recuperação das estruturas

Manutenção é a ação no sentido de prolongar a vida útil da edificação, de modo a atuar antes do surgimento dos problemas. A Figura 3.13 esquematiza a importância das manutenções periódicas como forma de se garantir a durabilidade das construções.

Figura 3.13 | Desempenho da edificação ao longo do tempo



Fonte: ABNT (2013).

Observa-se que a vida útil sem manutenção tende a ser significativamente menor que com as intervenções. A cada manutenção, eleva-se o desempenho requerido para o sistema em questão.

Já os reforços e a recuperação são situações que se processam após a ocorrência e verificação de um determinado problema.

O reforço visa aumentar a capacidade resistente do elemento em questão, já na recuperação busca-se restituir a integridade física da peça. A recuperação está relacionada à substituição de algo que foi perdido.



Refleta

Quando alguém lhe perguntar sobre a importância da contratação de profissional especializado, mesmo que para uma pequena reforma, você será capaz de explicar o porquê ao seu potencial cliente?

Técnicas, procedimentos e normas para manutenção: reforço e recuperação de estruturas

Reis (2001) explica que, em situações graves, além do projeto de reforço ou recuperação, deverão ser realizados testes e ensaios no sistema existente para verificação da possibilidade de sua restituição. Esse procedimento serve também para balizar a escolha da técnica a ser empregada.

Nos casos em que a intervenção for necessária, a autora acrescenta, também, a importância de se desenvolver um panorama histórico da construção (quando existir), baseado em um levantamento dos dados de projeto e no conhecimento das diferenças entre as informações presentes neste projeto e como, de fato, a obra foi executada. Além disso, o profissional deve garantir a própria segurança, avaliando se há condições para realizar as pesquisas necessárias no interior da edificação.



Assimile

Sempre que se fazem necessárias mudanças no projeto original para a execução, isso deve ser documentado em um novo projeto, chamado *As Built* (do inglês, Como Construído). Ele se caracteriza por explicitar a forma como, de fato, a edificação foi construída, indicando, em um novo layout, as adequações que tiveram que ser realizadas, como por exemplo, a alteração do caminhamento de alguma tubulação da instalação hidráulica.

Estruturas de concreto

De acordo com Reis (2001), o processo anterior ao início dos procedimentos de recuperação e reforço pode ser dividido em duas etapas: na primeira, faz-se um levantamento geral dos problemas, com preenchimento de fichas, indicando locais e tipos de manifestações patológicas, e na segunda, detalham-se os problemas, realizam-se ensaios e inspeções mais aprofundadas de cada situação para, por exemplo, verificar a extensão dos danos causados às barras de aço em uma peça de concreto armado que tenha sofrido carbonatação.

A autora cita os seguintes equipamentos e ferramentas frequentemente empregados numa inspeção estrutural: régua e trena, fio de prumo, nível d'água, escova de cerdas metálicas, lupa, lanterna, máquina fotográfica, filmadora, fissurômetro, extensômetro mecânico ou elétrico, martelo de geólogo, furadeira elétrica de impacto, pacômetro (usado para localizar as barras de aço no concreto), esclerômetro (usado para determinar a dureza do concreto de forma não destrutiva), escada e equipamento individual de proteção. Ela cita também as seguintes técnicas como as mais frequentes no diagnóstico: levantamento da espessura carbonatada, proporção de cloretos e sulfatos, extração de amostras (por meio

de testemunhos) de concreto e armadura, determinação da massa específica, permeabilidade e resistência mecânica do concreto, medição do potencial elétrico do concreto, intensidade de corrente de corrosão, a radiografia-x, gamagrafia e execução de prova de carga. São preferíveis as técnicas não destrutivas, sempre que possível.

No que diz respeito à investigação de patologias em estruturas de fundação, tem-se o Ensaio de Integridade com Baixa Deformação, também conhecido como Ensaio PIT, o qual avalia a integridade da estrutura de concreto da estaca por meio de um equipamento medidor da propagação de ondas produzidas por um impacto intencionalmente aplicado à estaca. Um acelerômetro capta e um computador interpreta a onda refletida que apresenta comportamento diferente, caso haja alguma descontinuidade na peça de concreto (VALINHO et al., 2006).

Os Ensaios Cross-Hole e Gama-Gama demandam a instalação de um tubo de acesso na estaca por onde o aparato de medição é introduzido. A partir daí, pode-se obter as características de integridade da peça de fundação com base na leitura e interpretação de dados (TRISTÃO et al., 2013).

Reis (2001) reforça que, ao se iniciar um trabalho de reforço ou recuperação em estruturas de concreto, deve-se garantir a correta preparação da superfície para receber o novo material. Segundo ela, a base que receberá o novo material precisa possuir resistência adequada e ser sólida; além disso, deve-se atentar também quanto ao tratamento da superfície da junta entre os dois materiais, cuidado que visa garantir a aderência entre o sistema de reparação e aquele que passará pelo processo de reparo. Faz parte da preparação da superfície a limpeza do concreto (lavagem com jato de água e escovação, uso de ácidos ou bases, jatos de vapor ou areia, por exemplo).

Reis (2001) descreve alguns materiais comumente empregados para a recuperação de estruturas de concreto, como podemos ver a seguir.

Na recuperação superficial ou de pequenas cavidades e arestas, em peças de concreto, emprega-se a **pasta de cimento injetável**, que deve ter fator a/c baixo e ser acrescida de aditivos plastificantes. Serve também para ancoragem de barras e para a aderência entre concreto novo e velho. Argamassas de base mineral (cimento), base resina epóxi, poliéster, furânica e fenólica também podem ser empregadas para esse fim. A Figura 3.14 mostra um sistema de injeção de pasta para tratamento de trinca.

Figura 3.14 | Sistema para injeção de pasta de cimento para tratamento de trinca em concreto



Fonte: <<https://bit.ly/2w4slqk>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

Os concretos e argamassas modificados com polímeros (epóxi ou látex) substituem parte, ou a totalidade, da água de emassamento e, com isso, alcançam elevadas resistências (até 140 MPa). São mais adequados a situações emergenciais em minas, túneis, pisos industriais e estradas, devido ao elevado custo e retração.

Alguns materiais à base de resinas fluidas são injetados por meio de equipamentos a ar comprimido para recuperação de concretos fissurados, cujas aberturas sejam inferiores a 0,1 mm.

Os grautes são comumente empregados em reforços estruturais e injeção de fissuras, entre outras especificações, nos casos em que a solicitação mecânica e/ou agressão química são elevadas. Apresentam-se em dois tipos:

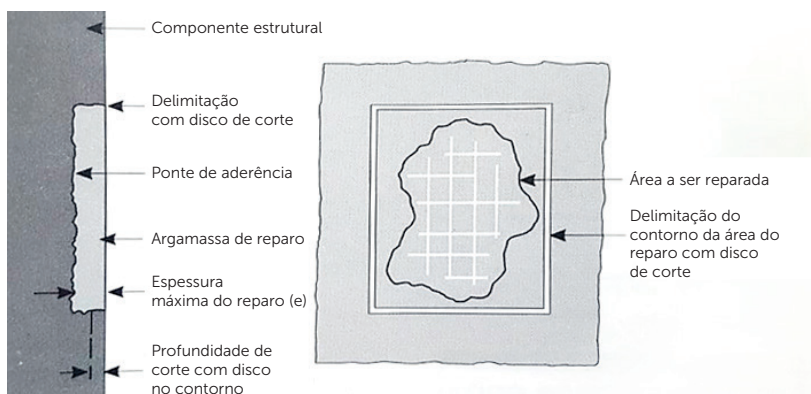
- a) Com base mineral: composto de cimento, agregados miúdos, quartzos, aditivo superplastificantes e expansor.
- b) Base epoxídica: composto de epóxi-poliamida.

Mastiques e selantes servem para vedar fissuras, contudo, conforme explica a autora, no caso de fissuras cujas causas não sejam eliminadas, não se busca estabelecer um monolitismo na seção, e sim, apenas impedir que a abertura seja uma entrada para a degradação do concreto e do aço. Nesse caso, devem ser empregados na trinca materiais selantes elásticos, não resistentes, como é o caso das resinas acrílicas ou poliuretânicas. Se o fator gerador da trinca for eliminado, objetiva-se restabelecer a unidade da peça, por meio de nata de cimento ou resina epoxídica.

Alguns reparos, por serem mais profundos, podem necessitar da montagem de formas, uma vez que a recomposição da seção se dá por meio de argamassa seca, com ou sem adição (usualmente um adesivo PVA ou acrílico), graute de base mineral, concreto, etc.

Nos casos em que o concreto e o aço sofreram corrosão, deve-se retirar todo o material danificado, tanto na armadura, como na pasta, a superfície deve ser limpa e então preenchida com concreto, argamassa ou graute. Adicionalmente, pode-se empregar pintura epoxídica com zinco na armadura da região afetada, depois de limpa, visto que o zinco prolonga a vida útil do aço frente à oxidação. A Figura 3.15 apresenta um resumo da recuperação superficial em estruturas de concreto.

Figura 3.15 | Recuperação superficial



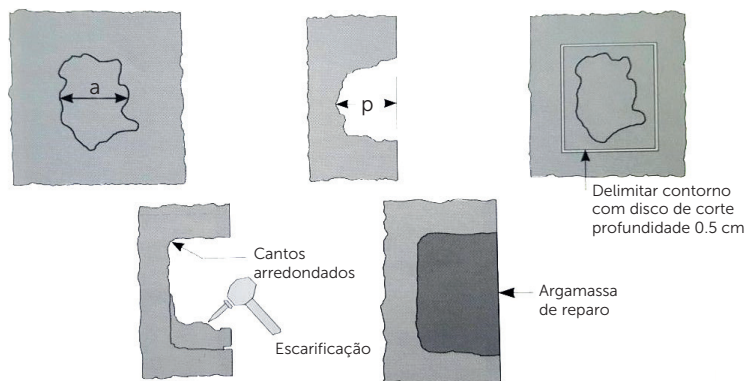
Fonte: Helene (1992, p. 106).

A partir da Figura 3.15 pode-se estabelecer o seguinte passo-a-passo para esse tipo de intervenção estrutural:

- Delimitação da área.
- Saturação do substrato, sem empoçamento.
- Aplicação do material de reparo. Exemplo: pasta de cimento com adesivo polimérico de traço 3:1:1.
- Cura úmida ou química (a cura química forma uma barreira acrílica contra perda excessiva de água).

Já a Figura 3.16 mostra a sequência para execução de um reparo mais profundo em estruturas de concreto.

Figura 3.16 | Recuperação profunda



Fonte: Helene (1992, p. 113).

A sequência da Figura 3.16 pode ser sistematizada em:

- Delimitação da área.
- Saturação do substrato, sem empoçamento.
- Escarificação das laterais.
- Aplicação do material de reparo. Exemplo: pasta de cimento com adesivo polimérico com fibra de vidro, microconcreto, etc.
- Cura úmida ou química (a cura química forma uma barreira acrílica contra perda excessiva de água).

No que diz respeito ao reforço das estruturas de concreto, serão apresentados abaixo, de acordo com Reis (2001), os materiais e sistemas que podem ser considerados.

Uma peça que necessite de reforço pode ter sua seção aumentada com concreto, inclusive com a adição de uma camada de aço na região tracionada. O concreto a ser empregado pode ser o convencional, o de alto desempenho, o micro concreto ou o com adições de sílica ativa ou de fibras de aço), que melhoram suas propriedades. O aumento da seção com uma camada de novo concreto é também conhecido como encamisamento. A garantia do sucesso desse reforço se dá através do cuidado na ligação entre o material antigo e o novo de forma a garantir seu trabalho em conjunto diante das solicitações que lhe serão impostas. A Figura 3.17 apresenta a etapa do encamisamento de um pilar na qual se fez necessária a execução de armadura para complementar a seção resistente. Nota-se também o escoramento da viga adjacente a fim de aliviar o pilar em processo de reforço.

Figura 3.17 | Reforço de pilar por encamisamento



Fonte: <<https://bit.ly/2w77U1l>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

Um outro tipo de reforço se dá por meio da inserção de um **perfil metálico** chumbado à peça antiga, o qual pode absorver parte do carregamento ou sua totalidade. A solidarização das duas peças acontece através de buchas expansivas e de resinas injetáveis, já que a perfeita ligação deve ser garantida. Essa solução praticamente não interfere na geometria da seção de concreto original.

Pode-se empregar também **chapas metálicas** onde se deseja reforçar. Elas são coladas externamente na seção de concreto, por meio de adesivo e parafusos auto-fixantes, configurando-se em uma solução de baixo custo e relativamente simples de ser executada, mas que do ponto de vista arquitetônico altera visualmente a seção de concreto na região do reforço. As chapas atuam aumentando a resistência da peça ao momento fletor, força cortante e rigidez. Novamente, cuidado especial deve ser dado à junção dos dois elementos: concreto e aço.

Soluções mais modernas envolvem o uso de **polímeros** (resinas poliméricas) reforçados com **fibras de carbono, vidro ou aramida**. Esses materiais compósitos podem ser empregados na forma de barras, cabos de protensão, lâminas, mantas ou folhas flexíveis. Sua principal vantagem é que não se deterioram como aço e concreto diante da corrosão.



Alguns materiais são chamados compósitos quando constituídos por mais de dois componentes que, juntos, apresentam características mecânicas distintas dos elementos individualmente. Apresentam-se usualmente na forma de uma matriz preenchida por fibras ou partículas com a função de reforço ou ainda como lâminas e painéis. São exemplos de materiais compósitos, na natureza, os ossos, a madeira e as conchas. Quanto aos artificiais, podem ser citados:

- Concreto: a matriz é a pasta de cimento e as partículas são os agregados. O concreto é reforçado com fibras dispersas na matriz também.
- Tijolo adobe: matriz de terra seca reforçada com fibras naturais de palha.
- Fibras de vidro: matriz de resinas, silicones, fenóis e finos fios de vidro.
- Fibra de carbono.

Em obras de grande porte, tais como pontes, uma opção de reforço é a protensão exterior por meio de aços inoxidáveis de alta resistência. Chama-se exterior porque a cordoalha fica situada fora da seção da peça de concreto, conforme pode ser observado na Figura 3.18.

Figura 3.18 | Protensão externa de elemento estrutural



Fonte: <<http://freyssinet.co.uk/what-is-post-tensioning/>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

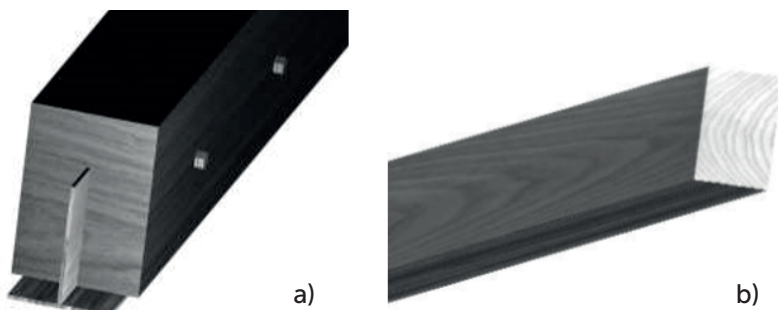


As técnicas anteriores de reforço demandam o descarregamento da peça, ou alívio, para que o novo conjunto trabalhe adequadamente e solidariamente. Já a protensão não demanda isso, pois pode ser realizada com os elementos na forma em que estão, sem a necessidade de descarregamento.

Estruturas de Madeira

Souza, Araújo e França (2016) explicam que, caso a capacidade resistente de uma estrutura de madeira não esteja satisfatória, uma técnica de reforço consiste na **adição** de outra peça ligada a ela. O material do novo elemento tanto pode ser de madeira, como de um material distinto, tal como o aço. Em seu trabalho, eles avaliaram, por meio de modelagem numérica, o comportamento de uma seção de madeira reforçada com aço colado com adesivo, em dois formatos distintos: a) perfil T e b) chapa colada na base, conforme mostra a Figura 3.19.

Figura 3.19 | Duas propostas para reforço de peças de madeira com chapas de aço: a) perfil T e b) chapa colada na base



Fonte: Souza, Araújo e França (2016, p. 57).

Os resultados mostraram redução da flecha na viga sujeita ao carregamento aplicado, bem como melhoria na sua resistência aos esforços. As duas propostas atenderam às exigências das normas pertinentes. Os resultados na peça com o perfil T se mostraram ligeiramente superiores aos daquela com a chapa colada.

Fiorelli, Dias e Ino (2002) apresentam diferentes métodos para reparar esse tipo de estrutura: tradicional, mecânico e adesivo.

O **método tradicional** é o mais comum, segundo os autores, e consiste na substituição da estrutura existente por novas peças, cujas dimensões são semelhantes às da peça original, de modo a manterem-se as características originais do projeto. Contudo sua execução demanda maior cuidado e habilidade e o comportamento estrutural pode ser limitado. Os métodos **mecânico** e **adesivo** resumem-se na adição de peças, de madeira, concreto, aço, etc., por meio de conectores metálicos e resinas epóxis, respectivamente. As resinas são usualmente empregadas em combinação com peças metálicas. Nos reparos com introdução de **chapa metálica**, observa-se que pode haver sua corrosão e posterior ataque à madeira.

Os autores explicam também o processo de **encamisamento** de peças de madeira com concreto, para aumentar sua resistência à compressão, nos casos de exposição a intemperismo.

No preenchimento de fendas e outros espaços vazios nos elementos de madeira, esses autores citam o uso do **epóxi** aplicado diretamente sobre o local, a fim de aumentar a resistência mecânica e reduzir o aparecimento de futuras aberturas. Assim como acontece nos reparos de elementos estruturais em concreto, na madeira também é crescente o emprego de materiais mais modernos, tais como **fibras de vidro e carbono**.

Estruturas Metálicas

Castro (1999) apresenta algumas soluções aos problemas patológicos relacionados às estruturas metálicas.

Em estruturas afetadas pela corrosão, o autor ressalta que, caso o desgaste seja apenas superficial, é possível limpar a peça, através de jato de areia, e aplicar uma **pintura protetiva**. Nas situações nas quais a peça foi comprometida, procede-se ao seu reforço ou sua substituição. O reforço pode se dar através da **soldagem de chapa de aço**, garantindo-se a continuidade física da peça e suas propriedades geométricas. Contudo, caso o reforço não se mostre uma solução segura, deverá ser feita a sua **substituição**.

As tintas protetoras apresentam diferentes denominações. Os primers constituem a primeira camada a ser aplicada diretamente sobre o aço; eles contêm pigmentos anticorrosivos e corrigem pequenas imperfeições da superfície. As tintas intermediárias

apresentam maior espessura e aumentam o nível de proteção por adicionarem camadas ao primer. A tinta de acabamento é a que fica em contato com o meio agressivo.

Para ambientes pouco agressivos, o autor cita as tintas à base de resinas alquídicas. Aquelas à base de resinas epóxi são recomendadas quando se deseja uma melhor performance. Por fim, as à base de resinas de poliuretano apresentam elevada resistência a agentes químicos.

São comuns nas estruturas metálicas, também, as manifestações patológicas associadas às ligações entre os elementos, o que ocorre em função de erros, corrosão, fabricação, soldas e ligações e montagem inadequada. A principal maneira de se evitarem esses problemas é a inspeção detalhada.

Nos encontros com a alvenaria, é comum que haja infiltração de água e consequente ataque das peças metálicas. Nessas circunstâncias, devem ser eliminadas as causas de passagem de água, as frestas, por meio de mastiques, materiais isolantes, impermeáveis e flexíveis.



Pesquise mais

Leia mais sobre as manifestações patológicas nos capítulos 2 e 3 do seguinte texto:

CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 1999. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. Disponível em: <<https://bit.ly/2Blba8y>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

Responsabilidades

As responsabilidades pela garantia da vida útil da estrutura podem ser descritas a partir do disposto na norma NBR 15575 - *Edificações Habitacionais - Desempenho* (ABNT, 2013).

Aos fornecedores cabe entregar os resultados do desempenho dos componentes que comercializam. Os projetistas são responsáveis por especificar os sistemas e a vida útil de cada um, com base nas exigências mínimas.

Os construtores devem providenciar os estudos técnicos requeridos e apresentar os condicionantes que possam implicar

em riscos. Devem também elaborar o manual de uso, operação e manutenção da edificação e entregá-lo ao proprietário da unidade e o manual das áreas comuns deverá ser entregue ao condomínio.

Por fim, o usuário deve proceder às manutenções periódicas indicadas no manual.

Reis (2001) ressalta a importância da avaliação técnica, realizada por profissional habilitado e capaz de decidir quanto à possibilidade de se restituir o desempenho de uma estrutura e definir os procedimentos aplicáveis. A autora explica que, ainda que o desempenho da estrutura esteja satisfatório, devem ser realizadas intervenções periódicas a fim de prolongar sua vida útil.

Por ocasião de reformas e manutenções em edifícios, a norma NBR 16280 - *Reforma em edificações - Sistema de gestão de reformas - Requisitos* (ABNT, 2015) estabelece a corresponsabilidade dos síndicos, de maneira que eles podem exigir a completa documentação de quaisquer obras que aconteçam na edificação, bem como a presença de responsáveis técnicos. O proprietário da unidade autônoma deve garantir a presença do responsável técnico em caso de reformas e manutenções.



Pesquise mais

Pesquise mais sobre as atribuições de todos os envolvidos em uma edificação lendo as normas apresentadas anteriormente, disponíveis na Biblioteca Virtual: *NBR 16280 - Reforma em edificações - Sistema de gestão de reformas - Requisitos* (ABNT, 2015) e *NBR 15575 - Edificações Habitacionais - Desempenho* (ABNT, 2013).

Na Biblioteca Virtual, você também encontrará o seguinte texto que traz algumas das manifestações patológicas em estruturas de fundação:

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

Sem medo de errar

Voltando à situação-problema do início da seção, lembre-se de que o síndico de um edifício residencial convocou uma reunião com os demais moradores para discutir o início da reforma das

áreas comuns e fachadas da edificação. Para essa reunião, você foi convidado a participar como consultor técnico.

O problema mais grave do prédio é o deslocamento do concreto, com exposição do aço, em um dos pilares da guarita.

Na reunião, o representante da construtora que fará a reforma solicitou que você explicasse a todos os presentes as diferenças entre recuperação/reforço para que os moradores pudessem compreender melhor esse tipo de serviço.

Você, então, reforçou com os presentes a necessidade de serem realizadas manutenções preventivas na edificação, que são pequenas obras realizadas, de tempos em tempos, nos diversos sistemas, a fim de manter sua integridade.

Os reparos são obras que devem ser feitas quando há algum dano a qualquer sistema, mas que não comprometa a integridade estrutural da edificação. Já os reforços são serviços que visam restaurar sistemas estruturais ameaçados por danos.

Um reparo ou recuperação de fissuras em uma peça de concreto, pode ser resolvido por meio da injeção de pasta de cimento, argamassas modificadas com polímeros (epóxi ou látex), grautes, mastiques e selantes. Se o concreto e o aço tiverem sofrido corrosão, deve-se retirar todo o material danificado, tanto na armadura, como na pasta, a superfície deve ser limpa e então preenchida com concreto, argamassa ou graute. Pode-se empregar também pintura epoxidica com zinco na armadura da região afetada, depois de limpa, visto que o zinco prolonga a vida útil do aço frente à oxidação.

Se após a análise das fissuras for constatado o comprometimento da capacidade resistente da peça e um reparo não for suficiente, deverá ser executado reforço. Uma técnica de reforço é o encamisamento com uma nova estrutura de concreto sobre a seção antiga, aumentando-se, assim, sua dimensão. Outra alternativa é a inserção de um perfil metálico chumbado à peça antiga, para que ele absorva parte do carregamento ou sua totalidade. Pode-se empregar também chapas metálicas onde se deseja reforçar, as quais são coladas por meio de adesivo e parafusos auto-fixantes.

Você explicou que toda a obra deverá ser fiscalizada por profissional técnico habilitado, sendo responsabilidade do síndico garantir que isso se faça cumprir.

Adicionalmente, o representante da construtora pediu que você indicasse a situação do pilar e qual metodologia deveria ser empregada.

No pilar em questão, a situação avançada da degradação indica que seu desempenho estrutural já está comprometido, o que demanda sua completa recuperação. Uma situação que comumente causa esse tipo de problema é o surgimento de fissuras que, se não tratadas, permitem a passagem do ar ou de outros agentes agressivos que atacam o aço, promovem reações expansivas e que geram deslocamento do concreto de cobrimento.

Antes de mais nada, será imprescindível a avaliação da armadura para se constatar se ela ainda apresenta capacidade resistente.

Você explicou aos presentes que, para a recuperação do pilar, caso o aço possa ser aproveitado, todo o concreto comprometido deverá ser retirado e as barras de aço limpas. Em seguida, deve-se delimitar a região do reforço, molhar o substrato e escarificar as proximidades para garantir a aderência do novo material. Depois disso, você recomenda a aplicação de microconcreto (grout) e cura úmida.

Como a peça em questão está bastante avariada, será necessário executar forma de madeira para garantir a manutenção do formato original.

Caso o aço esteja bastante danificado, você propõe o reforço por encamisamento, com aumento da seção do pilar. Nesse caso uma nova armadura seria executada no perímetro da seção antiga e uma nova concretagem, realizada.

Avançando na prática

Reforço de pilar de concreto

Descrição da situação-problema

Você é o gestor de uma obra de um prédio comercial e acaba de receber o relatório de uma consultoria externa, contratada pela construtora em que você trabalha. No relatório existe a menção ao “encamisamento” de pilares para reforço estrutural. Como gestor da obra, você deve explicar para seus funcionários e colegas de trabalho o que significa esse reforço e como ele acontece.

Resolução da situação-problema

Você explica, então, que o encamisamento é a técnica que consiste no aumento da seção da peça de concreto danificada, por meio de uma nova concretagem por fora. Para tanto, pode ser necessário um complemento na armação e na execução de forma ao redor da peça para posterior concretagem.

O material empregado na concretagem pode ser o concreto convencional, o de alto desempenho, o micro concreto ou o com adições de sílica ativa ou de fibras de aço.

Faça valer a pena

1. Sobre o reparo das estruturas de concreto, são feitas as seguintes afirmações:

- I) No momento da primeira visita à edificação com manifestações patológicas, o consultor detalha cada problema em um relatório, definindo as soluções a serem adotadas, já que na proposta de intervenção devem constar os materiais e métodos. Depois de aprovada a proposta, são realizados os testes e ensaios para verificar a extensão dos dados.
- II) Para o reparo de estruturas de concreto, o consultor especifica a metodologia de limpeza da superfície afetada, o material a ser empregado para preenchimento e os cuidados com a junta que será criada.
- III) No reparo das fissuras, busca-se sempre estabelecer a unidade resistente da peça, ou seja, seu monolitismo através de materiais elásticos, tais como as resinas poliuretânicas e a nata de cimento.

Marque a alternativa correta acerca das afirmações anteriores.

- a) Estão corretas as afirmativas I e II, apenas.
- b) Estão corretas apenas as afirmativas II e III.
- c) Apenas a afirmativa I está correta.
- d) Apenas a afirmativa III está correta.
- e) Está correta apenas a afirmativa II.

2. Observe as duas colunas. A primeira diz respeito ao processo de reforço de estruturas, já a segunda traz a explicação dos métodos apresentados na primeira:

- | | |
|------------------------------|---|
| (1) Encamisamento. | (1) Em trincas e aberturas de madeira, aumenta a resistência mecânica da madeira. |
| (2) Chapa metálica. | (b) Uso de cordoalhas de aço; não demanda o descarregamento da peça. |
| (3) Protensão externa. | (c) Promove aumento da seção danificada. |
| (4) Preenchimento com epóxi. | (d) Cola-se externamente à peça danificada. |

Marque a alternativa que corretamente relaciona as duas colunas.

- a) 1-d; 2-a; 3-c; 4-b.
- b) 1-c; 2-d; 3-b; 4-a.
- c) 1-a; 2-b; 3-d; 4-c.
- d) 1-c; 2-b; 3-d; 4-a.
- e) 1-c; 2-d; 3-a; 4-b.

3. O gráfico da Figura 3.13 diz respeito às manutenções que devem ser realizadas nas edificações, e sobre ele são feitas as seguintes declarações:

- (02) O desempenho desejado só pode ser alcançado a partir da primeira manutenção preventiva.
- (10) A vida útil (VUP) sem manutenção tende a ser menor que aquela na qual são realizadas as manutenções obrigatórias pelo usuário.
- (14) A cada manutenção, alcança-se o desempenho inicial da edificação, prolongando-se, assim, sua vida útil.
- (17) Pelo gráfico, fica claro que a Vida Útil de Projeto (VUP) é uma situação prevista pelo projetista, contudo dependente da ação do usuário, como por exemplo, obedecer o manual que recebe ao final da construção.

Considerando o gráfico da Figura 3.13, marque a alternativa que contém a soma das afirmações corretas.

- a) 12.
- b) 16.
- c) 24.
- d) 27.
- e) 14.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 256 p.

_____. **NBR 9575:** Impermeabilização – Seleção e projeto. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 18 p.

_____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 13753:** Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 13755:** Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassas colante- Projeto, execução, inspeção, e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16280:** Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BRITO, Leandro Dussarrat. **Patologia em estruturas de madeira:** metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. 2014. 502 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2MFuWpN>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** 1999. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. Disponível em: <<https://bit.ly/2Blba8y>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

CHAVES, Ana Margarida Vaz Alves. **Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas.** 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2MugGAL>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

CORSINI, Rodnei. Trinca ou fissura? – Como se originam, quais os tipos, as causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação de fissuras. **PINI Técnica**, [S.l.], ed. 160, p.1-7, jul. 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2qUQguk>>. Acesso em: 21 maio 2018.

_____. Reforço de estruturas com fibra de carbono: Os elementos do sistema e sua aplicação em tabuleiros de pontes e viadutos. **Infraestrutura Urbana:** Projetos, custos e construção, São Paulo, v. 20, p.1-3, nov. 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2BBH4Uc>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

DAL'BÓ, Tânia Cristina Machado; SARTORTI, Artur Lenz. Falhas e Patologias nas Estruturas Metálicas. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DA CONSTRUÇÃO

METÁLICA, 5., 2012, São Paulo. **Artigo técnico**. São Paulo: ABCEM, 2012. p. 1-11. Disponível em: <<https://bit.ly/2Lkx4hN>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

FIGUEIREDO, Luciana Maria Bonvino. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. 1998. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: <<https://bit.ly/2PpnTjz>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

FIORELLI, Juliano; DIAS, Antonio Alves; INO, Akemi. Alternativas para recuperação de estruturas de madeira: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Entac, 2002. p. 1841-1848. Disponível em: <<https://bit.ly/2wmcsQT>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2nWgviW>>. Acesso em: 21 maio 2018.

GRAHAM. **What is Post-tensioning?** Freyssinet, Reino Unido, 14 mar. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2n3j0yX>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

HELENE, Paulo. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1992.

INFILTRAÇÃO – O que fazer quando o seu teto, parede ou piso começam a ficar com bolhas, descascar e ficar cinza cor de mofo? **Saiu no Jornal**, abr. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2nVwmyt>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

JUNTAS de dessolidarização. **IAU – USP**, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <<https://bit.ly/2o25KvG>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

MACHADO, Jorge André Gomes. Perícia em fachada de edifício multifamiliar para verificação e análise do deslocamento do revestimento cerâmico com auxílio de drone. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 19., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Ibape, 2017. p. 1-23. Disponível em: <<https://bit.ly/2MGsb2A>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

MAGALHÃES, Ernani Freitas de. **Fissuras em alvenarias**: configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10135>>. Acesso em: 25 maio 2018.

MARTINS, Alex Mizaél. **Transporte de cloretos em concretos com adições minerais e o desempenho em relação à corrosão das armaduras**. 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2MrDsJK>>. Acesso em: 21 maio 2018.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NAKAMURA, Juliana. Reparo, reforço e recuperação de concreto. **Téchne**: PINI, [s.l.], ed.

146, p.1-5, maio 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2NaXSsS>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

OLIVEIRA, Alexandre Magno de. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2Mo9c29>>. Acesso em: 21 maio 2018.

PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, [s.l.], v. 63, n. 368, p.432-445, dez. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2MKpQZe>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

REDAÇÃO AECweb/e-Construmarket. Patologias de estruturas de concreto: identificação e tratamento. **AECweb** – O portal da Arquitetura, Engenharia e Construção, [s.l.], 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2PrQRzj>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

REDAÇÃO AECweb/e-Construmarket. Sistemas de injeção para tratamento de trincas e fissuras. **AECweb** – O portal da Arquitetura, Engenharia e Construção, [s.l.], 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2w4slqk>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <<https://bit.ly/2MqDpxL>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

SALES, Urânia Costa; SOUZA, Henor Artur de. Mapeamento de problemas na construção industrializada em aço. **Rem, Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 4, p.1-8, dez. 2001. Disponível em: <<https://bit.ly/2Naamef>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SARTOR, Andressa Schittler. **Identificação das patologias internas de um edifício residencial do município de Alegrete/RS**. 2017. 68 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2o15ZHn>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SERRA, Armindo Henrique Garrido Ferreira. **Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2BCXcVP>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SILVA, Fernando Benigno da. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **PINI Técnica**, [s.l.], ed. 174, p.1-9, set. 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2la0Aw4>>. Acesso em: 21 maio 2018.

SILVA, Marcos A. R. da; LIMA, Evelyne E. P.; SILVA, João R. P. da. Ataques de cloretos em concreto armado: causas, efeitos e técnicas mais utilizadas para diagnóstico, terapia e recomendações de profilaxia. In: XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2017, Crato. **Manifestações Patológicas**. Crato: CINPAR, 2017. p. 18-40. Disponível em: <<https://bit.ly/2GcW5ct>>. Acesso em: 21 maio 2018.

SIQUEIRA, M. V. et al. Análise de carbonatação e corrosão por íons cloreto em uma passarela da zona oeste do Recife. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2017, Recife. **Anais...** Recife: CONPAR, 2017. 11p. Disponível em: <<https://bit.ly/2N6M44E>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

SOUZA, Henor Artur de; ARAÚJO, Ernani Carlos de Araújo Carlos; FRANÇA, Klaydson D.lopes. Reforço de vigas de madeira com elementos de aço. **Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural**, Passo Fundo, v. 13, n. 3, p. 52-67, dez. 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2BH7J20>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**: Causas prevenção e recuperação. São Paulo: Editora Pini, 1989.

TRISTÃO, Gustavo et al. Ensaio de integridade de estacas por perfilagem térmica - TIP. **Fundações e Obras Geotécnicas**, [s.l.], p. 58-63, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2LL4Mnx>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

VALINHO, R. et al. Avaliação da integridade de estacas cravadas assentes em argila mole da cidade de Campos dos Goytacazes. **Memória de II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos (GeoJovem)**, Nova Friburgo, p. 6-12, 2006.

ZUCHETTI, Pedro Augusto Bastiani. **Patologias da construção civil**: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari / RS. 2015. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2mhbjP2>>. Acesso em: 21 maio 2018.

Controle de qualidade na construção civil

Convite ao estudo

Caro aluno,

É com bastante entusiasmo que lhe dirijo essas palavras, na última unidade desse livro. Você chegou até aqui, adquirindo muitos conhecimentos nesse percurso. Valeu a pena seu esforço, suas leituras e a realização das atividades propostas, pois tudo isso contribuirá e enriquecerá sua atuação, quando for um profissional da área.

Como exemplo de contextualização do conteúdo da Unidade 4, podemos imaginar que você precise especificar um sistema construtivo para uma edificação ao trabalhar em uma equipe de projetos. Em um outro contexto, você poderá participar da implantação ou gestão do Sistema de Qualidade de uma construtora. E por fim, pode vir a atuar como gerente de um laboratório de controle de qualidade de materiais e sistemas construtivos.

Nas unidades anteriores, você acompanhou o conteúdo acerca da Industrialização na Construção, Conforto Ambiental e Patologias nas Edificações. Com isso, você pode entender melhor como a industrialização é implementada nos processos construtivos; algumas opções de técnicas e sistemas que visam o conforto dos usuários das edificações; o desenvolvimento e tratamento das manifestações patológicas nas estruturas, alvenarias, pinturas e revestimentos cerâmicos.

A seguir, para fechar todo o conteúdo do livro, a última unidade tratará do controle de qualidade aplicado à construção civil, com ênfase nas normas, nos requisitos da especificação de materiais e sistemas e nos ensaios aplicáveis. Espera-se, ao final dessa unidade, que você seja capaz de

descrever alguns dos processos que compõem o controle da qualidade na construção.

Para ilustrar uma circunstância prática e auxiliá-lo na visualização do contexto de aplicação desse conhecimento, reflita sobre a seguinte situação:

Suponha que você seja parte da equipe de uma empresa especializada em implantação do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) em construtoras, empresas de engenharia e escritórios de Arquitetura. Como a empresa é bastante conceituada na cidade onde atua, recorrentemente é chamada para oferecer, também, consultorias de acompanhamento de empresas que já implantaram o sistema, mas que desejam se reciclar. Outro serviço que vocês oferecem é a auditoria interna, como forma de preparação das companhias para a auditoria externa de seus processos.

Sua equipe foi contratada para implantar o SGQ em uma construtora, que está ampliando seu número de obras e deseja obter financiamentos públicos; mas para tal, precisa comprovar uma gestão eficiente de processos, materiais e pessoas, bem como de qualidade nas suas construções.

Devido à sua expertise no assunto, foi-lhe atribuída a gestão do time que cuidará desse cliente.

É um desafio interessante para a sua carreira e, claro, você aceitou prontamente ser o responsável por orientar seus colegas:

- Na elaboração dos documentos, manuais, fichas de verificação, *check lists*, etc.
- No treinamento dos colaboradores do escritório do cliente e dos colaboradores que atuam nas obras quanto aos procedimentos.
- Na condução das auditorias internas no escritório e obras.

Como a Gestão da Qualidade se aplica em um contexto semelhante a esse?

Para responder a essa questão, você precisará compreender melhor as normas de qualidade dos materiais, os requisitos para especificação de processos construtivos e os ensaios que embasam o conhecimento acerca do desempenho de alguns componentes dos principais sistemas que compõem as edificações.

Boa leitura!

Seção 4.1

Normas de controle de qualidade na construção civil

Diálogo aberto

Olá!

Conforme lhe dissemos anteriormente, na presente unidade, serão abordados alguns elementos relativos ao controle de qualidade nas edificações. Já nessa primeira seção da unidade, trataremos das normas aplicáveis ao controle tecnológico, à qualidade e ao desempenho dos materiais, bem como do processo de gestão desses requisitos numa edificação.

Para entender como isso pode funcionar na prática, imagine o seguinte desdobramento da situação proposta para essa unidade.

Depois de fechado o contrato para implantação do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) na empresa cliente, você marcou uma reunião com o diretor da construtora para explicar a ele como esse serviço seria conduzido.

Já na reunião, o diretor explicou-lhe que a empresa é bastante preocupada com a segurança de seus funcionários e equipes de obra, que mantém os canteiros sempre organizados, e que exige controle de qualidade dos materiais, inclusive com documentação, porém, entende que isso não é suficiente. Portanto, as dúvidas iniciais que ele lhe expressa são:

- Quais requisitos básicos devem ser atendidos para a implantação de um Sistema de Gestão da Qualidade em uma construtora?
- No que diz respeito ao controle tecnológico e qualidade dos materiais, quais as principais diretrizes?
- Como o desempenho de uma edificação pode ser aferido?

Ele relata também que tem conhecimento dos requisitos da norma ISO 9001 e do PBQP-H, mas tem uma dúvida: como esses textos são contemplados em um SGQ?

A fim de responder a essas perguntas, você deverá conhecer as principais normas de controle e desempenho de materiais, além de saber como se estrutura um SGQ para uma construtora.

Como você pode perceber, o tema dessa seção está bastante alinhado aos desafios reais com os quais os profissionais da Construção Civil se deparam. Por isso, aproveite para aprofundar seus conhecimentos e entender ainda mais sobre esse assunto.

Não pode faltar

Gestão da qualidade na construção civil: normas

Santos e Losekann (2017) explicam que a Gestão da Qualidade é a aplicação de ferramentas em um determinado processo produtivo com vistas a melhorar continuamente o produto que será entregue. Na Construção Civil, no Brasil, esse conceito se tornou mais conhecido a partir da década de 1990, com a implementação da norma *NBR ISO 9001* (ABNT, 2015) e do *Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat* (PBQP-H, 2017).

A *NBR ISO 9001* (ABNT, 2015) contém as condições para implantação do Sistema de Gestão da Qualidade em empresas que buscam atender aos requisitos do cliente, bem como às normas e regulamentos aplicáveis. A referida norma se pauta em sete princípios (MARCONDES, 2018), que devem nortear as organizações:

- Foco no cliente.
- Liderança.
- Engajamento das pessoas (da equipe).
- Abordagem de processo: entender e controlar as relações de dependência entre processos do sistema.
- Melhoria (contínua).
- Tomada de decisão baseada em evidência: por meio da análise de dados e informações.
- Gestão de relacionamento: entre a organização e seus fornecedores.

O PBQP-H controla o regimento do SiAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção

Civil). Este, por sua vez, surgiu em 2005 para avaliar a conformidade do Sistema de Gestão da Qualidade das empresas do setor. Essa avaliação se dá por meio da definição das normas aplicáveis à execução de obras, com vistas à qualidade, conformidade do produto (SANTOS E LOSEKANN, 2017) e modernização da produção no setor (MARCONDES, 2018).



Reflita

Para a concessão de financiamentos habitacionais enquadrados no programa federal Minha Casa, Minha Vida, a Caixa Econômica Federal exige que os projetos tenham o certificado do SiAC.

Você já imaginou as oportunidades que surgem para as empresas que se preocupam em implantar sistemas de qualidade em seus processos?

Com a atualização do SiAC em 2017, as empresas do segmento da construção deverão se certificar nesse sistema em um nível A ou B, através de auditoria realizada por órgão regulamentador, tanto no escritório da empresa, como em suas obras, se for o caso (PBQP-H, 2017).

Segundo o programa (PBQP-H, 2017), o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) da construtora deve apresentar um Manual da Qualidade e documentos específicos para controle de documentos e registros. A direção da empresa deve, entre outras coisas, ser responsável por planejar o SGQ, a Política e os Objetivos da Qualidade. Já a gerência de cada obra é responsável por: elaborar o Plano de Qualidade da Obra, controlar a versão dos projetos que vão para o campo, controlar a aquisição de materiais, além de outras atribuições.

Para o desenvolvimento do SGQ, a construtora deve (PBQP-H, 2017):

- Iniciar os trabalhos com um diagnóstico preliminar sobre o atendimento dos requisitos da qualidade, no que diz respeito à situação presente da empresa.
- Definir os subsetores e obras abrangidos pelo SGQ que se pretende implantar, bem como os processos envolvidos, sua sequência e interdependência.
- Elaborar lista de materiais e serviços controlados, levando em conta as exigências do SiAC.

- Elaborar um planejamento, com indicação de responsáveis, prazos e metas para cada certificação, estipulando métodos e critérios para alcance das mesmas e garantindo o acesso às informações necessárias.
- Os processos devem ser continuamente monitorados, por meio de medições e análises, e, para sua melhoria, devem ser estabelecidas ações com vistas aos resultados desejados.



Assimile

O **Manual da Qualidade** é um documento da Qualidade que contém setores e obras do SGQ, bem como os procedimentos, sua sequência e relação entre eles.

A **Política da Qualidade** é um documento que sintetiza os propósitos da construtora; seu comprometimento com os requisitos e com a melhoria contínua do SGQ; a estrutura do SGQ da empresa; e a definição das responsabilidades e do plano de engajamento da equipe. É um dos passos iniciais no desenvolvimento do SGQ por parte da companhia.

Os **Objetivos da Qualidade** expressam os resultados esperados com a implementação do SGQ na organização, bem como aqueles que são necessários para o atendimento dos requisitos do sistema. Seu acompanhamento se dá por meio de indicadores mensuráveis.

O **Plano de Qualidade da Obra** é um documento, elaborado para cada obra, contendo:

- Estrutura e responsabilidades organizacionais dentro da obra.
- Serviços e respectivos materiais controlados, bem como os procedimentos de execução e inspeção.
- Especificidades da obra em questão.
- Plano de controle tecnológico de materiais e os procedimentos para tal.
- Processos e equipamentos críticos para se assegurar a qualidade da obra, com vistas às exigências do cliente.
- Programa de treinamento e objetivos da qualidade específicos, associando-os aos indicadores avaliados.

- Indicação da destinação dos resíduos, de acordo com legislação pertinente.

Todos os requisitos da qualidade devem estar de acordo também com a *NBR 15.575 - Edificações Habitacionais - Desempenho* (ABNT, 2013).

Os requisitos relativos à documentação em um SGQ, segundo a *NBR ISO 9001* (ABNT, 2015) são:

- Documentação da Política e Objetivos da Qualidade.
- Existência do Manual da Qualidade.
- Elaboração dos procedimentos exigidos pela norma, bem como dos demais documentos e registros que auxiliem o planejamento, a operação e o controle dos processos.
- A gestão da qualidade em uma obra envolve o controle:
- Dos projetos, incluindo a versão que vai para o canteiro para ser executado.
- Dos serviços, por meio de procedimentos, treinamentos, fichas, conferências, análise crítica, em caso de não conformidades, etc. Todos esses meios de controle são constituídos por documentos.
- De toda a documentação do pessoal alocado na obra, inclusive dos terceirizados.
- De materiais, equipamentos e ferramentas, contemplando seu local de emprego, por meio de fichas.
- Dos índices resultantes desse processo.

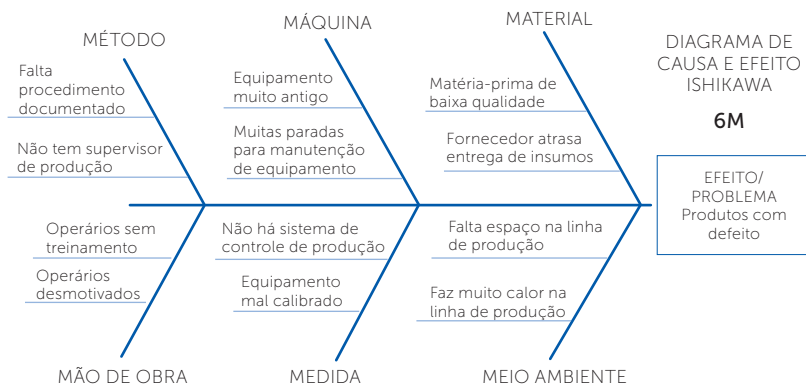
Marcondes (2018) apresenta as ferramentas da gestão da produção que norteiam o SGQ.

O **ciclo PDCA**, do inglês *Plan* (planejar), *Do* (executar), *Check* (verificar), *Act* (agir), visa a melhoria contínua e pode ser aplicado a cada atividade ou ao processo como um todo. Planejar é estabelecer quais etapas serão controladas e acompanhadas, bem como quais procedimentos estarão envolvidos nesse momento do ciclo. Em seguida, executam-se as tarefas de acordo com os procedimentos, mantendo-se um registro dos dados relevantes. Esses dados embasam a verificação do

processo e a ação, em caso de não conformidade. Um exemplo de aplicação desse conceito se apresenta na Curva ABC, bastante comum na gestão de estoques e no planejamento dos insumos de uma atividade.

O **Diagrama Ishikawa** é também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito porque permite a análise das causas de um determinado problema, que podem ter sua origem na metodologia de fabricação, nas máquinas envolvidas, materiais, mão de obra, no sistema de medida empregado ou no ambiente de produção. Conforme expressa a Figura 4.1, todas essas causas culminam em problemas, que pode ser um produto com defeito, por exemplo.

Figura 4.1 | Diagrama Ishikawa

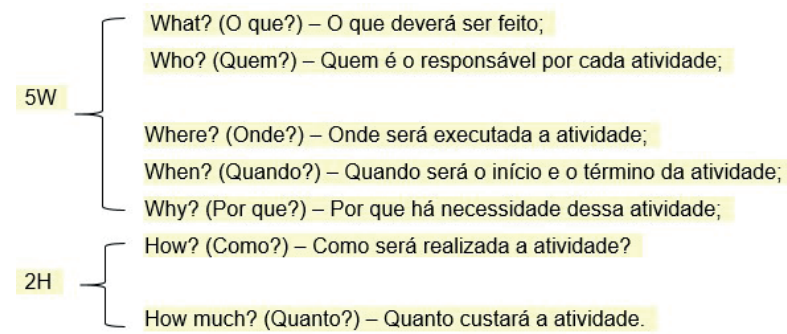


Fonte: <<https://bit.ly/2PNgACg>>. Acesso em 27 jun. 2018.

A partir do conhecimento das causas de um problema, é possível tratar sua origem e melhorar o processo, a fim de se evitar um efeito indesejado. A partir da Figura 4.1, vê-se o formato padrão do diagrama, também conhecido como diagrama de Espinha de Peixe.

O **5W2H** é um instrumento que auxilia na definição de metodologia, tempo, responsáveis, objetivos e recursos necessários para o desenvolvimento de uma tarefa. A sigla resume as seguintes perguntas em inglês demonstradas na Figura 4.2 a seguir:

Figura 4.2 | Instrumento 5W2H



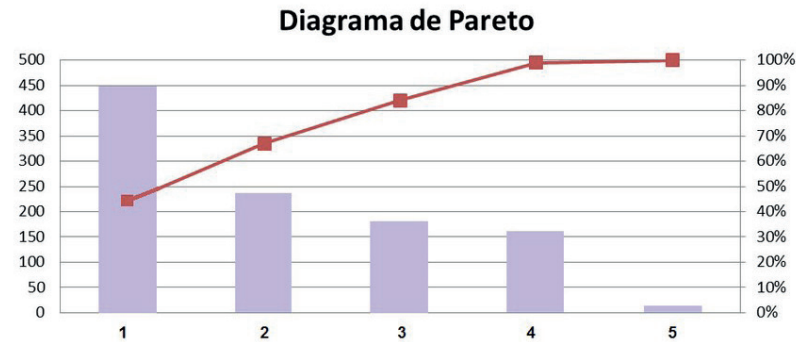
Fonte: Adaptado de Marcondes (2018).

O **Brainstorming** também é uma técnica empregada em um ambiente de gestão de processos. Trata-se do levantamento de questionamentos (ou ideias) sobre um problema, de maneira livre, em que todos os presentes podem contribuir. Em seguida, cada ponto apresentado é analisado.

A **Folha de Verificação** é um formulário, impresso ou não, no qual os dados da produção são registrados e armazenados.

O **Diagrama de Pareto** é uma metodologia empregada quando se deseja expressar graficamente a importância relativa de diferentes itens que compõem uma tarefa. O ordenamento no gráfico segue dos itens mais importantes para os menos, conforme ilustra a Figura 4.3, o que é feito com o intuito de se priorizar as atividades que mais impactam o processo global.

Figura 4.3 | Diagrama de Pareto



Fonte: <<https://bit.ly/2BYvraf>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

Por fim, o **Fluxograma** é uma ferramenta bastante empregada quando se pretende estabelecer o encadeamento entre atividades de um processo.

As metodologias apresentadas permitem seu emprego em conjunto, pois cada uma apresenta diferentes contribuições e podem se complementar.



Exemplificando

Marcondes (2018) apresenta um estudo de caso para exemplificar o passo a passo da gestão de qualidade no desenvolvimento de projetos em uma empresa.

1º Passo: Descrição de todos os processos, e suas relações, para elaboração de um projeto, incluindo ferramentas necessárias, materiais, etc.

Nessa etapa, os processos podem ser organizados por meio de um fluxograma que expresse seu encadeamento.

2º Passo: Levantamento das possíveis inconformidades em cada processo.

3º Passo: Classificação dos riscos, análise crítica e definição de medidas preventivas e de minimização dos danos.

Nos passos 2 e 3, a Folha de Verificação pode ser uma ferramenta interessante para se anotar a situação observada em um determinado projeto. A empresa pode, ainda, sistematizar, por meio de um Diagrama de Pareto, as não-conformidades que historicamente afetam os projetos.

4º Passo: Proposta de melhoria no processo.

Observe, ainda, que todos esses passos seguem uma lógica alinhada às ideias contidas no Ciclo PDCA. Nesse sentido, o passo 1 contemplaria o planejamento (*plan*); o 2º passo, a execução (*do*) da gestão; o terceiro momento engloba a verificação (*check*) desse processo; e o último estágio (4º) seria a ação (*act*) para melhoria.

Controle tecnológico dos materiais: desempenho

O controle dos materiais em uma obra não diz respeito apenas à gestão do estoque, mas também à qualidade daqueles, pois

impactam diretamente na qualidade do produto final. Uma boa parte da perda na produtividade diária pode ser um reflexo do mau armazenamento e de problemas no fornecimento dos materiais, bem como nas condições do canteiro (AZEVEDO, 2011).

Azevedo (2011) explica que, na aquisição dos insumos, o documento de referência é a Ordem de Compra e o planejamento da compra deve ser antecipado, por meio de um controle adequado do estoque, de forma a evitar a falta de um material no momento em que ele seja necessário no canteiro. O adequado controle do estoque minimiza compras desnecessárias bem como a falta dos insumos. Os colaboradores que movimentam os materiais internamente devem ser treinados e acompanhados para que estes não sejam danificados durante esse processo.

Segundo ainda esse autor, a gestão dos materiais e equipamentos em uma obra se dá por meio de uma central, com funcionários responsáveis pelas compras, as quais são efetuadas a partir do preenchimento de formulário específico, que deve ser aprovado pelo gestor da obra, para que, então, a requisição junto ao fornecedor seja efetuada. A recepção do material na obra é de responsabilidade do encarregado do almoxarifado, que confere se as especificações do que foi entregue estão de acordo com o que foi requisitado, bem como sua qualidade, integridade, etc. Os recebimentos, incluindo quaisquer inconformidades, bem como seu local de aplicação, são registrados em ficha específica.

Como etapa do processo de melhoria contínua do SGQ, frequentemente as empresas devem ser avaliadas e validadas, ou desqualificadas, para continuarem, ou serem excluídas, no quadro de fornecedores da construtora.

De acordo com Lungisansilu (2015), para serem minimizadas muitas das manifestações patológicas, o sistema de controle da qualidade dos materiais deve ser implantado na seleção, compra, recebimento e aplicação dos mesmos.

A correta seleção dos materiais e sistemas construtivos é atribuição dos projetistas envolvidos nas etapas iniciais do empreendimento. As demais etapas da gestão dos insumos acontecem na obra.

Faz parte do controle de recebimento a indicação, em ficha apropriada, da destinação do elemento adquirido. Em seguida, quando da sua aplicação, registra-se também em ficha específica

de serviço. Esse processo é denominado rastreabilidade do material e é especialmente importante nos casos em que este é aplicado antes que os resultados do seu desempenho sejam conhecidos (BRASIL, 2018), como é o caso do concreto, que é moldado antes que se saiba se atingirá a resistência demandada para a peça estrutural.



Exemplificando

Nos concretos usinados, as etapas da rastreabilidade são:

- Solicitação do insumo, conforme indicado em projeto por meio da Ordem de Compra.
- Recebimento pelo encarregado do almoxarifado, que confere se as especificações estão de acordo com a Ordem de Compra.
- Antes de aplicado, o concreto passa pelo teste de fluidez.
- Aprovado no teste, são moldados corpos de prova (cp's) que serão, posteriormente, submetidos a ensaios mecânicos para validação.
- O encarregado, então, anota na ficha de recebimento a destinação do material. Ex.: qual peça estrutural.
- Os cp's são enviados à empresa responsável pelo controle tecnológico.
- O gestor da obra acompanha os resultados de rompimento, qualificando o material como conforme, ou não, de acordo com os valores de resistência alcançados.

Sempre que necessário, a construtora deve contratar serviços especializados de laboratórios para análise e ensaio dos materiais empregados na obra. Na Seção 3 dessa unidade, serão descritos os materiais que exigem controle tecnológico por meio de ensaios.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece como demandas dos usuários: a segurança, a habitabilidade e a sustentabilidade.

Quanto à segurança, a norma estabelece os seguintes fatores que complementam o que o usuário espera: segurança estrutural,

contra o fogo e no uso e operação. Os materiais envolvidos em uma construção podem afetar diretamente esses requisitos, impactando o desempenho estrutural de uma edificação, seu comportamento diante de um incêndio, ou mesmo sua facilidade em iniciar ou propagar a chama, bem como no uso e operação dos subsistemas da construção.

Levando-se em conta a habitabilidade, seus fatores são: estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropodinâmico.



Refleta

Você percebe o papel que a qualidade dos materiais apresenta para se garantir a habitabilidade de uma edificação?

Por fim, os fatores relativos à sustentabilidade são: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental, que são também afetados pela qualidade dos materiais empregados durante a obra.

Em função disso, a referida norma indica a avaliação do desempenho dos materiais por meio de ensaios e investigações realizados por laboratórios. Em alguns casos, recomenda-se a simulação computacional, quando esta for mais conveniente.

Segundo a norma, os fornecedores devem apresentar os resultados do desempenho dos seus produtos, além de disponibilizar as informações necessárias para que os projetistas possam embasar suas escolhas. E na ausência de normas brasileiras específicas, eles podem recorrer a normas internacionais. Já o projetista detém a prerrogativa de especificar materiais que atendam ao desempenho esperado.



Refleta

Qual a importância da padronização nos processos de compra, recebimento de materiais, execução e controle dos serviços?



Leia o *Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat* (PBQP-H, 2017), atentando-se quanto aos requisitos. É importante que você, como futuro profissional, tenha uma noção clara do que se espera, no que diz respeito à qualidade em uma construção. Segue o link no qual será possível acessar o texto do referido programa:

BRASIL. Ministério das Cidades. **PBQP-Habitat** – Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2PPOarB>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

Leia também o capítulo 3 do texto abaixo, o qual contém alguns dos fundamentos do Sistema de Gestão da Qualidade:

MARCONDES, Rodrigo Bressan. **Fundamentos do sistema de gestão da qualidade aplicados aos processos produtivos de uma empresa de projetos de Engenharia e Arquitetura**. 2018. 199 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2PI1kXv>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

Na Biblioteca Virtual você encontrará o livro a seguir, cujo capítulo 6 também contribuirá bastante com seus estudos:

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Qualidade na construção civil**. São Paulo: Érica, 2014. 121 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2PdQEn9>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

Sem medo de errar

Lembre-se de que você é o responsável pela implantação do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) numa construtora. Na reunião com o diretor desta, você soube que há preocupação com a segurança dos funcionários e com as equipes de obra; e como os canteiros das obras são organizados, existe certo controle dos materiais. Essa situação já o animou, pois assim seria mais fácil engajar a equipe a participar das etapas de implantação do sistema formal de qualidade.

A conversa entre vocês foi conduzida a partir da apresentação dos requisitos básicos do SGQ, que são relativos à documentação,

aos produtos e serviços do cliente, às normas e estatutos, ao monitoramento e à medição, à pós-entrega, ao planejamento, à análise crítica e à melhoria, ao desempenho, etc. Isso quer dizer que a *NBR ISO 9001* (ABNT, 2015) estabelece condições, no âmbito de cada um desses requisitos, para a implantação do SGQ em uma construtora.

O controle tecnológico e de qualidade dos materiais inicia-se com o acompanhamento das etapas de aquisição dos insumos, com o controle adequado do estoque, preenchimento de formulário específico para compra, aprovação do gestor da obra para a requisição, recepção do material na obra e conferência.

O controle do recebimento é indicado em ficha apropriada, que contém também sua destinação. O momento da aplicação do material também é registrado em ficha específica de serviço.

A construtora pode contar também com serviços especializados de laboratórios para análise e ensaio dos materiais empregados na obra.

Você continua sua explanação comentando com seu interlocutor que a qualidade dos materiais se reflete diretamente na edificação.

E acrescenta que a NBR 15.575 (ABNT, 2013), levando em conta também aspectos relacionados aos materiais, estabelece como exigências dos usuários: a segurança, a habitabilidade e a sustentabilidade.

A segurança é esperada, no âmbito estrutural, contra o fogo e no uso e operação; a habitabilidade diz respeito à estanqueidade, ao desempenho térmico, acústico e lumínico, à saúde, higiene e qualidade do ar, à funcionalidade e acessibilidade e ao conforto tátil e antropodinâmico. Por fim, os fatores relativos à sustentabilidade são: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

Em função disso, a referida norma indica a avaliação do desempenho dos materiais por meio de ensaios, investigações e simulação computacional.

O diretor da construtora expressa que tem dúvidas sobre como a norma ISO 9001 e o PBQP-H são contemplados em um SGQ. Você comenta que esse é um questionamento comum e demonstra bastante boa vontade em sanar essa confusão.

A *NBR ISO 9001* (ABNT, 2015) contém as condições para implantação do Sistema de Gestão da Qualidade nas empresas. Já

o *PBQP-Habitat* controla o regimento do SiAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil), que, por sua vez, avalia a conformidade do SGQ.

Avançando na prática

Documentos que compõem um SGQ na obra

Descrição da situação-problema

Você é o gestor de uma equipe contratada para reformar uma casa com dois andares e que faz divisa com uma outra, cujo terreno se encontra no nível do segundo andar da residência que vai passar pelas obras.

A casa do seu cliente apresenta algumas manchas escuras nos pés das paredes, os quais também servem para separar as duas edificações. No escritório da empresa onde você trabalha há um técnico de edificações recém-formado e três estagiários.

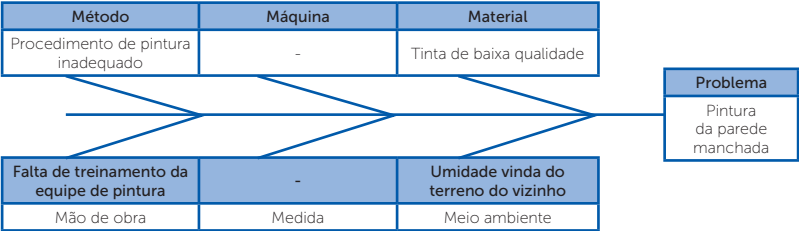
Ao relatar a situação da casa na presença dos quatro, eles lhe perguntam como essas manchas acontecem na parede. Você propõe que todos pesquisem as possíveis causas nesse contexto e façam um exercício de **Brainstorming**, apresentando seus resultados e que, em seguida, montem um **Diagrama de Causa e Efeito** para melhor visualizarem suas respostas.

Resolução da situação-problema

Você aproveitou a ocasião para ensiná-los que essas ferramentas são usualmente empregadas na busca por soluções de problemas, e que são aplicáveis a qualquer setor.

O exercício foi uma excelente oportunidade para os jovens profissionais treinarem sua capacidade de resolução de problemas. Durante o *brainstorming*, eles apresentaram diversas causas possíveis, resultado da pesquisa que realizaram: procedimento de pintura inadequado, falta de treinamento da equipe de pintura, tinta de baixa qualidade, umidade vinda do terreno do vizinho. O diagrama que eles lhe apresentaram é semelhante ao mostrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 | Diagrama Ishikawa para o problema na pintura da parede



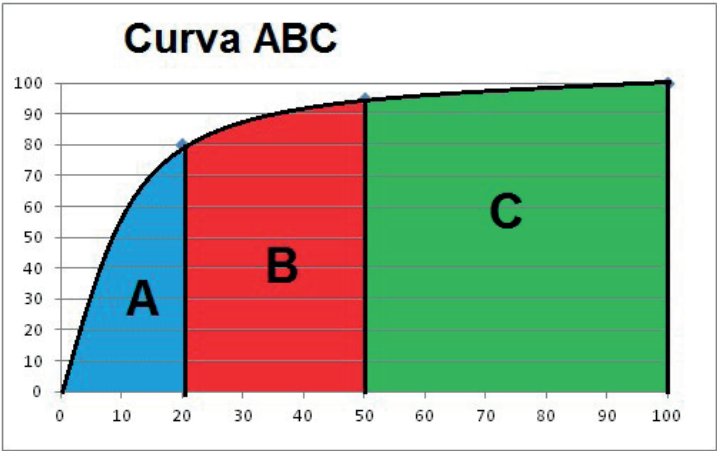
Fonte: elaborada pela autora.

Você sabe que pode haver outras causas para esse problema e, inclusive, no local ainda deverão ser verificadas outras circunstâncias para se determinar a origem da situação descrita. Contudo, você percebeu que eles compreenderam bem a aplicação das duas ferramentas de gestão.

Faça valer a pena

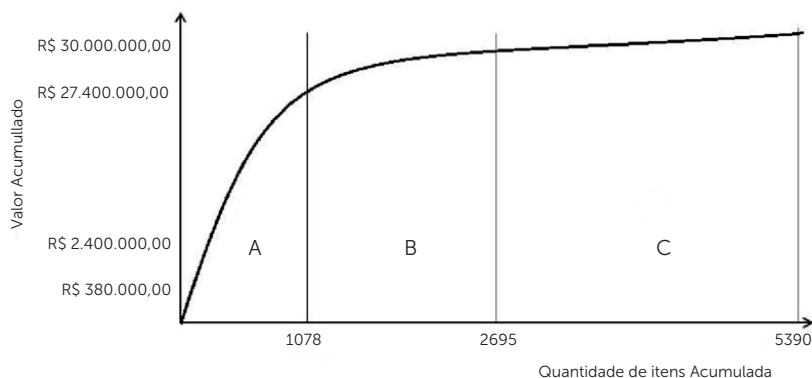
1. Na Construção Civil, a Curva ABC é uma importante ferramenta visual empregada na gestão orçamentária de serviços. Nas Figuras 4.5 e 4.6, o eixo x (abscissas) pode indicar as quantidades de determinado item; já o eixo y (ordenadas), seu valor (ou importância) acumulado.

Figura 4.5 | Esquema da Curva ABC



Fonte: <<https://bit.ly/2wy8g0B>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

Figura 4.6 | Aplicação da Curva ABC



Fonte: <<https://bit.ly/2BZM45z>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

Sobre a ferramenta são feitas as seguintes afirmações:

- I. A curva ABC é uma aplicação do Princípio de Pareto e, no caso da Construção Civil, pode ser usada para o controle de estoques em uma obra, insumos em uma atividade, etc.
- II. O Princípio de Pareto diz que os itens que merecem maior atenção do gestor são usualmente aqueles que se apresentam em maior quantidade.
- III. Da observação das duas figuras, percebe-se que, comumente, poucos itens, de maior peso sobre o serviço, tendem a impactar mais o valor acumulado dessa atividade.

Tendo em vista seu conhecimento sobre o assunto, bem como as Figuras 4.5 e 4.6, marque a alternativa abaixo que corretamente julga as afirmativas anteriores.

- a) Estão corretas apenas as afirmativas I e III.
- b) Estão corretas apenas as afirmativas II e III.
- c) Estão corretas apenas as afirmativas I e II.
- d) Apenas a afirmativa I está correta.
- e) Apenas a afirmativa III está correta.

2. Suponha a descrição da seguinte atividade:

- (a) Emboço fachada do prédio.
- (b) Composição de custo: R\$ 21,10 por m².
- (c) Procedimento da Construtora: código PES10.
- (d) Alvenarias externas.
- (e) 1 pedreiro e 1 servente.

- (f) Cronograma da obra: 25/06/2018 a 30/08/2018.
- (g) Preparação da alvenaria para recebimento do revestimento.

O gestor da obra, visando planejar-se para esse serviço, escolheu a ferramenta 5W2H para sistematizar os principais pontos da execução dessa atividade. A metodologia é expressa pelas seguintes questões:

- (1) What?
- (2) Who?
- (3) Where?
- (4) When?
- (5) Why?
- (6) How?
- (7) How much?

Marque a alternativa que corretamente mostra a correspondência entre os números que expressam as perguntas da ferramenta 5W2H e as letras que simbolizam a descrição da atividade de emboço.

- a) 1a, 2e, 3d, 4f, 5c, 6g, 7b.
- b) 1g, 2e, 3d, 4f, 5c, 6a, 7b.
- c) 1g, 2e, 3d, 4f, 5a, 6c, 7b.
- d) 1a, 2e, 3d, 4f, 5g, 6c, 7b.
- e) 1a, 2e, 3d, 4f, 5g, 6b, 7c.

3. Sobre a Gestão da Qualidade no setor da Construção Civil, são feitas as seguintes afirmações:

- I. Um dos princípios da *NBR ISO 9001* (ABNT, 2015) é _____ e pode ser alcançado através da aplicação do ciclo PDCA às atividades e processos, a fim de que se aumente a qualidade final do produto.
- II. Uma construtora que deseja implantar o SGQ em seus processos deve elaborar _____ único, bem como _____ e _____. Por sua vez, cada obra é responsável por escrever _____.
- III. A qualidade dos materiais pode determinar o resultado do desempenho da edificação pronta, tanto que a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece algumas exigências mínimas relativas aos usuários. Nesse sentido, a escolha de janelas de boa qualidade, que impedem a entrada de água na construção, reflete a busca pelo cumprimento da exigência de _____.

Marque a alternativa que contém as palavras (ou expressões) que, na ordem correta, preenchem as lacunas das afirmações I, II e III.

- a) Melhoria contínua; Plano de Qualidade da Obra; Manual da Qualidade; Política da Qualidade; Objetivos da Qualidade; durabilidade.
- b) Gestão da liderança; Plano de Qualidade da Obra; Manual da Qualidade; Política da Qualidade; Objetivos da Qualidade; segurança.
- c) Liderança; Política da Qualidade; Objetivos da Qualidade; Manual da Qualidade; Plano de Qualidade da Obra; durabilidade.
- d) Engajamento; Política da Qualidade; Objetivos da Qualidade; Plano de Qualidade da Obra; Manual da Qualidade; durabilidade.
- e) Melhoria contínua; Manual da Qualidade; Política da Qualidade; Objetivos da Qualidade; Plano de Qualidade da Obra; habitabilidade.

Seção 4.2

Especificações dos materiais e dos processos construtivos

Diálogo aberto

Caro aluno,

O tema da Unidade 4 é o Controle de Qualidade na Construção Civil, por isso, na Seção 4.1 nos atentamos às normas de controle de qualidade e de desempenho relacionadas aos materiais. Agora na Seção 4.2, ressaltaremos a importância do processo de definição de sistemas e materiais e o papel fundamental dos projetistas para a garantia do bom desempenho das edificações.

A abordagem da seção se dará por meio da discussão das atribuições dos projetistas na escolha dos materiais e processos construtivos, bem como alguns requisitos que eles precisam levar em conta nesse processo. Por fim, trataremos da importância da compatibilização dos projetos na garantia da qualidade da construção.

Lembre-se de que propusemos, na seção anterior, um contexto para ilustrar e exemplificar a aplicação do conteúdo. No caso proposto, você faz parte da equipe contratada para implantar o SGQ em uma construtora e será o gestor do time que cuidará desse cliente.

A primeira etapa da implantação do Sistema de Gestão da Qualidade na construtora se dará antes das obras, no escritório desta. Você, como profissional experiente nesse assunto, sabe que a administração central sistematiza procedimentos e diretrizes para enviar para as obras.

A empresa, que costuma construir com recursos próprios, possui arquitetos e engenheiros em seu corpo técnico. Conversando com esses profissionais, e como você conhece bem o assunto, achou bastante oportuno que a empresa tenha bem delimitadas as atribuições do arquiteto e demais projetistas dentro da empresa. Nesse sentido, você levantou a seguinte questão entre os profissionais: quais as suas responsabilidades na escolha dos materiais e processos construtivos?

Vocês conversam também sobre as normas envolvidas nesse processo e você levanta as seguintes questões para reflexão:

- Quais requisitos devem ser levados em conta na especificação de materiais e processos construtivos de acordo com a Norma de Desempenho? Há alguma outra instrução normativa que pode ser levada em conta?
- Qual a importância da compatibilização dos projetos de uma edificação?
- Quais ferramentas estão acessíveis para esse tipo de trabalho de compatibilização?

Você será capaz de responder a esses questionamentos por meio do conhecimento das atribuições dos projetistas na definição de sistemas e especificação de materiais durante o desenvolvimento dos projetos de uma edificação; importante também o entendimento das diretrizes e requisitos que esses profissionais seguem durante esse processo. Por fim, será necessário que você compreenda alguns conceitos relativos à etapa de compatibilização de projetos e sua importância no funcionamento da construção.

Não pode faltar

Requisitos e atribuições dos projetistas na especificação dos materiais e processos construtivos

Pode-se dizer que os requisitos básicos a serem levados em conta pelo projetista na especificação de um sistema qualquer são os dispostos nas normas técnicas disponíveis. Isso porque esses textos definem diretrizes, situações aplicáveis, aspectos qualitativos e quantitativos que orientam o profissional na decisão quanto à funcionalidade e aplicabilidade do sistema que ele deseja utilizar.

Para compreender melhor o processo projetivo, há que se estabelecer algumas das atribuições dos projetistas envolvidos na construção de uma edificação. Nesse sentido, seguem algumas pontuações acerca da atividade de Arquitetos e Engenheiros.

A Resolução nº 51, de 12 de julho de 2013, do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU, 2013) especifica as atividades do arquiteto. Algumas delas, referentes ao processo de concepção de projeto serão discutidas a seguir.

Relativamente à **Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura de Interiores, Paisagismo, Patrimônio Histórico, Planejamento Urbano e Conforto Ambiental**, compete ao arquiteto a elaboração dos projetos, tanto de construção, como de reforma, assim como a coordenação e compatibilização desses projetos com os complementares.

No que diz respeito ao trabalho do Engenheiro, a Resolução do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia nº 1.048, de 14 de agosto de 2013, estabelece que esse profissional pode elaborar projetos e estudos, bem como fiscalizar e dirigir as obras, relativos a:

- Drenagem e irrigação.
- Construção de edifícios e suas obras complementares.
- Estradas.
- Captação, distribuição e abastecimento de água.
- Aproveitamento de energia, máquinas, instalações industriais e fábricas.
- Portos, aeroportos, rios e canais.
- Saneamento urbano e rural.
- Urbanismo.
- Engenharia Legal, vistorias, perícias e arbitramentos, pareceres, divulgação técnica.
- Topografia e geodésia.
- Instalações de força motriz, mecânicas e eletromecânicas.
- Instalações que utilizem energia elétrica, usinas e redes de distribuição de energia elétrica.
- Geologia e riquezas minerais, bem como prospecção de jazidas e exploração de minas.
- Indústria metalúrgica.

De acordo com a Resolução do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia nº 1.073, de 19 de abril de 2016, o engenheiro possui as seguintes prerrogativas relacionadas aos serviços descritos anteriormente (CONFEA, 2016):

- Gestão, supervisão, consultoria, direção e execução de obra.
- Estudo, dimensionamento e especificação.
- Estudo de viabilidade.
- Vistorias e perícias.

- Treinamento, ensino e pesquisa.
- Orçamentação.
- Produção, instalação, montagem, reforma.
- Elaboração de desenho técnico.

Com base nas resoluções da Engenharia (CONFEA, 2016) e da Arquitetura (CAU, 2013) citadas anteriormente, percebe-se uma sobreposição da atuação dos engenheiros e arquitetos no que diz respeito à elaboração de projetos arquitetônicos e de urbanismo. Por outro lado, fica mais claro que ao engenheiro compete a elaboração dos projetos e estudos referentes às disciplinas complementares nas edificações, tais como instalações prediais, sistemas de ar condicionado, aquecimento solar, etc.

Pode-se considerar que cada projetista é responsável técnico pelas escolhas dos sistemas e materiais relativos ao seu campo de atuação.

Por exemplo, para a construção de um prédio comercial, é necessário a contratação de diversos projetistas, sendo um arquiteto para o projeto arquitetônico, com as definições dos acabamentos e revestimentos, e um engenheiro civil para a elaboração dos projetos de instalações elétricas e hidráulicas.

Dessa forma, o arquiteto é responsável técnico pelas escolhas técnicas dos sistemas e materiais de revestimento e acabamento no projeto arquitetônico. Já o engenheiro pode ser responsabilizado por suas escolhas no âmbito dos projetos de instalações citados. Quanto à compatibilização, ambos podem participar, inclusive um terceiro profissional pode ser contratado para esse fim. A norma *NBR 16.636 - Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos* (ABNT, 2017) estabelece os objetos que compõem um Projeto Arquitetônico. Dentre eles, devem constar as especificações relativas aos componentes, materiais, equipamentos e mobiliário, seu uso, operação e manutenção; bem como as explicações relativas ao desempenho.



Reflita

Sabendo-se as atribuições dos diferentes projetistas, quais os requisitos importantes que balizam suas escolhas quanto a um determinado sistema?

Até agora procurou-se desenvolver um entendimento da atribuição dos envolvidos nos diversos projetos de um empreendimento, bem como das implicações dessa responsabilidade. A partir dessa compreensão, serão apresentadas algumas condições que possam nortear as escolhas desses profissionais.

Como é de se imaginar, custos, conhecimentos sobre as técnicas e prazos são grandes motivadores durante a definição dos sistemas que compõem a edificação. Rodrigues e Ruschel (2002) constataram em sua pesquisa que, em habitações de interesse social, o perfil das técnicas e dos materiais especificados era fortemente relacionado a sua **tradição** no mercado, seu **custo** e **facilidade** de aplicação.

Ainda que o custo pese nas decisões de projeto, outros fatores também estão presentes, tais como **exigências** de contrato, **determinação** legal, **legislação urbana** específica, etc. Segundo Rodrigues e Ruschel (2002), nas construções de baixo custo, a concessão do financiamento pela Caixa Econômica Federal está condicionada à especificação de cerâmicas e azulejos como material de acabamento em determinados ambientes.

Flores (2011) aborda a questão da escolha de materiais na construção civil pelo ponto de vista ambiental e sustentável, já que é um tema cuja importância é cada vez maior. A autora deixa claro que cada escolha é sustentável em contextos específicos, pois é impactada por diversos fatores, tais como: **função** e uso do sistema, **local** de aplicação, **localização** da obra, **hábitos** dos futuros moradores, etc. Pode-se dizer que esses fatores também constituem as diretrizes e afetam os requisitos que os projetistas devem levar em conta. No texto, ela apresenta diretrizes gerais para a escolha de materiais sustentáveis, diretrizes estas que serão explanadas a seguir.

Segundo Flores (2011), o primeiro aspecto relevante é o quanto o material consome de **matéria-prima natural**. Nesse sentido, é desejável que se opte por aqueles que consomem menos os recursos não-renováveis de que a Terra dispõe, tais como combustíveis fósseis, minerais, etc.

Relevante também é conhecer o nível de **emissão de poluentes**, principalmente **CO₂**, por trás do processo produtivo dos componentes e preferir aquelas indústrias que excedem os cuidados mínimos exigidos por lei.

Além da emissão de poluentes, relevante é a análise da **toxicidade** dos componentes de uma edificação e seus efeitos à saúde humana. Mesmo o momento de **descarte** precisa ser considerado, pois pode haver contaminação de solo, água, ar, etc.

Em seguida, a autora aborda a importância de se considerar o **consumo de energia** na produção do item, optando-se por aqueles que possuem menor impacto energético ao se observar toda a sua cadeia, desde a extração dos recursos, do beneficiamento, até sua entrega.



Exemplificando

Cunha (2016) compara os níveis de emissão de CO_2 para três tipos diferentes de edificações, conforme o tipo de alvenaria: em blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e blocos de concreto. A autora considerou, na quantificação, as etapas de fundação, alvenaria, estrutura, revestimento e esquadrias. A Tabela 4.1 resume os valores alcançados na pesquisa.

Tabela 4.1 | Emissões de CO_2 por tipo de edificação em toneladas

Etapas	Blocos cerâmicos	Blocos de solo-cimento	Blocos de concreto
Fundações	1.707,58	1.707,58	1.707,58
Alvenarias	234,64	153,62	377,80
Estrutura	1.386,81	1.386,81	1.386,81
Revestimentos	319,88	-	319,88
Esquadrias e ferragens	-641,06	-641,06	-641,06
Emissão total	3.007,85	2.606,95	3.151,01

Fonte: Cunha (2016, p. 95).

Com base nos dados da tabela, considerando apenas o aspecto da emissão de dióxido de carbono, uma edificação em blocos de solo-cimento seria a opção com menor emissão de CO_2 , seguido pelo sistema construtivo em blocos cerâmicos.

Além disso, observa-se que a etapa de fundação é a que mais emite CO_2 , o que poderia justificar o uso de um cimento com menor emissão desse gás.

Diversos desses aspectos devem ser pensados, inclusive para a **embalagem** do item: como ela é pensada, quais os impactos associados a ela, etc.

Como a etapa de **transporte** emite grande quantidade de CO₂, além de seus outros impactos agregados, sugere-se que os projetistas conheçam a cadeia de transporte dos itens especificados. Nesse contexto, é desejável que o produto **valorize a economia local** e que sua produção se situe próxima da extração da matéria-prima a fim de que a população local se conscientize quanto aos impactos socioambientais na região.

A vida útil dos componentes e sistemas precisa ser garantida pelos projetistas que cuidarão de especificar itens mais **duráveis** e mais **versáteis**. A durabilidade afeta também a segurança das pessoas, ao utilizarem a edificação, e a versatilidade diz respeito à capacidade que um sistema deve ter para atender plenamente o usuário sob diferentes circunstâncias. Essas circunstâncias podem advir de diferentes condições climáticas, por exemplo. Estendendo-se esse raciocínio, observa-se que o profissional precisa estar atento também ao momento da **manutenção**, se a troca de peças é simples e viável, seus custos, etc.

Por fim, a escolha entre diversas metodologias construtivas deve priorizar aquela que gere menos **resíduos** e entulhos. Nos casos inevitáveis, todo o lixo deve ser separado, por meio de uma gestão no próprio canteiro de obras, e seu descarte obedecer à legislação municipal.

Os requisitos elencados por Flores (2011) refletem uma exigência cada vez maior do Estado, dos usuários, bem como de outras entidades interessadas em que se promova um desenvolvimento sustentável. Contudo, para além da esfera ambiental, esses cuidados garantem uma melhoria na qualidade final da edificação.

Nakamura (2014) explica que os critérios para especificação de sistemas construtivos envolvem seu **desempenho** e sua **durabilidade**, disponibilidade de **mão de obra** devidamente **treinada** quanto à execução dos serviços, facilidade e custos de **manutenção**.

Importante destacar a atuação do Sistema de Avaliações Técnicas (SINAT), uma iniciativa mediada pelo Governo Federal que visa avaliar o desempenho de sistemas inovadores cuja normatização específica, no Brasil, é deficiente. A ação tem o objetivo de estimular

a inovação tecnológica no país, contribuir com a tomada de decisões por parte de projetistas, orientando quanto aos critérios mínimos de desempenho de um determinado processo. A aptidão técnica do processo é comprovada pela emissão de um Documento Técnico de Avaliação (DATEc) que é fornecido pelo SINAT.

Já o SIMAT (Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos) é uma iniciativa voltada para a qualificação do segmento das empresas que fornecem para a Construção Civil. Ele visa contribuir com o aumento da qualidade e inovação dos produtos, com a melhoria na produtividade e com a competitividade no setor e nas edificações como um todo. Suas ações objetivam garantir que os materiais atendam aos requisitos de segurança, economia, durabilidade e sustentabilidade. As informações e resultados levantados são de caráter público de forma que a população saiba o desempenho das empresas participantes.

O responsável pela especificação de um método construtivo inovador deve pesquisar exemplos de sua aplicação, deve visitar locais e deve informar-se sobre o assunto; além disso, deve orientar-se sempre pelo disposto na NBR 15.575 (ABNT, 2013), norma que é o guia do projetista, na medida em que apresenta os requisitos do usuário quanto ao desempenho das edificações e seus subsistemas.



Assimile

Os requisitos técnicos para a escolha de sistemas construtivos, técnicas e materiais podem ser sistematizados em

- Custos.
- Conhecimento técnico e qualificação da mão de obra.
- Exigências legais.
- Uso específico e condições de contorno da obra.
- Geração de impactos ambientais.
- Durabilidade, desempenho e manutenção.

Compatibilização dos projetos: conceitos, metodologias e sua importância

Depois de definidos os sistemas construtivos, localização dos ambientes, revestimentos, etc., no Projeto Arquitetônico, seguem-se as decisões acerca das demais disciplinas: solução estrutural, projetos de instalações e sistemas de comunicação.

Segundo a NBR 16.636 (ABNT, 2017) cabe ao coordenador geral do projeto definir-lhe o escopo geral e mediar a contratação dos profissionais envolvidos. Essas diretrizes devem ser seguidas por cada profissional envolvido nessa etapa. A norma chama esse fluxo de troca de informações entre as diferentes disciplinas de **inter-relacionamento** das atividades técnicas.

Essa etapa é delicada, porque exige a perfeita integração entre o que cada um dos projetistas envolvidos definiu. Nesse sentido, diz-se que os projetos precisam ser **compatibilizados** por meio de uma eficiente **coordenação** entre os mesmos. Contudo, nem sempre essa é a realidade que se verifica na prática, já que é comum que cada projeto seja elaborado quase que de maneira independente, resultando em interferências difíceis de solucionar e graves problemas para a edificação. Segundo Correia et al. (2017), é como se o projeto fosse uma etapa isolada do empreendimento, pois seu prazo de execução, custos e importância são, muitas vezes, desconsiderados.

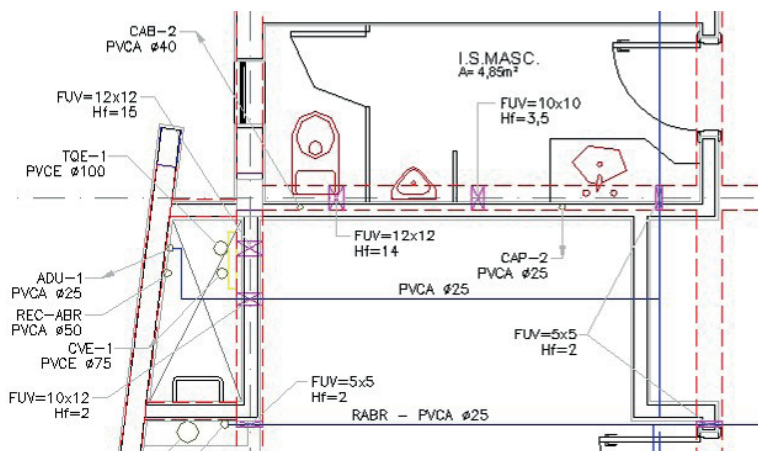


Exemplificando

A Figura 4.7 mostra a sobreposição dos projetos estrutural e de instalações hidrossanitárias. É possível perceber a importância da correta locação da passagem da tubulação e do posicionamento do vaso e pias, para que não haja conflitos com os elementos estruturais.

As linhas pontilhadas em vermelho indicam as vigas, em rosa estão os furos necessários à passagem da tubulação. Esses furos são executados no momento da concretagem, por isso, é bastante importante que sua locação, no projeto estrutural, coincida com o previsto no projeto de instalações.

Figura 4.7 | Sobreposição estrutura e instalações hidrossanitárias



Fonte: <<https://bit.ly/2LAYCUZ>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

Correia et al. (2017) apresentam problemas em edificações que se originaram na etapa de projetos.

A etapa de locação da obra é bastante passível de problemas que podem impactar diversas outras fases, gerar erros estruturais, diminuir dimensões internas dos ambientes, etc. O projeto deve ser bem detalhado quanto às cotas, localização dos elementos, distâncias, pontos de referência, etc. Como ela se processa no momento em que ainda quase não há estrutura de apoio, as referências são escassas. Essa situação exige bastante conhecimento e experiência da equipe que realizará a locação no canteiro. Nesse caso, fica clara a relevância do entrosamento entre as equipes dos projetos envolvidos a fim de se evitem inconsistências entre as informações que alimentam o trabalho do projetista de locação.

Os autores refletem também sobre os impactos das alvenarias, estruturas e outras etapas sobre as instalações elétricas, hidráulicas, de gás, ar condicionado, etc. Segundo Calçada (2014, apud CORREIA et al., 2017), as instalações sofrem grande interferência dos demais projetos se não houver entrosamento das equipes.



Durante o planejamento de uma obra, negligenciou-se a compatibilização entre os projetos de estrutura, vedações e instalações elétricas. Como resultado disso, ao se executarem as alvenarias, conforme o projeto, percebeu-se que as terminações de alguns eletrodutos, por onde os cabos da instalação elétrica passam, coincidiam com a entrada (porta) de um dos ambientes da edificação. A Figura 4.8 ilustra uma situação semelhante à relatada.

Figura 4.8 | Eletrodutos saindo na soleira da porta



Fonte: Corrêa (2015, p. 4).

Pode-se inferir que muitos dos fatos relatados pelos autores se relacionam também à falta de gestão e coordenação entre as diferentes disciplinas.

Nascimento (2014) apresenta algumas definições e técnicas de compatibilização que serão discutidas a seguir.

Segundo fontes de pesquisa do autor, a compatibilização pode ser entendida como uma atividade de gerenciamento e integração de projetos correlatos em busca da adequação entre eles e do alcance do padrão demandado pelo Sistema de Gestão de Qualidade da obra.

Outra definição presente no texto de Nascimento (2014) considera que se trata do processo de sobreposição dos projetos em busca das interferências. Faz parte desse entendimento a promoção de reuniões entre os interessados em busca da solução dessas interferências.

Por fim, um aspecto importante relatado pelo autor é a conciliação entre os interesses e demandas individuais dos projetistas e as necessidades do empreendimento como um todo. Dessa maneira, os profissionais passam a trabalhar de forma **colaborativa**.

Uma técnica descrita por Nascimento (2014) é a **Extranets** a qual se baseia na comunicação entre os projetistas e o desenvolvimento de um ambiente colaborativo. Essa comunicação pode acontecer, na maioria das vezes, via e-mail, o que possibilita a troca de arquivos e informações. Contudo, essa metodologia pode gerar acúmulo de dados, confusões entre as revisões dos projetos, e, por isso, demanda uma boa organização e gestão do processo.

Outra maneira de conduzir o processo de compatibilização é a **Sobreposição de Projetos** por meio de ferramentas computacionais com a criação de um modelo 3D único alimentado com todas as informações dos projetistas. Essa metodologia pode ser prejudicada pela resistência dos envolvidos e falta de treinamento nas ferramentas específicas.

É comum também a coordenação via **Lista de Checagem**, em que se encontram as informações mais relevantes a serem lembradas e conferidas durante as atividades de projeto. Normalmente essas listas são elaboradas com base na experiência dos envolvidos, em problemas já presenciados por eles, mas ela pode ser constantemente alimentada.

Nada impede, claro, que técnicas simultâneas sejam empregadas.

Já Monteiro et al. (2017) relatam algumas ferramentas computacionais disponíveis no mercado com vistas a integrar os projetos de uma construção: Autodesk Revit®, ArchiCAD®, Tekla Structures®, etc.

O conceito por trás dessas ferramentas é a metodologia chamada de BIM (*Building Information Modeling*), na qual empregam-se ferramentas computacionais capazes de gerar um banco de dados retroalimentado pelos profissionais envolvidos.

Os projetistas inserem os projetos e informações, que compõem um todo tridimensional capaz de armazenar dados relativos aos materiais e seus quantitativos. Esses programas devem ser capazes ainda de retornar informações úteis às outras etapas do empreendimento: planejamento, orçamentação, execução, etc. Por meio das ferramentas que empregam essa metodologia, é possível criar, gerenciar e acompanhar o cronograma da obra, com base no banco de dados criado para o empreendimento.



Pesquise mais

Pesquise mais sobre a compatibilização de projetos, profissionais envolvidos, responsabilidades, erros comuns, etc, no texto a seguir:

LOTURCO, Bruno. Projetos coordenados. Técnica, [s.l.], v. 135, p.1-6, jun. 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2om6awQ>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

Sem medo de errar

Lembre-se de que você faz parte da equipe contratada para implantar o SGQ em uma construtora e será o gestor do time que cuidará desse cliente.

Durante a reunião com a equipe e com os projetistas da empresa cliente, você orientou que todos discutissem sobre as atribuições do arquiteto e demais projetistas na escolha dos materiais e processos construtivos.

A conversa com eles foi bastante produtiva, todos participaram e ofereceram suas considerações e conhecimentos. Com isso, vocês puderam sistematizar que os arquitetos atuam no segmento de **Urbanismo, Interiores, Paisagismo, Patrimônio Histórico, Planejamento Urbano e Conforto Ambiental**, no que concerne à elaboração dos projetos, tanto de construção, como de reforma, assim como a coordenação e compatibilização desses projetos com os complementares.

No que diz respeito aos outros profissionais projetistas, como há diferentes modalidades de engenharia, cada uma dentro do seu campo específico permite a atuação em:

- Gestão, supervisão, coordenação, consultoria.
- Estudos, planejamento.
- Obra ou serviço técnico.
- Vistorias e perícias.
- Ensino e pesquisa.
- Elaboração de orçamento.
- Desenho técnico.

Tendo em vista a atuação desses profissionais, durante a reunião você instruiu os demais participantes a ampliar o raciocínio aos requisitos presentes nas especificações de materiais e processos construtivos.

Muitos dos presentes participaram e vocês chegaram à conclusão de que a escolha dos sistemas e materiais são motivados pelo custo, pelo conhecimento disponível, pela mão de obra treinada e pelas condições específicas da obra. Adicionalmente, como o assunto da Norma de Desempenho (ABNT, 2013) foi levantado, alguns disseram que durabilidade, desempenho e manutenção são também critérios a que os projetos devem buscar atender.

Os presentes gostaram da ideia e acharam bastante válido esse processo de sistematização, porque pode contribuir com a elaboração dos procedimentos e, posteriormente, com *check list* do SGQ.

Por fim, com o objetivo de discutir a compatibilização dos projetos e suas ferramentas, você apresentou a importância desta como forma para inter-relacionar as disciplinas, inclusive quando há projetos contratados em outros escritórios.

Os presentes compreenderam bem que se trata de um processo bastante importante, porque visa integrar os projetos em busca das interferências.

As técnicas empregadas no mercado com vistas à coordenação dos projetos se baseiam na comunicação entre os projetistas, por meio da colaboração, na troca de informações. Além disso, faz-se a sobreposição dos projetos, empregando-se ferramentas computacionais ou manuais. É conhecida também a metodologia da lista de checagem com os pontos a serem lembrados, com base em eventos e experiências anteriores.

Algumas das ferramentas computacionais disponíveis no mercado com vistas a integrar os projetos de uma construção são: Autodesk Revit®, ArchiCAD®, Tekla Structures®, etc.

O conceito mais moderno de compatibilização de projetos é a metodologia BIM (*Building Information Modeling*). Por meio de ferramentas computacionais podem ser gerados bancos de dados e um modelo 3D da construção. Essa solução permite a visualização das interferências e da gestão das informações.

Avançando na prática

BIM e a compatibilização de projetos

Descrição da situação-problema

Você é um profissional da Construção Civil com bastante experiência em projetos diversos e com atuação em obra. Nesse momento, você oferece consultorias em novas tecnologias disponíveis no mercado. Uma faculdade de pós-graduação contratou-o para apresentar uma palestra em um seminário sobre as ferramentas computacionais de gestão e compatibilização de projetos. Você iniciou sua fala perguntando aos presentes se eles já estavam familiarizados com a metodologia BIM e explicando quais os princípios e ferramentas computacionais que utilizam suas premissas.

Resolução da situação-problema

Você percebeu que os profissionais presentes detinham um conhecimento vago sobre o assunto, o que lhe permitiu ampliar mais os conceitos e contribuir com esses colegas.

Você explicou que o BIM não é uma ferramenta, e sim um conceito, que pode estar presente em diversas ferramentas computacionais disponíveis no mercado. Alguns exemplos de programas famosos são: Autodesk Revit®, ArchiCAD®, Tekla Structures®.

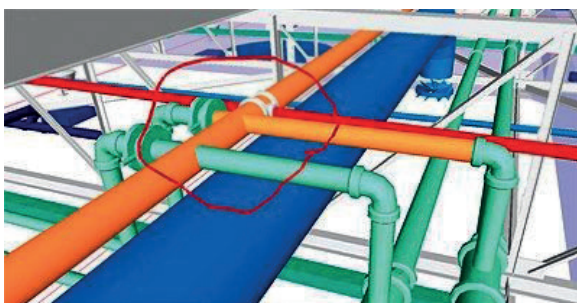
Os princípios da metodologia BIM se baseiam na integração dos diversos projetos que compõem uma construção, bem como todas as outras informações acerca dos materiais, custos e quantidades. É relevante destacar também que a metodologia permite criar, gerenciar e acompanhar o cronograma da obra. As ferramentas devem ser

capazes de gerir todas essas informações e retornar, no nível do projeto, uma visualização do todo, geralmente em 3D. O modelo tridimensional, alimentado por cada projetista, permite aos envolvidos detectar problemas, interferências, levantar quantidades, etc.

Faça valer a pena

1. A metodologia BIM tem ganhado espaço no mercado devido às inúmeras vantagens que oferece, mas resistências a ela ainda são encontradas entre os profissionais. A Figura 4.9 ilustra uma aplicabilidade desse sistema.

Figura 4.9 | Soluções BIM



Fonte: Cichinelli (2012, p. 1).

Com base em seus conhecimentos sobre o assunto e com o auxílio da figura anterior, marque a alternativa correta no que diz respeito às aplicações do método BIM.

- a) Cada projeto gera um modelo bidimensional individual, depois disso, cada profissional envolvido gera uma lista de checagem dos problemas (como o exemplo da figura) e compartilha com os demais envolvidos.
- b) O BIM se aplica exclusivamente à compatibilização dos projetos e geração de um modelo tridimensional.
- c) O método busca a antecipação de interferências, como a mostrada na figura acima que causa erros no levantamento de quantitativos, principalmente.
- d) A visualização e o entendimento completo do projeto permite, entre outras coisas, a compatibilização dos projetos, de maneira a se evitem interferências como a destacada na figura acima.
- e) As interferências, tais como mostrado na figura acima, devem ser detectadas durante o projeto e passadas para a equipe de obra solucionar em campo.

2. A respeito da metodologia BIM, são feitas as seguintes afirmações:

- I. O BIM é um software computacional cuja tecnologia é a mais moderna disponível no mercado para compatibilização de projetos e geração de projetos tridimensionais.
- II. O BIM é um modelo, aplicável a alguns softwares disponíveis no mercado, que visa integrar os diferentes projetos de uma edificação e as informações relativas ao empreendimento.
- III. Os programas que utilizam o conceito BIM permitem que a equipe trabalhe simultaneamente, alimentando as informações dos respectivos projetos. As informações armazenadas permitem o levantamento de quantitativos, para a etapa de orçamentação, de maneira mais assertiva.
- IV. BIM é, principalmente, a representação gráfica em 3D de todos os projetos, o que facilita a impressão ou plotagem, e que serve para, posteriormente e individualmente, a equipe sobrepor os projetos e identificar as interferências.

Com base em seus conhecimentos, analise as afirmações anteriores e marque a alternativa correta:

- a) Estão corretas as afirmativas I, II e III.
- b) Estão corretas as afirmativas I e IV.
- c) Estão corretas as afirmativas I, II e IV.
- d) Estão corretas as afirmativas I e II.
- e) Está correto apenas o que se afirma em II e III.

3. Um projetista foi contratado para elaborar o Projeto Arquitetônico de uma edificação. Dentre as suas prerrogativas está a definição de materiais e sistemas a serem empregados na construção. Sobre essa etapa, são feitas as afirmações a seguir:

(18) O requisito mais importante e primordial, em todo tipo de obra, é o custo, pois ainda que uma solução seja tecnicamente mais viável, esse profissional deverá optar pela de custo mais baixo.

(22) Eventualmente esse projetista pode ter a intenção de especificar uma solução para a edificação em questão, mas se ele se deparar com a baixa qualificação da mão-de-obra, poderá buscar outra alternativa construtiva, ou se o orçamento permitir, solicitar o treinamento da equipe.

(04) A Norma de Desempenho força a que esse profissional busque soluções com garantia de durabilidade dos sistemas, que atendam ao desempenho demandado pelos usuários e que permita sua conservação da maneira mais simples possível.

(27) O profissional encarregado da elaboração do Projeto Arquitetônico do empreendimento citado pode, com base apenas em projetos de outros prédios, definir a melhor solução construtiva para esse caso.

Com base em seus conhecimentos, reflita sobre as frases anteriores e marque a alternativa que apresenta a soma dos números correspondentes às afirmações corretas.

- a) 26.
- b) 44.
- c) 53.
- d) 49.
- e) 67.

Seção 4.3

Testes de desempenho

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Chegamos à última seção do livro Tecnologia das Construções II. Você, agora, seguramente, possui uma compreensão bem mais ampla dos materiais, de algumas técnicas, sistemas e procedimentos relacionados às obras. Certamente esse conhecimento fará grande diferença quando lhe forem demandadas decisões e ações nas situações do seu cotidiano como profissional.

Lembre-se de que nas seções anteriores da Unidade 4, falamos bastante sobre o controle tecnológico em materiais, normas aplicáveis e as atribuições dos profissionais envolvidos na especificação de materiais e técnicas. Nessa seção, daremos mais atenção aos materiais empregados em uma construção que estejam relacionados aos serviços mais relevantes. Nesse sentido, você terá a oportunidade de conhecer alguns procedimentos para controle tecnológico a fim de garantir a qualidade desses insumos.

Para exemplificar a aplicação desses conceitos, apresentamos uma situação na qual você é parte da equipe contratada para implantar o Sistema de Gestão da Qualidade em uma construtora.

A realização da segunda etapa de implantação do SGQ na construtora será feita nas obras, diretamente com os gestores, mestres-de-obras, encarregados, estagiários e demais colaboradores.

Você, como profissional encarregado de gerir a implantação, definiu uma reunião diagnóstico em cada obra, a fim de transmitir aos envolvidos, em linhas gerais, como o processo será conduzido.

Em reunião com o gestor de cada empreendimento, vocês debateram o controle de qualidade dos materiais e serviços em uma obra. Nesse contexto, conversaram também sobre Sistema de Gestão da Qualidade aplicado à Construção Civil e, como forma de induzi-los a pensar sobre o assunto, propôs alguns pontos relevantes:

- O controle tecnológico dos materiais de obra, bem como os testes aplicáveis a eles.
- Testes a serem realizados no controle do concreto e do aço para emprego na Construção Civil.
- Controle tecnológico de blocos e tijolos.
- Os procedimentos para controle dos materiais de revestimento.

A fim de se aprofundar nos pontos citados, você precisará entender os critérios para escolha dos materiais que passam por controle tecnológico antes de serem aplicados na obra. Adicionalmente, deverá conhecer alguns dos ensaios e testes aplicáveis a cada um e como se dá esse monitoramento no canteiro.

Não pode faltar

Alguns materiais que exigem controle tecnológico

Diversos materiais estão envolvidos nas etapas de construção de uma edificação; eles compõem parte fundamental dos serviços juntamente com a mão de obra, equipamentos e ferramentas, por isso seu controle de qualidade é tão importante, já que o desempenho do produto final está diretamente relacionado a esses insumos, que variam conforme a etapa na qual se encontra a obra.



Exemplificando

Suponha que uma obra esteja na etapa de locação dos elementos estruturais no solo. Para esse serviço são empregadas peças de madeira, pregos e linhas, os quais precisam apresentar bom desempenho para essa finalidade. Por isso, no momento da entrega de um carregamento de madeira no canteiro, o responsável pelo recebimento (almoxarife) exige o certificado de procedência e tratamento da madeira, por exemplo.

Um outro empreendimento, que está na fase de execução do reboco nas alvenarias, recebe grande quantidade de argamassa industrializada, que deve apresentar na embalagem os selos de qualidade específicos.

No momento da entrega do carregamento dos sacos de argamassa, e isso se aplica a praticamente todos os materiais, o responsável pelo recebimento deve conferir todos os dados que estão na Ordem de Compra (em seu poder) com as informações da nota de entrega da carga.

Após o aceite do material, a obra pode realizar testes de resistência dessa argamassa para conferir se seus parâmetros mecânicos estão de acordo com o prometido e com aqueles demandados em projeto.

Segundo consta no Regimento Geral do SiAC do *PBQP-Habitat* (BRASIL, 2018), a construtora é responsável por elaborar a lista dos materiais a serem controlados. O texto citado explicita que, de uma forma geral, essa lista deve ser representativa dos materiais envolvidos em todos os serviços relacionados à construção e que possam afetar sua qualidade.

Os serviços dispostos nesse texto são:

- Compactação de aterro e locação de obra.
- Execução de fundação.
- Execução de forma, armadura, concretagem de peça estrutural e de alvenaria estrutural.
- Execução de alvenaria de vedação e de divisória leve, revestimento interno e externo, em ambientes secos e úmidos.
- Execução de contrapiso, revestimento de piso interno e externo, em ambientes secos e úmidos, forro, impermeabilização e de cobertura em telhado.
- Serviços relacionados às esquadrias.
- Execução de guarda-corpo.
- Execução de pintura interna e externa.
- Execução das instalações elétricas, hidrossanitárias, gás, colocação de bancadas, louças e metais sanitários.

Sendo assim, todos os materiais correlatos a esses serviços demandam controle no recebimento em obra.



Exemplificando

Considerando os serviços citados anteriormente, podemos inferir os materiais que devem passar por controle e inspeção.

Por exemplo, durante a execução das instalações elétricas e hidrossanitárias, já no momento do recebimento, os materiais devem passar por controle rigoroso, de maneira a garantir sua qualidade em serviço. Nesse sentido, no que diz respeito às instalações elétricas, cabos, dutos e demais itens devem ser inspecionados durante seu recebimento, e os fornecedores devem garantir o atendimento aos parâmetros especificados nas normas correlatas. Instalações hidrossanitárias, tubos, conexões, colas, acabamentos e registros também passam por controle, o qual é registrado por meio de fichas específicas disponibilizadas para os responsáveis do setor de suprimentos da obra. Esses colaboradores devem receber treinamento adequado a fim de preencherem corretamente as fichas, saberem identificar as não-conformidades nos produtos e materiais e relatá-las no documento.

Testes aplicáveis ao concreto e ao aço

Para as estruturas de concreto armado, o projetista estrutural especifica alguns parâmetros mecânicos mínimos a serem atendidos, além do fator a/c . Os principais parâmetros usualmente são: resistência à compressão (f_{ck} - em MPa), módulo de elasticidade (E_{ci} - em GPa) e abatimento do tronco de cone (*slump* - em mm ou cm).

A medida da resistência à compressão é o principal parâmetro mecânico do concreto, pois indica o quanto de carga à compressão o material suporta por unidade de área. Além disso, essa propriedade é usualmente empregada para a determinação de outras por meio de equações nas normas técnicas da ABNT.

O módulo de elasticidade relaciona a tensão aplicada ao concreto à sua deformação na fase elástica, que é aquela na qual, ao se aplicar uma carga, o material se deforma, mas que retorna ao estado original quando cessado o carregamento.

O *slump test* serve para se determinar a trabalhabilidade do material e sua consistência no estado fresco. Esse conhecimento

é importante porque determinadas aplicações do concreto exigem dele maior ou menor fluidez. Esse ensaio é obrigatório ao se receber o concreto na obra.

O ensaio de compressão é regido pela *NBR 5.739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos* (ABNT, 2018), que determina: o procedimento completo para a realização dos testes, equipamentos empregados, dimensões dos corpos de prova (cp's), interpretação dos resultados e cálculo da resistência. O teste oferece a força máxima de compressão que pode ser aplicada ao cp de concreto. Esse valor é utilizado para cálculo da tensão por meio da relação entre a força e a área da seção transversal da peça, expressa em:

$$\sigma = fc = \frac{F}{A} \text{ (em kN/mm}^2, \text{ kgf/mm}^2 \text{ ou MPa)}$$

Na equação acima,

σ : é a tensão em kN/mm², kgf/mm² ou Mpa.

fc: é a resistência à compressão do cp de concreto.

F: é a força máxima aplicada.

A: é a área da seção transversal do cp.

O ensaio para obtenção do módulo de elasticidade do concreto é realizado conforme prescrições da norma *NBR 8.522 – Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão* (ABNT, 2017).

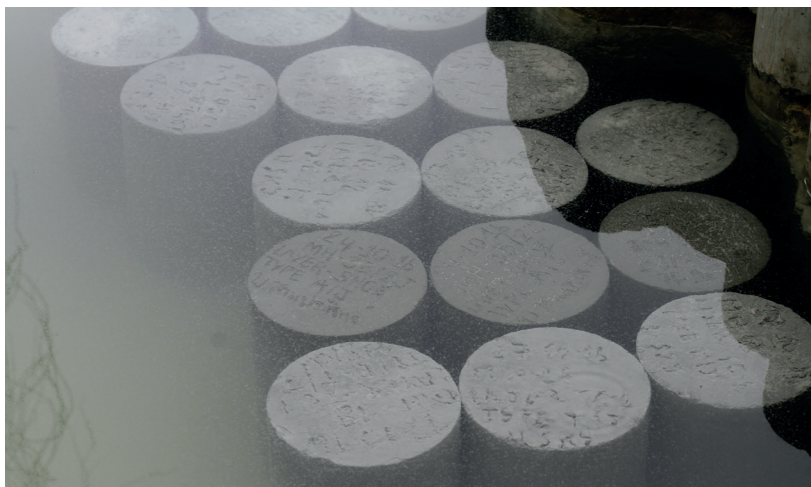
Os cp's de concreto são moldados em formas, conforme as mostradas na Figura 4.10 abaixo, e adquirem o formato que pode ser observado na Figura 4.11. De acordo com a norma *NBR 5.738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova* (ABNT, 2016), para os cp's cilíndricos com base de 100 mm e altura de 200 mm, o concreto é disposto no molde em duas camadas, as quais devem ser adensadas por meio de 12 golpes com haste metálica. Alternativamente, o adensamento pode se dar por meio de mesa vibratória.

Figura 4.10 | Corpos de prova de concreto dentro do molde metálico



Fonte: <<https://bit.ly/2PQK9ms>>. Acesso em: 30 ago. 2018

Figura 4.11 | Corpos de prova desmoldados em processo de cura



Fonte: iStock.

O equipamento (prensa para ensaios mecânicos) empregado para a realização dos dois ensaios apresentados anteriormente é mostrado na Figura 4.12.

Figura 4.12 | Configuração geral do ensaio de compressão



Fonte: <<https://bit.ly/2wAtRoS>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Por fim, o valor do abatimento do tronco de cone é obtido realizando-se o ensaio, segundo o indicado pela *NBR NM 67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone* (ABNT, 1998). O molde para esse teste é mostrado na Figura 4.13. Ele deve ser preenchido em três camadas adensadas com 25 golpes de haste metálica. A forma é retirada e a diferença da altura da massa de concreto com relação ao molde é medida de acordo com o ilustrado na Figura 4.14. Esse valor é o abatimento do concreto.

Figura 4.13 | Moldagem do concreto para slump test



Fonte: iStock.

Figura 4.14 | Medida do abatimento do tronco de cone



Fonte: iStock.



Assimile

A moldagem e a desforma dos cp's de concreto acontece na obra, contudo sua cura e ensaio ocorrem em empresa contratada para esse fim. Esse procedimento é chamado de controle tecnológico do concreto.

O *slump test*, por outro lado, é realizado na obra, no momento em que o caminhão-betoneira chega ao canteiro. Ele é pré-requisito para a liberação do uso do material.

Todas as informações relativas aos testes nas amostras de cada caminhão betoneira devem ser arquivadas, e o gestor da obra deve ter ciência do local de lançamento de cada um a fim de que se possa rastrear as peças com eventuais problemas estruturais, caso a resistência não seja atingida.



Pesquise mais

Leia as quatro normas descritas anteriormente que lhe indicarão o passo a passo para a realização dos ensaios e interpretação dos resultados. Adicionalmente, seguem alguns textos que poderão auxiliá-lo:

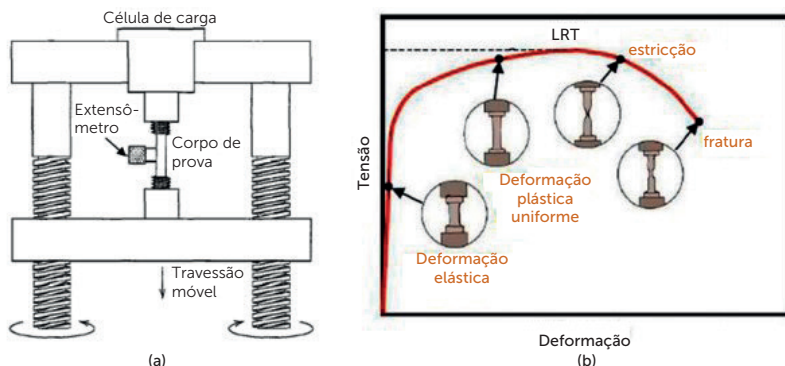
SILVA, Paulo Fernando A. Controle tecnológico do concreto em obras. **Concreto & Construções**, São Paulo, v. 86, n. 45, p. 24-28, Ibracon – Instituto Brasileiro de Concreto, jun. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2PgOLBl>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM OBRA. **Testes de qualidade do concreto usado recebido em obra.** Porto Alegre, UFRGS, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2wwQniB>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

BAUER, Elton; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa; LEAL, Antonio Carlos Ferreira de Souza. Valores do módulo de elasticidade de concretos comerciais da região do Distrito Federal. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Entac, 2012. p. 3174 - 3182. Disponível em: <<https://bit.ly/2onu2jS>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

Com relação ao aço para concreto armado, sua propriedade mais significativa é a resistência à tração, obtida por meio do ensaio de tração. O ensaio fornece a força máxima a que o cp resiste antes de escoar. A tensão máxima (f_y) do aço é calculada de maneira semelhante à do concreto: pela relação entre força e área da seção transversal. Com o uso de um computador ligado à máquina de ensaio, é possível determinarem-se os pontos que formam uma curva tensão X deformação, conforme pode ser observado na Figura 4.15, que também mostra o esquema da máquina de ensaio. Caso a prensa não registre o deslocamento no comprimento da amostra, faz-se necessário o uso de um extensômetro posicionado no cp.

Figura 4.15 | Ensaio de tração no aço: (a) esquema da máquina com o cp e o extensômetro; (b) curva tensão x deformação



Fonte: Bertoldi (2014, p. 3).

Assim como acontece com o concreto, pode-se observar que o aço apresenta uma fase elástica, na qual as deformações não são definitivas. Isso significa que nessa fase, ao se retirar a carga, o aço retornaria ao tamanho original. Após essa etapa, segue-se a plástica, na qual as deformações são definitivas. Ao se observar a Figura 4.15 (b), percebe-se que o corpo de prova apresenta um afinamento da seção transversal, chamado de estrição, que se processa antes que ocorra a ruptura da amostra. Contudo, o aço das estruturas é calculado para trabalhar apenas na fase elástica, ou seja, em uma situação real a armadura não pode sofrer estrição ou romper.



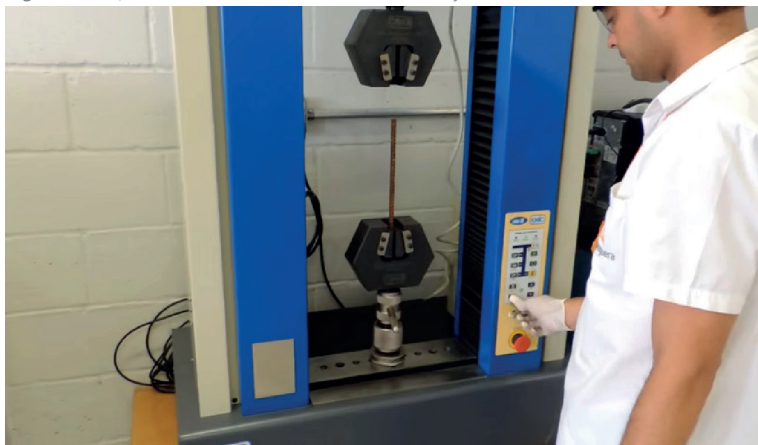
Pesquise mais

Assista ao vídeo a seguir e acompanhe o passo a passo para a montagem e execução do ensaio de rompimento do cp de aço à tração:

ANHANGUERA – UNIDADE 2 / CAMPO GRANDE – MS. Tração Emic DL-10000 100KN. Disponível em: <<https://bit.ly/2NBy03z>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

A Figura 4.16 mostra a montagem do teste, com posicionamento da amostra de aço entre as garras da prensa.

Figura 4.16 | Posicionamento da amostra de aço



Fonte: adaptado de <<https://bit.ly/2NBy03z>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

A resistência de projeto do aço, f_{yd} , é obtida por meio de ensaios de tração realizados e garantidos pelo fornecedor. Sendo assim, a obra deve exigir os documentos comprobatórios de que as propriedades do material adquirido estão de acordo com a normatização.

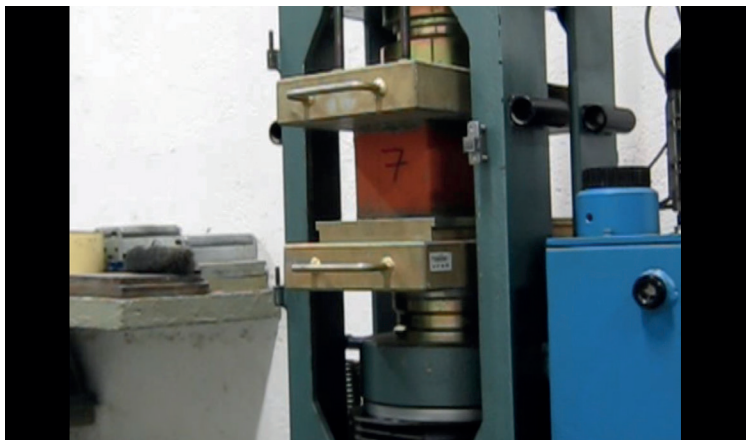
Controle de qualidade de blocos e tijolos

A norma que rege os ensaios aplicáveis aos blocos e tijolos cerâmicos, estruturais ou não, é a *NBR 15.270 – Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio* (ABNT, 2017), que indica os seguintes procedimentos:

- Dimensões efetivas das faces, espessura dos septos e paredes externas, esquadro e planeza das faces.
- Áreas bruta e líquida.
- Massa seca, índice de absorção de água e índice de absorção inicial.
- Resistência à compressão.

A Figura 4.17 exibe o posicionamento do bloco na prensa em uma situação real de ensaio à compressão, conforme a norma NBR 15270 (ABNT, 2017).

Figura 4.17 | Compressão axial dos blocos cerâmicos



Fonte: adaptada de <<https://bit.ly/2LleBvU>>. Acesso em: 30 ago. 2018.



Assimile

Costumava-se, em obras, conferir as dimensões, espessuras, esquadros e planezas, de modo que as demais características eram deixadas a cargo da garantia do fornecedor. Contudo, tendo em vista que cada vez mais há projetos residenciais que optam pelo emprego da alvenaria estrutural, cresce também a demanda por ensaios em blocos cerâmicos e de concreto. Esses testes são solicitados junto a laboratórios especializados em controle tecnológico.



Reflita

Você percebe a importância de se contar com fornecedores idôneos?

Controle de qualidade em materiais de revestimento

Silva et al. (2015) apresentam as propriedades relevantes dos materiais cerâmicos de revestimentos. Essas propriedades devem ser controladas durante o recebimento em obra por meio da conferência da embalagem, pois é onde se localizam essas informações.

As cerâmicas e porcelanatos se diferenciam quanto à:

- Absorção de água: de 0 (porcelanatos) a 10% (cerâmicas porosas).
- Resistência à abrasão superficial: expressa o desgaste da peça e varia entre 0, PEI1, PEI2, PEI3, PEI4 e PEI5, sendo que as mais resistentes são as classificadas como PEI5.
- Resistência a ataques químicos: pode ser alta, média ou baixa.
- Resistência a manchas: varia de 1 (impossível de se retirar a mancha) a 5 (maior facilidade de remoção).

A norma *NBR 13.818 – Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios* (ABNT, 1997) especifica as características que devem ser conferidas no momento do recebimento das placas cerâmicas. Algumas dessas características são dimensões e presença de desvios, espessura, retitude, ortogonalidade, empeno, etc.

A referida norma é bastante importante na medida em que traz os critérios de amostragem e ensaios aplicáveis ao controle tecnológico das placas cerâmicas. Alguns desses testes são: absorção de água, resistência à abrasão, ao manchamento e ao impacto.



Assimile

O controle tecnológico dos materiais oferece informações valiosas para que o gestor da obra possa monitorar o desempenho dos serviços em andamento por meio dos resultados (parâmetros mecânicos, por exemplo) alcançados.

Lembre-se de que todos os instrumentos utilizados nos ensaios e conferências devem possuir certificado de aferição atualizado e que garanta sua aptidão a ser empregado.



Pesquise mais

Além da norma citada, segue indicação de texto para complementar seus estudos sobre os principais ensaios aplicáveis.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **Manual Setorial de Desempenho:** Manual Setorial Orientativo para Atendimento à Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013. São Paulo: Anfacer, 2016. 81 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2wtB0HI>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

Sem medo de errar

Recorde que, na situação criada nessa seção, você é parte da equipe contratada para implantar o Sistema de Gestão da Qualidade em uma construtora. Nesse momento acontece a reunião diagnóstico em cada obra para explicar como o processo será conduzido. Nessas reuniões em cada obra vocês discutiram sobre o controle tecnológico dos principais materiais e os ensaios aplicáveis a eles.

O concreto é o material de construção mais largamente empregado em obras de edificações, por isso, foi mais fácil para

todos sistematizarem seus conhecimentos acerca dos ensaios aplicáveis e a forma de controle desse insumo em obra.

Primeiramente o responsável por receber o concreto em obra confere na nota os valores de resistência, fator *a/c*, *slump*, tipo de brita, presença de aditivos, etc., comparando-os com a Ordem de Compra, que foi elaborada com base nas especificações de projeto.

A segunda verificação por que passa o concreto é o ensaio de abatimento de tronco de cone, ou *slump test*, o qual avalia a fluidez deste em estado fresco. O abatimento é medido em mm ou cm e deve estar de acordo com o especificado pelo projetista.

Em caso de aprovação do material, segue-se à moldagem dos cp's para posterior ensaio de compressão, além de outro ensaio demandado pelo projetista. O ensaio de compressão serve para confirmar se o concreto alcançou a resistência à compressão especificada pelo projetista.

Todas essas informações devem ser arquivadas e o gestor da obra deve ter ciência do local de lançamento de cada caminha de concreto, a fim de que se possa rastrear as peças com eventuais problemas estruturais, caso a resistência não seja atingida.

Sobre o aço, o principal ensaio é o de tração, que serve para conhecer a resistência do material ao escoamento. O procedimento é executado em amostra de aço em prensa hidráulica acoplada a um computador. Em obra quem recebe o material deve conferir o tipo de aço, bitola, presença de oxidação, etc.

Em se tratando de blocos e tijolos, os gestores das obras, explicaram que, usualmente, retiram amostras dos lotes de entrega e conferem as dimensões, espessuras, esquadro e planeza das faces. Além disso, orientam o pessoal que recebe a carga a conferirem na nota e nas embalagens a resistência à compressão e se as prescrições da Ordem de Compra foram obedecidas.

Os procedimentos para controle dos materiais de revestimento envolvem a conferência das seguintes propriedades expressas nas embalagens:

- Absorção de água: de 0 (porcelanatos) a 10% (cerâmicas porosas).
- Resistência à abrasão superficial: expressa o desgaste da peça e varia entre 0, PEI1, PEI2, PEI3, PEI4 e PEI5, sendo que as mais resistentes são as classificadas como PEI5.

- Resistência a ataques químicos: pode ser alta, média ou baixa.
- Resistência a manchas: varia de 1 (impossível de se retirar a mancha) a 5 (maior facilidade de remoção).

Adicionalmente são conferidas as cores, presença de manchas, trincas, dimensões, etc., seguindo-se as prescrições da NBR 13818 (ABNT, 1997).

Avançando na prática

Controle dos materiais em obra

Descrição da situação-problema

Você é um gestor de obras e está conduzindo o processo de contratação de um novo encarregado para o setor de suprimentos da sua obra. Um dos entrevistados lhe chamou bastante a atenção porque demonstrou muito interesse no trabalho. Durante a reunião, ele lhe perguntou como se dá o processo de controle dos materiais que chegam à obra.

Resolução da situação-problema

Em conversa com o candidato a almoxarife, você lhe explicou que todas as solicitações de materiais se dão por meio de Ordem de Compra, documento que contém todas as especificações do produto e que deverá ser usado pelo contratado para acompanhar e gerenciar as entregas que chegam no canteiro.

De posse da Ordem de Compra, o almoxarife confere se os dados nela contidos estão de acordo com os do carregamento de material. Ele fiscaliza também se as quantidades entregues são as mesmas solicitadas, bem como aspectos visuais e dimensionais, quando for o caso. Os parâmetros mecânicos dos materiais não controlados pela obra são conferidos e os certificados são exigidos junto aos fornecedores.

Quanto aos materiais que passam por controle da obra, pode-se citar o concreto como o mais representativo. Quando um caminhão betoneira chega à obra, devem ser verificadas as informações

constantes na nota de transporte e essas devem ser as mesmas da Ordem de Compra. Em caso de aprovação, realiza-se o teste do *slump* do concreto, antes que este seja liberado para aplicação em obra. Se o valor estiver aceitável, moldam-se os corpos de prova, que, depois de secos são desmoldados e enviados para a empresa responsável pelos ensaios mecânicos. Em caso do *slump* não ser aprovado, o concreto não pode ser usado e o caminhão retorna para a central. Quaisquer outras não-conformidades são anotadas em ficha específica.

Lá no laboratório, os cp's passam pelo processo de cura e são ensaiados em prensa apropriada, nas datas definidas pelo projetista, em conformidade com as normas aplicáveis. Os resultados dos rompimentos são disponibilizados ao gestor da obra que os valida frente ao que foi determinado em projeto.

Caso a resistência não seja alcançada, o projetista estrutural deve ser acionado para que as providências (por exemplo, reforço) sejam adotadas. Por isso é muito importante que haja o conhecimento do local de aplicação de cada caminhão de concreto por meio de rastreabilidade.

Faça valer a pena

1. Suponha que uma obra esteja na fase de armação e concretagem das estruturas. Continuamente, esta recebe entregas de aço, para montagem da armação e do concreto no dia das concretagens. Sobre o controle desses materiais são feitas as seguintes afirmações:

- I. Durante as entregas do aço para a estrutura, o encarregado de suprimentos confere a Ordem de Compra com as etiquetas afixadas junto às barras e peças. Em seguida, ele retira amostras das peças e as encaminha para os ensaios de tração, para a confirmação de *fyd*.
- II. É muito importante que o ensaio de compressão dos cp's de concreto seja realizado para liberação da aplicação deste nas estruturas.
- III. Os valores para aceitação do concreto, no que diz respeito ao seu *slump*, são definidos pelo gestor da obra, juntamente com o encarregado do almoxarifado.

Considerando as afirmações anteriores, marque a alternativa correta.

- a) Estão corretas apenas as afirmações I e II.
- b) Estão corretas apenas as afirmações I e III.
- c) Estão corretas apenas as afirmações II e III.
- d) Apenas a afirmação II está correta.
- e) Nenhuma das afirmações está correta.

2. Durante a execução da estrutura de um edifício, os resultados dos rompimentos aos 28 dias do concreto de um caminhão não foram satisfatórios comparado ao valor definido em projeto. Diante desse fato, apresentam-se 4 possíveis soluções para o problema:

- I. O gestor da obra define a solução para o problema a partir do conhecimento do local de aplicação do concreto. Por isso é bastante importante a rastreabilidade do local de lançamento material.
- II. O projetista estrutural é comunicado e toda a concretagem do dia é condenada, pois é praticamente impossível de saber quais caminhões apresentaram problema semelhante. A partir disso, esse profissional estuda as melhores opções de reforço.
- III. O projetista estrutural é comunicado para que ele possa avaliar a melhor solução de reforço nesse caso. Contudo, para o conhecimento da peça afetada, foi imprescindível o correto controle e rastreabilidade do local de aplicação do concreto específico.
- IV. A melhor alternativa é sempre a demolição da peça afetada e nova concretagem.

Com base nas afirmativas anteriores, marque a opção correta.

- a) Apenas a afirmação I está correta.
- b) Estão corretas as afirmações II e III.
- c) Estão corretas as afirmações I e III.
- d) Estão corretas as afirmações III e IV.
- e) Apenas a afirmação III está correta.

3. Sobre os tijolos, blocos e revestimentos cerâmicos são feitas as afirmações a seguir:

(22) Pode-se relacionar algumas das propriedades dos revestimentos, na medida em que cerâmicas menos porosas apresentam baixa resistência contra o desgaste superficial.

(17) As cerâmicas PEI3 são menos resistentes à abrasão que as PEI5.

(29) Relacionando-se algumas das propriedades dos revestimentos, os porcelanatos, materiais menos porosos que as cerâmicas, tendem a manchar menos e sofrerem menos com ataques químicos.

(43) O ensaio de compressão dos blocos e tijolos cerâmicos é de responsabilidade da obra, contudo sua realização é feita em laboratório contratado para controle tecnológico do insumo.

Marque a alternativa que expressa a soma correta dos números correspondentes às afirmativas verdadeiras.

- a) 68.
- b) 111.
- c) 46.
- d) 89.
- e) 39.

Referências

ADES, Andréa Zebulun. **A Importância do Controle Tecnológico na Fase Estrutural em Obras de Edificações**. 2015. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2wzzEen>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ALBUQUERQUE, Daniela. **PBQP-H e a Norma de Desempenho NBR 15.575**. São Paulo: Templum, 2017. 34 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2N4Zlss>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

AMARO, Felipe Victor. **Gestão de suprimentos e gestão de projetos: um estudo de caso na construção civil**. 2016. 158 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Departamento de Administração, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://bdm.unb.br/handle/10483/13977#?>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **Manual Setorial de Desempenho: Manual Setorial Orientativo para Atendimento à Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013**. São Paulo: Anfacer, 2016. 81 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2wtB0HI>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 5.739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 8.522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 13.818: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **NBR 15.270: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16.636: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

AZEVEDO, Marcello de Carvalho. **Gestão de materiais e equipamentos em obra**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2PN7SE0>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

BAUER, Elton; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa; LEAL, Antonio Carlos Ferreira de Souza. Valores do módulo de elasticidade de concretos comerciais da região do Distrito Federal. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Entac, 2012. p. 3174 - 3182. Disponível em: <<https://bit.ly/2onu2jS>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

BERTOLDI, Evandro. Análise de ensaios de tração em corpo de prova de aço SAE 1020. In: SEMANA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA E ECONOMIA FAHOR, 4., 2014, Horizontina. **Anais...** Horizontina: SIEF, 2014. p. 1-10.

BEZERRA, João Sergio Simões. **Desenvolvimento de um sistema de planejamento, gestão de serviços e controle de custos em obras de construção civil.** 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2MVurYR>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

BRASIL. Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. Resolução nº 51, de 12 de julho de 2013. **CAU/BR**, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2wtlqe4>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

_____. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Resolução nº 1.048, de 14 de agosto de 2013. **CONFEA**, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2POsg7Z>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

_____. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Resolução nº 1.073, de 19 de abril de 2016. **CONFEA**, Brasília, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2oks3wG>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

_____. Ministério das Cidades. **PBQP-Habitat** – Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2PPOarB>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

CAVARZANI, Gustavo. **Aplicação de ferramentas de verificação da qualidade:** Estudo de caso de um empreendimento industrial com ênfase no item 8 da ISO 9001:2015. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2woogmk>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

CICHINELLI, Gisele C. BIM. **Construção Mercado:** Negócios de Incorporação e Construção, [s.l.], v. 127, p. 1-5, fev. 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2okpwmc>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

CORREIA, Livia Cristine Chagas. **As consequências da má compatibilização de projetos.** [s.l.], 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2wmZ2Vy>>. Acesso em: 8 jul. 2018.

CORREIA, Flaviana Silva Moraes et al. Análise dos principais problemas construtivos decorrentes de falhas de projetos: estudo de caso em Maceió - AL. **Cadernos de Graduação:** Ciências Exatas e Tecnológicas, Maceió, v. 4, n. 2, p. 57-72, nov. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2oieKN8>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

CUNHA, Iasminy Borba da. **Quantificação das emissões de CO2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais.** 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Faculdade

de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2wqyFhF>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM OBRA. **Testes de qualidade do concreto usinado recebido em obra**. Porto Alegre, UFRGS, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2wwQniB>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

FLORES, Carina Zamberlan. **Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2LFpdMd>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

HOLANDA, Fernanda Marques de Almeida. **Indicadores de desempenho: uma análise nas empresas de construção civil do município de João Pessoa** - PB. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências Contábeis, Universidade de Brasília, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, João Pessoa, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2okP0Qx>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

LOTURCO, Bruno. Projetos coordenados. **Techne**, [s.l.], v. 135, p. 1-6, jun. 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2om6awQ>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

LUNGISANSILU, Rodrigue Totolo. **A gestão da qualidade aplicada aos materiais de construção nas obras de edificações**. 2015. 133 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2N6H8jH>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. (Eds.). **Manual de Agregados para a Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/ Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, 2012.

MARCONDES, Rodrigo Bressan. **Fundamentos do sistema de gestão da qualidade aplicados aos processos produtivos de uma empresa de projetos de Engenharia e Arquitetura**. 2018. 199 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2PI1kXv>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

MIKALDO JUNIOR, Jorge; SCHEER, Sergio. Compatibilização de projetos ou engenharia simultânea: qual é a melhor solução? **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s.l.], v. 3, n. 1, maio, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2omoyxp>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

MONTEIRO, Ana Caroline Nogueira et al. Compatibilização de projetos na construção civil: importância, métodos e ferramentas. **Revista Campo do Saber**, João Pessoa, v. 3, n. 1, p. 53-77, jun. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2oLYCu6>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

NAKAMURA, Juliana. Saiba que critérios técnicos adotar na hora de escolher um sistema construtivo inovador. **Techne**, [s.l.], v. 211, p. 1-8, out. 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2oifulo>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

NASCIMENTO, José Marcos do. A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil. **Especialize – Revista On-line IPOG**, Goiânia, v. 1, n. 7, p. 1-11, jul. 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2BZZoGW>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

OLIVEIRA, Otávio J. **Curso Básico de Gestão da Qualidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2ojlJFJ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

PACHECO, Paula Marie Siqueira. **Relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão do concreto**. 2015. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

PILZ, S. E. et al. Verificação da Qualidade dos Blocos Cerâmicos Conforme NBR 15270 Comercializados em Santa Catarina. **Revista de Engenharia Civil Imed**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.19-26, 2 out. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2oorGkH>>.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Qualidade na construção civil**. São Paulo: Érica, 2014. 121 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2PdQEn9>>. Acesso em: 9 jul. 201

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto com módulo de elasticidade definido**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2NxXgrh>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

RODRIGUES, Arlindo B. F.; RUSCHEL, Regina C. Sistemas construtivos e materiais nos empreendimentos de interesse social desenvolvidos pelas COHABS e órgãos assemelhados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002. p. 1823-1830. Disponível em: <<https://bit.ly/2PILAsh>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

ROSA, Fabiana Pires. **Perdas na construção civil: diretrizes e ferramentas para controle**. 2001. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<https://bit.ly/2PiR3S>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

SANTOS, Guilherme Furlin dos; LOSEKANN, Guilherme Schmitt. **Gestão da qualidade na indústria da construção civil: o caso da empresa Grupo Lumis**. 2017. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2PSrBm2>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

SILVA, Marinilda Nunes Pereira da et al. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. **Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 2, n. 3, p. 87-97, maio 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2JJVQLL>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SILVA, Paulo Fernando A. Controle tecnológico do concreto em obras. **Concreto & Construções**, São Paulo, v. 86, n. 45, p. 24-28, Ibracon – Instituto Brasileiro de Concreto, jun. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2PgOLBI>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SISTEMA Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT. **PBQP do Habitat – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. Brasília, 2018**. Disponível em: <<https://bit.ly/2NxD8W2>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

VASCONCELOS NETO, Ismael Ribeiro; VASCONCELOS, Nadine Ribeiro; ALBUQUERQUE, Gerson Luiz Apoliano. Controle tecnológico de elementos estruturais: um estudo de caso de um edifício em Sobral. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 1., 2017, Belém. **Anais...** Belém: Contecc, 2017. p. 1-5. Disponível em: <<https://bit.ly/2N1KsfQ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

ISBN 978-85-522-1181-5



9 788552 211815 >