



Conforto Ambiental: Acústico e Lumínico

Conforto Ambiental: Acústico e Lumínico

Adriana Petito de Almeida Silva Castro
Raquel Letícia Rancura

© 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

Elena Furlan da França

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Letícia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Castro, Adriana Petito de Almeida Silva

C355c Conforto ambiental: acústico e lumínico / Adriana Petito de Almeida Silva Castro, Raquel Leticia Rancura. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
176 p.

ISBN 978-85-522-0718-4

Silva. 1. Arquitetura. I. Castro, Adriana Petito de Almeida
II. Rancura, Raquel Leticia. III. Título.

CDD 720

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 Conforto acústico: análise e medição	7
Seção 1.1 - Conceitos fundamentais da acústica	8
Seção 1.2 - Estudos gerais sobre conforto acústico	19
Seção 1.3 - Legislação e normas sobre acústica em edificações	31
Unidade 2 Tratamento e projeto acústico	45
Seção 2.1 - Medição e tratamento sonoro	47
Seção 2.2 - Materiais para tratamento sonoro	60
Seção 2.3 - Projeto de conforto acústico	70
Unidade 3 Conforto lumínico: análise e medição	85
Seção 3.1 - Fundamentos introdutórios de conforto lumínico	86
Seção 3.2 - Análise dos elementos lumínicos	102
Seção 3.3 - Medição de conforto lumínico	118
Unidade 4 Tratamento e projeto lumínico	135
Seção 4.1 - Características da iluminação artificial	136
Seção 4.2 - Conceitos e grandezas	150
Seção 4.3 - Projeto lumínico	163

Palavras do autor

Querido aluno, futuro arquiteto:

Na disciplina Conforto ambiental: acústico e lumínico, você aprenderá a importância de considerar os níveis de ruído e também a questão de iluminação em projetos arquitetônicos. O principal objetivo desta disciplina é prepará-lo para ingressar no mercado de trabalho com domínio de conceitos de conforto acústico e conforto lumínico. A partir dos conceitos que você aprenderá, será capaz de projetar edificações de maneira a garantir condições satisfatórias de acústica e iluminação ao usuário.

Ao final da disciplina, você terá o conhecimento e a habilidade para aplicar os conceitos de conforto acústico e conforto lumínico, assim como as técnicas de medição, propriedades dos materiais e os métodos de tratamento em projetos arquitetônicos.

Na primeira unidade de ensino você conhecerá os conceitos introdutórios de conforto acústico e as técnicas para medição, bem como os materiais disponíveis para tratamento acústico nos projetos arquitetônicos. Em seguida, na Unidade 2, você irá conhecer e aplicar os conceitos de tratamento acústico nos projetos. Os conceitos de conforto lumínico e também as técnicas para análise e medição em projetos arquitetônicos serão abordados na terceira unidade. Por fim, na quarta unidade, você irá conhecer e se preparar para aplicar os conceitos de tratamento lumínico nos seus projetos.

Para a compreensão plena dos conceitos e técnicas a serem abordados nesta disciplina, é imprescindível que você se prepare. Leia os textos e faça os exercícios disponibilizados nesta disciplina. Assim, você pode ir formulando alguma questão que considere importante, tentando aliar o seu dia a dia com o conteúdo da disciplina.

Vamos começar? Tenho certeza que será fascinante mergulhar no mundo do conforto ambiental, pensando nas condições de ruído e como elas afetam a vida dos usuários do seu projeto. E sobre a iluminação? Você irá se surpreender ao perceber como é grande a diferença em considerar a iluminação artificial de modo a não se esquecer dos efeitos da iluminação natural em seus futuros projetos.

Conforto acústico: análise e medição

Convite ao estudo

Nesta unidade vamos aprender o que significa conforto acústico e quais os processos para analisar e medir os ruídos. Conheceremos os conceitos introdutórios de conforto acústico e as técnicas para medição, materiais e tratamento acústico em projetos de arquitetura e urbanismo. Você poderá analisar as condições acústicas de uma edificação e propor intervenções para melhorar o conforto dos usuários. Ao final do estudo desta unidade, você perceberá como é importante considerar a acústica na fase inicial de seus projetos.

Para exemplificar o conteúdo, vamos supor a seguinte situação que você poderá enfrentar na sua vivência profissional:

A FDE (Fundação para o Desenvolvimento da Educação) é o órgão responsável pelos projetos de edificações escolares no estado de São Paulo. Imagine que você foi contratado pela FDE para compor uma equipe de profissionais capacitados a melhorar as condições de conforto acústico dos usuários em escolas públicas. Sua função como arquiteto é prestar consultoria arquitetônica na ampliação de uma escola de ensino fundamental e médio. A escola está construída em um bairro bastante consolidado, com muitos habitantes e muitas edificações comerciais e residenciais no entorno. O contratante quer, além da verificação das condições acústicas das salas de aula, um estudo sobre a possibilidade da construção de um auditório. Neste cenário, você e a equipe de profissionais selecionados estão realizando as primeiras reuniões para definição do trabalho. Nesse momento do início da prestação de serviços, vocês estão questionando quais seriam os primeiros passos. O que será necessário para melhorar a satisfação dos usuários em relação ao conforto acústico? Quais as ferramentas necessárias?

Seção 1.1

Conceitos fundamentais da acústica

Diálogo aberto

Você está participando de uma equipe de arquitetos e engenheiros que irá propor melhorias em uma escola pública, de ensino fundamental e médio. Esta escola está localizada num bairro bem populoso e existem muitos edifícios comerciais e residenciais no entorno dela. Nas primeiras reuniões, ficou claro que é preciso definir qual será o processo de desenvolvimento dos trabalhos. Os alunos, nas salas de aula, sofrem com ruídos externos? Durante as aulas, é possível escutar o professor com clareza? O som é propagado de maneira ideal? No lugar escolhido para ser construído o auditório, como se propaga o som? Aéreo ou via estrutura? Há geração de ruído nas ruas próximas à escola?

Pelo conhecimento que você vai adquirir ao estudar o som, o ruído e como acontece a propagação do som, temos certeza de que você ficará empolgado para aplicar esse conteúdo e tentar resolver a problemática abordada nesta seção. Vá em frente!

Não pode faltar

Nessa seção vamos estudar o som, o ruído, os tipos e indicadores de ruído e também como acontece a propagação do som.



Refleta

Para começar, pense um pouco sobre o que é "som". Agora pense em "ruído". Você acha que os dois significam a mesma coisa? O que é som? O que é ruído?

Qualquer barulho que você perceba pode ser considerado som ou ruído, mas o som é algo bom ao seu ouvido, uma sensação agradável. O ruído é algo desagradável ao seu ouvido, algo que incomoda. Com isso podemos definir: a partir do momento em que aquele barulho incomoda, ele deixa de ser som e passa a ser ruído.

No entanto, algumas pessoas são mais sensíveis que outras em relação ao barulho. Para uns, uma banda de rock pode ser um som maravilhoso, enquanto para outros, essa mesma banda pode significar um ruído insuportável. Portanto, podemos perceber que a distinção entre som e ruído é muito subjetiva, muito pessoal. O que para uns é som, para outros é ruído.



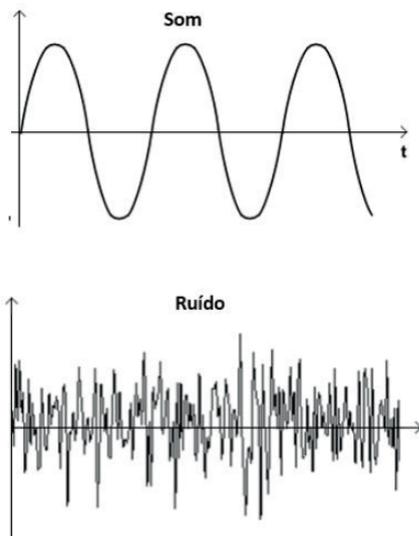
Assimile

Ruído é todo som indesejável!

Podemos afirmar que o som tem sua origem na vibração de um objeto e causa a vibração das partículas do meio (que pode ser, por exemplo, o ar, a água ou os materiais sólidos), sendo capaz de ser captado pelo ouvido humano.

O som é uniforme, é resultado de vibrações sonoras regulares, é repetição de ciclos e provoca sensações agradáveis. Já o ruído é algo sem harmonia, resultado de vibrações sonoras irregulares, não existe repetição de ciclos, e é desagradável ao nosso ouvido. Observe a Figura 1.1.

Figura 1.1 | Representação física de som e ruído



Fonte: elaborada pelo autor.

Mas como o som se propaga? Você percebe que o som precisa de um meio para se propagar? Um exemplo: quando você fala com alguém, sua voz se propaga no ar. O ar é, então, o meio pelo qual o som se propaga. Um outro exemplo: quando você era criança e brincava de gritar embaixo da água, numa piscina: outra pessoa que também estivesse embaixo da água poderia ouvir o que você estava falando. Claro, às vezes, não era possível entender o que estava sendo dito, mas ouvir sim. Nesse exemplo o som se propagou pela água. A água, então, era o meio de propagação do som.

Para o ouvido perceber o som de um instrumento ou da voz humana, é necessário acontecer a propagação do som, que, neste caso, ocorre pelo ar, mas se você consegue ouvir o som através de dois ambientes, existindo uma separação entre eles (por exemplo, uma parede), isso quer dizer que essa superfície é um meio vibrante, por menor que seja essa vibração.

Vamos considerar uma fonte sonora, que é aquilo que está gerando o som. A partir da fonte sonora, o som se propaga em todas as direções.

Os primeiros estudos sobre controle do nível de ruídos aconteceram na segunda metade do século passado e tinham como objetivo a contenção dos sons de tráfego aéreo e de atividade industrial. Hoje em dia, os estudos sobre ruídos têm aumentado significativamente, pois seus efeitos nocivos ao ser humano não se limitam às lesões do aparelho auditivo e aos danos físicos, podendo causar também danos psicológicos.

Ao pensar nos aspectos físicos, pode-se citar a perda auditiva, podendo chegar até a surdez permanente, além de dores de cabeça, cansaço, alergias, distúrbios cardiovasculares, entre outros. Em relação aos danos psicológicos, a exposição ao ruído pode levar à perda de concentração, perturbação do sono, irritação, entre outros problemas.

Considerando o projeto arquitetônico, a maioria das pesquisas atuais se concentra na solução de problemas acústicos detectados em ambientes cotidianos da atividade humana, por exemplo, residências, escritórios, escolas e diversos outros ambientes. A questão da acústica urbana passou a ter bastante importância, pois o número de fontes produtoras de ruídos é cada vez maior, trazendo consequências para o homem, podendo prejudicá-lo. Diante disso, é importante estudar os efeitos do ruído sobre o ser humano.

Não importa qual é a fonte do ruído, seja urbana, industrial ou comercial, o que interessa é que ruído incomoda e traz malefícios à saúde. Este fato é inquestionável e tem sido comprovado cientificamente.



Reflita

Quais os tipos de ruído que existem? Como podemos classificar os ruídos? Como acontece a propagação do ruído?

Existem os ruídos aéreos e os ruídos de impacto.

Ruído aéreo é o ruído transmitido através do ar: vozes, buzinas etc.

Ruído de impacto é aquele ruído decorrente de qualquer percussão sobre um sólido. Por exemplo: marteladas, tambor, passos, queda de objetos etc.

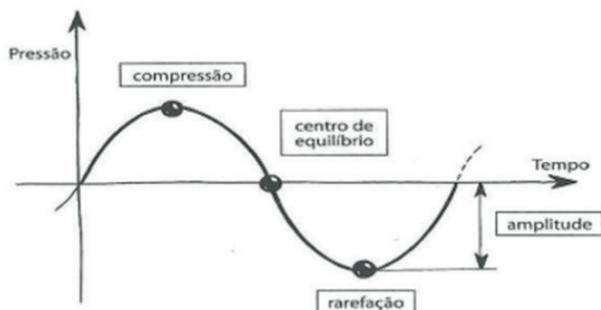
Quando o ruído é resultante de forças impostas sobre estruturas, ele pode ser gerado por vibrações em sólidos ou impacto. A vibração constante de um motor sobre uma laje, por exemplo, pode se transmitir através das estruturas sólidas, mesmo antes de se propagar pelo ar. Neste caso dizemos que o som se propaga “via estrutura”.

No momento da tomada de decisões sobre o ambiente acústico do local, na primeira etapa projetual, o arquiteto atua na parte da acústica que se chama “controle de ruídos”. O controle e a prevenção dos ruídos podem ser divididos em ruídos internos à edificação e ruídos externos à edificação.

Para compreender o fenômeno do som e/ou do ruído, precisamos considerar três características importantes: a frequência, o comprimento de onda e a velocidade de propagação.

As vibrações sonoras se propagam pelo ar devido a pequenas alterações provocadas na pressão atmosférica, originando a onda sonora. Quando sofrem um estímulo sonoro (vibração), as partículas do ar passam por sucessivas compressões e rarefações (Figura 1.2), de modo que o movimento da partícula causa a vibração da partícula vizinha, resultando na propagação sonora. A compressão ocorre quando a partícula se aproxima do centro de equilíbrio, enquanto que a rarefação acontece à medida que se afasta desse centro. Isso quer dizer que as partículas não se deslocam se o meio não estiver em movimento. Elas vibram em torno do centro de equilíbrio, transmitindo a energia sonora.

Figura 1.2 | Onda sonora



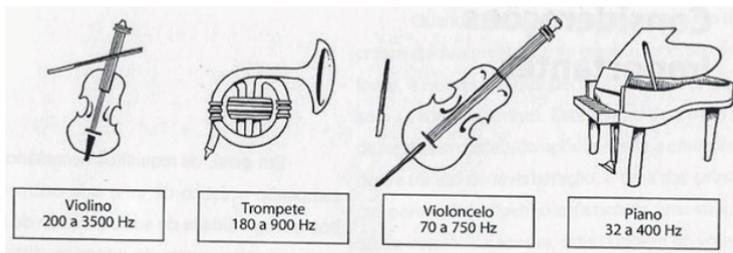
Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2006, p. 25).

Observando a Figura 1.2, podemos definir o conceito de **AMPLITUDE**. A amplitude é o máximo deslocamento da partícula em relação ao seu centro de equilíbrio.

O número de vezes que uma partícula completa um ciclo de compressão e rarefação em determinado intervalo de tempo ao redor de seu centro de equilíbrio é denominado **FREQUÊNCIA** (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA., 2006). No sistema internacional de unidades, a frequência é dada em ciclos por segundo (c.p.s.) ou Hertz (Hz).

O intervalo de frequências que nosso ouvido consegue perceber vai de 20 Hz até 20.000 Hz. Esse intervalo é chamado de banda audível de frequências. Os sons com menos de 20 Hz de frequência são chamados de infrassons. Os sons com mais de 20.000 Hz de frequência são denominados de ultrassons. A Figura 1.3 ilustra alguns exemplos de instrumentos e suas respectivas frequências.

Figura 1.3 | Frequências de alguns instrumentos



Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2006, p. 112).

As frequências mais altas, com maior número de ciclos por segundo, correspondem a sons mais agudos. As frequências mais baixas, com menor número de oscilações, são os sons mais graves.

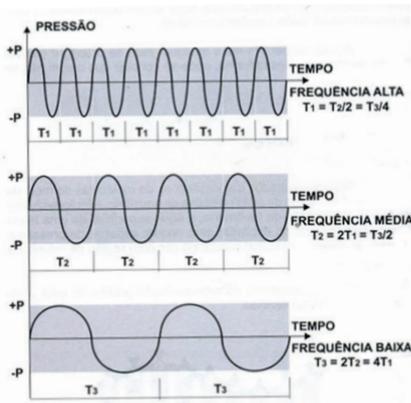


Nós, seres humanos, escutamos sons de 20 Hz até 20.000 Hz. Mas, será que os animais escutam da mesma forma? Você conhece aquele apito utilizado no adestramento de cães? É um apito que emite um som que pessoas não conseguem ouvir, mas os cachorros sim. Por que isso acontece? Leia as páginas de 6 a 12 texto: *Acústica industrial: aplicação da análise de vibrações e ruído à identificação de fontes de ruído em ambiente industrial*, de autoria de Celia Morais Cabral, e entenda por que isso acontece. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/20582/1/Tese%20-C%3%A9lia.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

A maioria das fontes sonoras é composta por diversas frequências. Existe o tom puro, que é o som de uma única frequência (por exemplo: diapasão) e também o tom complexo, que é composto por mais de uma frequência (por exemplo: nossa voz). Uma curiosidade em relação à nossa voz é que as vogais apresentam frequências menores que as consoantes.

Vamos agora pensar no contrário da frequência. As oscilações cíclicas de pressão/compressão ocorrem em intervalos de tempo, maiores ou menores. Esse intervalo de tempo é denominado PERÍODO. O período é inversamente proporcional à frequência, e é expresso em segundos. Isso quer dizer que se a frequência é alta, o período é curto. E se a frequência é baixa, o período é longo. Para entender melhor esse conceito, observe atentamente a Figura 1.4.

Figura 1.4 | Frequência e período



Fonte: Carvalho (2006, p. 16).

O Quadro 1.1 ilustra a classificação das ondas sonoras quanto à frequência, exemplificando sons graves, médios e agudos. Você pode observar neste quadro que quanto maior a frequência, mais agudo é o som; e quanto menor a frequência, mais grave é o som.

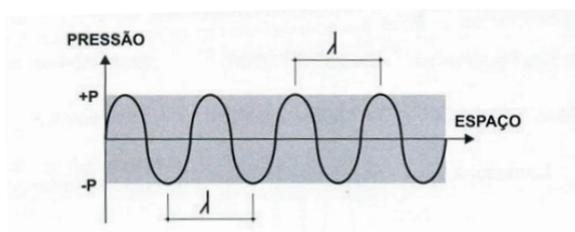
Quadro 1.1 | Classificação das ondas sonoras quanto à frequência

Infrassons	Abaixo de 20 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano
Baixas frequências	De 20 a 200 Hz	Sons graves
Médias frequências	De 200 a 2.000 Hz	Sons médios
Altas frequências	De 2.000 a 20.000 Hz	Sons agudos
Ultrassons	Acima de 20.000 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

Fonte: Carvalho (2006, p. 17).

A segunda característica que vamos estudar se chama comprimento de onda. O comprimento de onda é a distância que o som percorre em um ciclo completo de compressão/rarefação. A Figura 1.5 ilustra esse conceito.

Figura 1.5 | Comprimento de onda



Fonte: Carvalho (2006, p. 18).

Existe uma correlação entre frequência e comprimento de onda. Essa correlação é facilmente percebida, pois quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda. Isto é, quanto maior o número de vezes que o ciclo se completa em um determinado intervalo de tempo, menor a distância que existe entre esses ciclos. Portanto, de maneira análoga, quanto menor a frequência, maior o comprimento de onda.

Agora vamos pensar na terceira característica importante do som, que é a velocidade de propagação. Já aprendemos que para o som se propagar, ele precisa de um meio. No caso do som se

propagar no ar, a velocidade de propagação é cerca de 344 m/s (a uma temperatura média de 20 graus Celsius). Podemos agora definir uma fórmula, que envolve frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação do som:

$$V = \lambda \cdot f, \text{ onde:}$$

V é a velocidade de propagação do som;

λ é o comprimento de onda;

f é a frequência.

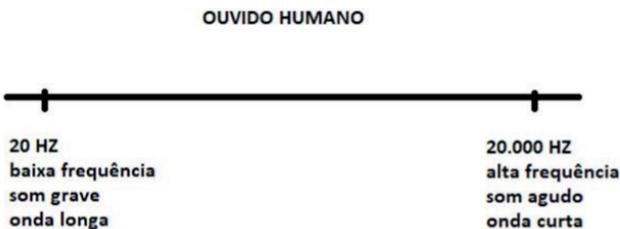


Exemplificando

Considerando a faixa audível de frequência do ser humano entre 20 Hz e 20.000 Hz, e também a velocidade de propagação do som no ar como sendo 344 m/s, você consegue descobrir qual é o intervalo de comprimento de onda que o ouvido humano percebe. Ao aplicar a fórmula acima para 20 Hz, descobrimos que o comprimento de onda equivale a 17,2 m. Agora, aplicando a fórmula para 20.000 Hz, encontramos 0,0172 m (ou 17,2 mm). Portanto, o intervalo de comprimento de onda que nosso ouvido consegue perceber está na faixa de 17 mm até 17 m.

Diante de tudo que você aprendeu até agora, é possível perceber que existe uma relação entre comprimento de onda, frequência e o fato do som ser grave ou agudo. Observe atentamente a Figura 1.6.

Figura 1.6 | Comportamento do ouvido humano



Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando a definição de frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação, pense e reflita sobre qual é a relação existente entre esses três conceitos.

Agora que você já sabe qual a diferença entre som e ruído e também conhece os meios de propagação do som, você é capaz de avançar nos estudos sobre conforto acústico e a importância de considerar a acústica na fase inicial dos seus projetos.

Sem medo de errar

Relembrando nossa situação-problema, você foi contratado pela FDE para analisar o conforto acústico de uma escola de ensino fundamental e médio. Nas primeiras reuniões, ficou claro que é preciso definir qual será o processo de desenvolvimento dos trabalhos. Os alunos, nas salas de aula, sofrem com ruídos externos? Durante as aulas, é possível escutar o professor com clareza? O som é propagado de maneira ideal? Como o som se propaga no lugar escolhido para ser construído o auditório? Meio aéreo ou via estrutura? Há geração de ruído nas ruas próximas à escola?

Para resolver esses questionamentos, você deve fazer uma sondagem sobre ruídos na escola e também no entorno dela. Se for autorizado pela direção da escola, você pode participar de alguma aula, como ouvinte, e observar se existem ruídos externos que possam atrapalhar o aprendizado dos alunos. Também pode observar se você consegue escutar o professor com clareza. Além disso, você deve verificar como o som está se propagando pelo ambiente.

Em relação ao auditório que será construído, você deve ir até o local e prestar atenção nos ruídos do entorno. Nesse ambiente, verifique se o som se propaga por meio aéreo ou via estrutura. Preste atenção também se há fontes de ruído em ruas próximas à escola. Tudo o que você puder observar e escutar vai ajudar a analisar as condições acústicas da escola e também na elaboração da proposta de intervenções para melhorar o conforto dos usuários. Os resultados servirão como base de coleta de dados para as próximas etapas.

Avançando na prática

Critérios para a implantação de um projeto, considerando o conforto acústico

Descrição da situação-problema

Imagine que você e sua equipe composta por arquitetos especialistas em acústica devem propor um projeto de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), a ser instalada em uma zona urbana residencial. A prefeitura autorizou a realização do projeto. Qual ou quais as preocupações em relação à implantação dessa ETA numa zona residencial, pensando sobre o nível de ruído?

Resolução da situação-problema

A primeira coisa na qual devemos pensar é que numa ETA existem muitas bombas e motores, que estão espalhados por toda a área de instalação da ETA, desde a captação da água, passando pelas fases de floculação, filtragem, até a distribuição da água. A área onde vai ser instalada essa ETA é zona urbana, um bairro residencial. Apesar de a prefeitura já ter autorizado a realização do projeto, é preciso tomar alguns cuidados essenciais em relação aos ruídos, já na fase de projeto, para não causarmos danos à saúde dos moradores do entorno e obtermos sucesso no empreendimento.

Verifique se existem ruídos aéreos e/ou de impacto nos arredores do local onde será implantada a ETA. Verifique também se as ruas próximas apresentam muito tráfego. Pesquise se o local é uma rota de ônibus urbano e observe se existem lojas e/ou supermercados na redondeza. Verifique se os motores da ETA vão provocar vibrações e gerar muito ruído. Lembre-se de que para fazer essas verificações, você precisa saber se realmente há ruído. Conforme você já aprendeu, o ruído pode ser bastante desagradável e prejudicial à saúde. Não se esqueça de como acontece a propagação do som, se por via aérea ou estrutural.

Além disso, para que as decisões de projeto sejam acertadas acusticamente, é preciso considerar que o objetivo da acústica no espaço urbano é evitar a interferência de fontes de ruído sobre seu projeto, e tomar muito cuidado para que o seu projeto não seja fonte de ruído para o entorno.

Faça valer a pena

1. Na Acústica, existem três propriedades importantes do som: frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação. Essas propriedades exercem influência nos projetos arquitetônicos e urbanísticos. Existe uma relação entre comprimento de onda, frequência e o fato de um som ser grave ou agudo.

Assinale a alternativa correta:

- a) Quanto maior a frequência, mais grave é o som e menor o comprimento de onda.
- b) Quanto menor a frequência, mais grave é o som e menor o comprimento de onda.
- c) Quanto maior a frequência, mais agudo é o som e menor o comprimento de onda.

- d) Quanto menor a frequência, mais agudo é o som e maior o comprimento de onda.
- e) Quanto menor a frequência, mais agudo é o som e menor o comprimento de onda.

2. Para se propagar, o som precisa de um meio, que pode ser a água, o ar, ou ainda os materiais sólidos. Considere a velocidade de propagação do som no ar como sendo 344 m/s, a uma temperatura média de 20 graus Celsius. Qual será o comprimento de onda para a frequência de 125 Hz?

Assinale a alternativa correta:

- a) 0,27 metros.
- b) 2,75 metros.
- c) 0,36 metros.
- d) 43.000 metros.
- e) 5,74 metros.

3. A diferença entre som e ruído é muito subjetiva. A partir do momento que o som começa a incomodar as pessoas, deixa de ser som e passa a ser ruído. Existem os ruídos aéreos e os de impacto. Os ruídos aéreos são transmitidos pelo ar. Os ruídos de impacto ocorrem quando acontece uma percussão sobre um sólido.

Considerando os tipos de propagação de ruído, assinale a alternativa correta:

- a) O ruído de duas pessoas discutindo é propagado por impacto.
- b) O ruído de uma britadeira perfurando o asfalto é uma propagação aérea.
- c) O som de um violino é propagado por impacto.
- d) Quando um objeto cai no chão, o ruído é uma propagação feita pelo ar.
- e) O ruído de um martelo que está sendo usado para pregar um prego na parede é propagado por impacto.

Seção 1.2

Estudos gerais sobre conforto acústico

Diálogo aberto

Vamos relembrao o que já estudamos até agora? Na seção anterior, você aprendeu os conceitos fundamentais relacionados ao som, ao ruído e à propagação sonora. Você pôde perceber qual é a diferença entre som e ruído, e como acontece a propagação sonora.

A partir desse momento, nesta segunda seção, você vai adquirir noções de conforto acústico, vamos somar decibels (ou decibéis), entender como funciona o isolamento sonoro e conhecer a importância da Lei da Massa no conforto acústico.

Relembrando nossa situação-problema, você está participando de uma equipe de arquitetos e engenheiros que irá propor melhorias em uma escola pública, de ensino fundamental e médio. Uma vez que foram observados os ruídos externos e também a propagação do som dentro das salas de aula, quais equipamentos podem ser utilizados para quantificar esses sons? É possível fazer medições de ruído? Em relação à construção do auditório, o que a norma estabelece? Qual é o nível de ruído máximo recomendado?

Com o conhecimento adquirido nesta seção, você ficará ansioso para aplicar esse conteúdo na prática. Vamos lá!

Não pode faltar

Nesta segunda seção vamos aprender noções de conforto acústico, vamos somar sons (decibels), entender como funciona o isolamento sonoro e conhecer a importância da Lei da Massa no conforto acústico.



Refleta

Vamos pensar: quando você pode dizer que uma pessoa está em condições de conforto acústico?

O conforto da pessoa é a satisfação, sensação de bem-estar em alguma situação. Quando uma pessoa está em um determinado

local e o som produzido neste local não a incomoda, ela está confortável com relação ao som.

Hoje em dia, com o crescimento desordenado dos núcleos urbanos, o advento das novas tecnologias da construção civil e também devido a questões de ordem cultural, a preocupação com o conforto acústico aumentou bastante. É fundamental, para os arquitetos, considerar a acústica desde o início do projeto, isto é, desde o levantamento de dados. Assim, o profissional pode projetar de forma coerente e econômica.

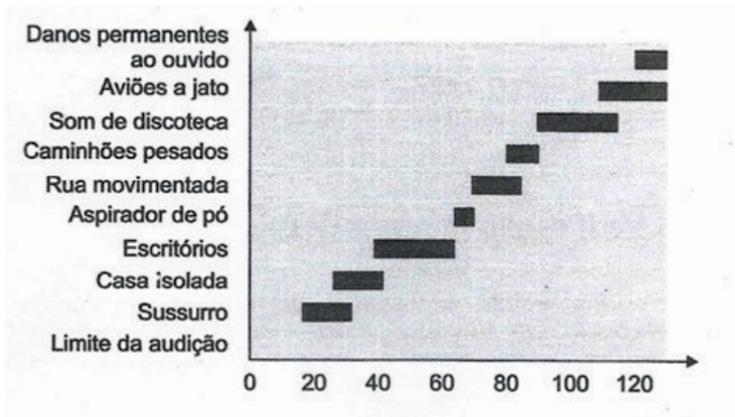
A intervenção na acústica, depois de realizada a construção, não permite soluções tão eficazes como as que se obtêm no início do projeto, encarecendo o orçamento da obra.

Qualificar acusticamente o espaço requer do arquiteto o conhecimento da interferência acústica que o projeto tem sobre o ambiente e as consequências projetuais decorrentes de questões acústicas. Ao considerar a acústica do ambiente, o arquiteto desenvolve uma sensibilidade ao som, que é um dos elementos qualificadores do espaço. Isso garante que o espaço projetado não resulte em um ambiente de baixa qualidade acústica. Portanto, podemos perceber que atuar acusticamente é um grande desafio.

Vamos agora pensar em como fazer para somar os sons de um determinado local. Para facilitar os estudos acústicos, utiliza-se o decibel (dB) como uma escala de medida de nível de pressão sonora. O decibel foi nomeado dessa forma em homenagem ao inventor do telefone, chamado Alexander Graham Bell. O decibel não é uma unidade de medida, e sim uma escala logarítmica, que se aproxima da percepção do ouvido às flutuações da pressão sonora. O plural de decibel é "decibels", porém, a regra gramatical brasileira nos permite dizer "decibéis".

Vamos entender melhor com a análise da Figura 1.7, que ilustra alguns níveis de ruídos aéreos mais comuns a que estamos expostos.

Figura 1.7 | Alguns níveis de ruídos aéreos



Fonte: Carvalho (2006, p. 35).

A faixa de ruído tolerável ao ouvido humano é entre 0 dB e 120 dB, sendo que ruídos acima de 120 dB podem causar danos à saúde, dependendo do tempo de exposição a esses ruídos.

Vamos agora aprender a somar sons (ou ruídos). Imagine que você está em sua cozinha, liga o liquidificador e também a batedeira ao mesmo tempo. Qual é o som total que você escuta?

Quando você liga um liquidificador, ele emite um som. Se você ligar uma batedeira ou outro liquidificador, idêntico, o som que você vai ouvir não será o dobro do som inicial. Isso acontece porque nosso ouvido não consegue “somar” os ruídos de modo linear. Devido a estrutura do ouvido, o ruído total que conseguimos identificar é uma soma logarítmica.

A combinação de duas fontes sonoras não vai resultar na adição simples ou soma aritmética de seus níveis de pressão sonora. Quando duas fontes sonoras se sobrepõem, aumenta-se no máximo o valor de 3 dB. E quando as duas fontes sonoras emitem o mesmo ruído, você ouve 3 dB a mais. Explicando melhor: se você ligar um liquidificador que emite 40 dB e outro que também emite 40 dB, o ruído total que você vai conseguir ouvir será de 43 dB.

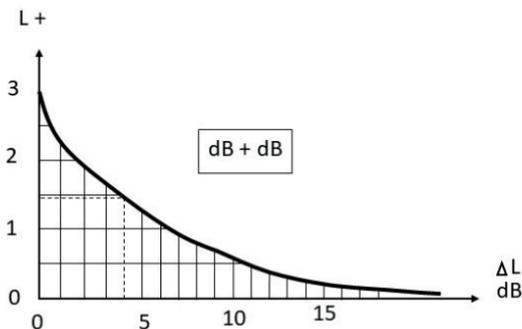


Assimile

É importante lembrar que valores em decibéis não podem sofrer adição simples, pois trata-se de escala logarítmica.

A Figura 1.8 apresenta um gráfico utilizado para somar decibéis. Observe atentamente a metodologia descrita nesta figura.

Figura 1.8 | Gráfico de adição de níveis de pressão sonora



Ex:

L1 = 55 dB

L2 = 51 dB

$\Delta L = 4$ dB

L+ = 1,4 dB

Lt = 55 + 1,4 = 56,4 dB

Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2006, p. 33).

O exemplo descrito no gráfico diz que você está somando duas fontes sonoras, sendo uma de 55 dB (L1) e a outra de 51 dB (L2). Utilizando o método gráfico, o primeiro passo a fazer é descobrir a diferença (ΔL) entre as duas fontes (55 dB – 51 dB = 4 dB). Com esse valor em mãos, você deve cruzá-lo com a curva e ler no eixo y o valor correspondente, que vai ser 1,4 (chamado de L+). Agora você deve somar esse 1,4 com o maior valor das duas fontes. Como você está somando 55 dB com 51 dB, a maior fonte é a de 55 dB. Portanto, some 1,4 com 55 dB, e obtenha 56,4 dB.



Exemplificando

Aplicando o método gráfico para duas fontes sonoras idênticas, ambas de 40 dB, você consegue perceber que o nível total será de 43 dB? Vamos lá: a diferença entre elas será zero (40 dB – 40 dB = 0). Cruzando o zero com a curva, temos o valor correspondente a 3 dB. Portanto, devemos somar 3 dB com a maior das fontes, que, nesse caso, são iguais: 40 dB + 3 dB = 43 dB.



A soma de duas fontes, ambas com o mesmo valor em dB, resulta num acréscimo de 3 dB ao valor individual de uma das fontes.

Imagine agora que haja mais de dois equipamentos ligados ao mesmo tempo. Qual é o nível de ruído total que podemos escutar? Como fazer para somar todos os ruídos?

O procedimento é exatamente o mesmo. Você deve colocar as fontes em ordem crescente e fazer a soma de duas em duas. Por exemplo: quero somar 70 dB, 65 dB e 80 dB. Colocando em ordem crescente, temos 65, 70 e 80 dB. A partir disso, somamos pelo gráfico 65 com 70 dB. No resultado fazemos novamente a soma, agora com 80 dB.

Vamos conhecer um equipamento que faz medição de sons e/ou ruídos. O medidor de nível de pressão sonora é chamado de "SONÔMETRO", popularmente conhecido como "DECIBELÍMETRO". O decibelímetro é um instrumento que auxilia o arquiteto a determinar o nível de pressão sonora e avaliar as fontes geradoras de ruído. O levantamento de dados pode ser acompanhado de medições no local, indicando pontos mais sensíveis que caracterizam o ambiente acústico. Com esses dados em mãos, o projetista pode programar pesquisas mais específicas nos pontos de interesse.

Mas como funciona o decibelímetro? Este equipamento é também chamado de sonômetro e registra em dB a pressão sonora do local ou os níveis de intensidade. A Figura 1.9 ilustra um decibelímetro.

Figura 1.9 | Decibelímetro



Fonte: <<https://goo.gl/Jp9jG2>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

Mas qual é o nível de ruído aceitável em determinado ambiente?

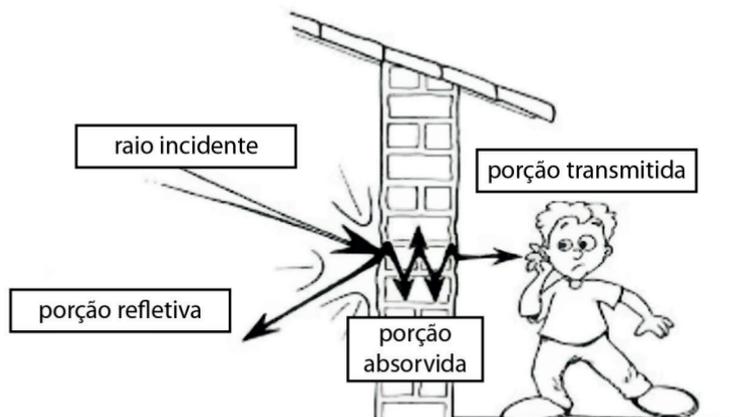
Conforme Carvalho (2006), a exposição excessiva a sons de alta intensidade por um período muito longo pode causar danos físicos e psicológicos, que podem ser irreversíveis. Veja um exemplo: a intensidade sonora das turbinas de um avião a jato pode chegar a 120 dB, valor este que causa dor e está a apenas 30 dB abaixo da intensidade que causa perda instantânea da audição: 150 dB.

A irritação e fadiga mental (e física) depende da maior ou menor sensibilidade auditiva de cada indivíduo. O ouvido humano é diferente de pessoa para pessoa, mas em locais de trabalho é aconselhado o uso de protetores auriculares a partir de 85 dB (valor equivalente ao tráfego pesado), e o valor ideal varia em função da atividade do local (CARVALHO, 2006).

De acordo com a NBR 10152/1987, para salas de aula o nível de ruído recomendável é de 40 a 50 dB. Já para auditórios, os valores ficam entre 30 e 45 dB.

Você já aprendeu que o som se propaga por um meio, que pode ser sólido, líquido ou gasoso. Pense agora sobre o que acontece com o som quando incide em uma superfície. Quando o som incide em uma parede, por exemplo, uma parcela desse som é transmitida através da parede, uma segunda parcela é absorvida pela superfície e o restante é refletido. Observe a Figura 1.10, que ilustra o fenômeno da incidência sonora sobre uma superfície.

Figura 1.10 | Incidência sonora sobre uma superfície



Fonte: Souza, Almeida e Bragança, (2006, p. 36).

Podemos dizer que a transmissão, reflexão e absorção do som caracterizam os materiais absorventes e isolantes. Se o material reflete grande parte da energia sonora incidente, evitando que esta seja transmitida de um meio para outro, temos um bom isolante acústico. Seguindo esse raciocínio, podemos concluir que se um material reflete grande parte da energia sonora, esse material será um bom isolante, e, conseqüentemente, um mau absorvente. O mesmo se aplica para a situação inversa: se o material absorver grande parte da onda sonora, pouco vai restar para ser refletido ou transmitido, caracterizando, assim, um bom absorvente.

Pensando em um ambiente qualquer, por exemplo uma sala de aula: é possível perceber a diferença entre isolar o som e absorver o som?

Vamos lá: para uma sala de aula ser considerada um ambiente com boa absorção sonora, é necessário que os materiais constituintes de suas paredes, piso e cobertura sejam materiais que absorvam bastante o som. Geralmente esses materiais são porosos ou fibrosos, como carpete, cortiça, feltro, lã mineral, dentre outros. Portanto, para essa mesma sala ser considerada um ambiente que isola o som, é necessário que o som gerado no interior da sala não se propague para o meio externo, e vice-versa.

Com isso, podemos perceber que o conceito de absorção sonora se aplica dentro de um recinto. Já o conceito de isolamento sonoro se aplica "de dentro para fora" ou "de fora para dentro" do recinto. Isso quer dizer que quando tentamos isolar um som, não estamos necessariamente "tratando" esse som. Podemos isolar inserindo materiais absorventes ou refletivos sobre uma parede, por exemplo. Essa parede vai funcionar como isolamento sonoro. Por outro lado, quando estamos propondo o tratamento acústico de um ambiente, usamos materiais absorventes ou refletivos.

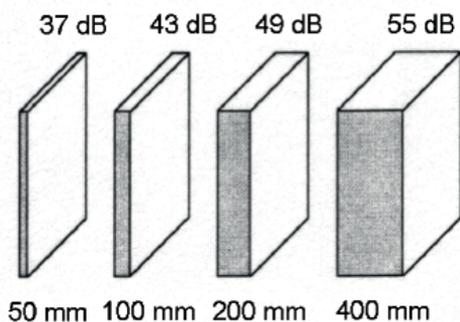
Conforme Souza, Almeida e Bragança (2006), enquanto um material isolante aplicado sobre uma parede promove a redução do nível sonoro transmitido para outro ambiente, um material absorvente serve para regular a quantidade de absorção dentro do próprio recinto.

Todo material deixa-se atravessar pelo som, em maior ou menor intensidade, por meio das ondas, que vibram. Isso vai depender de sua massa. Portanto, o isolamento sonoro é diretamente proporcional à massa do material. Quanto maior a massa, maior o isolamento sonoro. A partir daí, podemos definir a "Lei da Massa".



A Lei da Massa afirma que o isolamento sonoro aumenta 6 dB cada vez que duplicamos a massa.

Figura 1.11 | Lei da Massa



Fonte: Mehta, Johnson e Rocafort (1999, p. 92).

Ao observar a Figura 1.11, percebemos que cada vez que duplicamos a massa (espessura da parede), o isolamento aumenta em 6 dB. Se temos uma parede de 50 mm de espessura e ela isola 37 dB, quando duplicamos a espessura para 100 mm, considerando o mesmo material e a mesma frequência, temos 6 dB a mais de isolamento, passando então para 43 dB de atenuação sonora (ou isolamento sonoro). E isso acontece sucessivamente, a cada duplicação da massa.



Como você pôde perceber, quanto maior a massa do material, mais isolamento acústico ele vai proporcionar. Considere agora os materiais e sistemas da construção civil: tijolos, blocos, pisos, lajes, tetos, alvenaria, dentre outros. Qual é o isolamento acústico desses materiais? Leia o capítulo 4 do livro *Acústica arquitetônica*, de Régio Paniago Carvalho, páginas 47 a 55, e descubra o isolamento sonoro de vários materiais e sistemas utilizados na construção civil.

Ao dar forma e volume aos espaços, o arquiteto tem como elemento básico de trabalho a superfície. As formas e os materiais adotados também têm grande interferência no comportamento do som, determinando o desempenho acústico do ambiente. Por isso, é muito importante que o arquiteto conheça as propriedades sonoras

que influem na qualidade do espaço, para que o ambiente projetado cumpra sua função acústica (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

Sem medo de errar

Agora que você já fez uma verificação de ruídos no entorno da escola e também observou como ocorre a propagação do som dentro das salas de aula, quais equipamentos podem ser utilizados para quantificar e qualificar esses sons? É possível fazer medições de ruído? Em relação à construção do auditório, o que a norma estabelece? Qual o nível máximo de ruído recomendado?

O equipamento utilizado para medir o som/ruído é o medidor de nível de pressão sonora, popularmente conhecido como “decibelímetro”. Esse aparelho consegue quantificar os sons/ruídos tanto em ambientes internos quanto externos.

Você poderá retirar o decibelímetro disponível no laboratório da sua unidade de ensino e realizar algumas medições.

Pesquise também, na literatura, os níveis de ruído aceitáveis para diversos tipos de ambientes. Verifique qual é o nível de ruído aceitável para um ambiente escolar, considerando, por exemplo, a sala de aula, o pátio e a biblioteca.

Você pode se locomover novamente até a escola, levar o equipamento e realizar algumas medições de som/ruído, em intervalos de tempo predeterminados, por exemplo no momento das aulas, na hora do recreio, nas aulas de educação física, entre outros.

Você pode anotar todos os valores medidos e tentar fazer um diagnóstico desses ruídos.

Suponha que a medição na escola e teve como resultado que os níveis da sala de aula foram x , do auditório y , e assim por diante. Agora você precisa obter o nível de ruído no pátio, sendo que lá temos o ruído da cantina, do pátio e da quadra poliesportiva. Assim, somando esses valores devemos chegar ao valor total gerado no ambiente.

Dessa forma, você terá dados suficientes para analisar as condições acústicas da escola e propor intervenções para melhorar o conforto dos usuários.

Avançando na prática

Estudo do nível de ruído em uma Estação de Tratamento de Água (ETA)

Descrição da situação-problema

Você se lembra da nossa Estação de Tratamento de Água (ETA)? Na seção anterior, você e sua equipe, composta por arquitetos especialistas em acústica, deveriam propor um projeto de uma ETA, a ser instalada em uma zona urbana residencial.

Que tal agora medirmos o ruído das bombas e motores já instalados em uma ETA? Com base em pesquisa na literatura, os ruídos são considerados aceitáveis? Há desconforto acústico?

Resolução da situação-problema

Pesquise uma ETA já existente, em funcionamento e que seja acessível, no entorno da sua residência ou do seu trabalho. Para que seu projeto fique adequado e considere os parâmetros de conforto acústico, você pode fazer um levantamento preliminar de qual é o nível de ruído gerado pelos equipamentos da ETA. Utilize o equipamento “decibelímetro” para quantificar os ruídos existentes na ETA. Você pode retirar o equipamento no laboratório da sua unidade de ensino, levar até o local escolhido e realizar algumas medições de níveis de ruído gerados pelas bombas e motores. Verifique se os níveis de ruído são considerados aceitáveis, com base em pesquisa na literatura. Verifique também se há desconforto acústico, e se esse desconforto pode ser prejudicial à saúde dos usuários do ambiente em estudo.

Faça valer a pena

1. Em projetos acústicos, é importante considerar o isolamento sonoro. Conforme Carvalho (2006), a variação da pressão acústica de um determinado ambiente induz as superfícies nas imediações a vibrarem. Esse processo vibratório gera, do outro lado da superfície, uma fonte sonora secundária. Dessa forma, constata-se que quanto maior for a massa da superfície em questão, menor a probabilidade de ela vibrar e, conseqüentemente, de transmitir.

Imagine que você está trabalhando no projeto e na construção de uma residência. O tijolo a ser usado será maciço cerâmico, com largura de 10 cm, comprimento de 20 cm e altura de 5 cm. Serão construídas duas paredes, paralelas, utilizando o mesmo tijolo, porém em posições diferentes. A primeira será construída com os tijolos assentados na menor dimensão (10 cm) e a segunda, com os tijolos assentados na maior dimensão (20 cm). Levando em consideração o conceito da lei da massa, qual seria a diferença do isolamento sonoro entre as duas paredes?

- a) 1 dB.
- b) 3 dB.
- c) 6 dB.
- d) 9 dB.
- e) 12 dB.

2. Quando uma onda sonora incide sobre uma parede, gera três situações: uma parte dessa onda é transmitida através do material, outra parte é absorvida e o restante é refletido. Se um material retém uma quantidade maior de ondas sonoras, transformando-as em energia térmica, podemos dizer que ele tem boa absorção acústica. A transmissão, reflexão e absorção do som caracterizam os materiais absorventes e isolantes.

Considerando as propriedades de transmissão, reflexão e absorção do som, verifique quais asserções são verdadeiras e quais são falsas:

I. A absorção sonora de um ambiente depende, exclusivamente, dos materiais absorventes e está diretamente ligada à massa desse ambiente.

II. Para um material ser considerado um bom isolante sonoro, este deve refletir grande parte da energia sonora incidente.

III. O isolamento sonoro depende da massa do material e também, em grande parte, da absorção desse material.

IV. Na configuração de um recinto, tanto a absorção sonora quanto o isolamento podem ocorrer do ambiente externo para o interno.

V. Quanto mais poroso o material, mais absorvente ele é.

Assinale a alternativa que representa se as asserções são verdadeiras ou falsas:

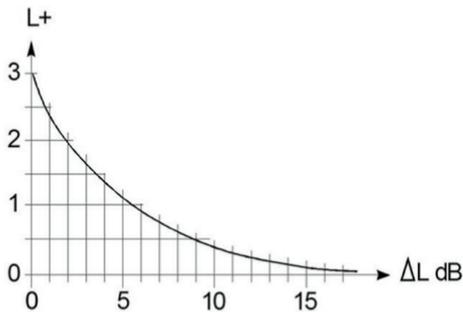
- a) V; F; F; V; V.
- b) F; V; V; F; V.
- c) F; V; F; F; V.
- d) V; V; F; F; V.
- e) F; F; V; F; F.

3. Valores em decibéis não podem ser somados de forma aritmética (adição simples), uma vez que se trata de uma escala logarítmica. Portanto, a combinação de duas fontes sonoras não resulta na adição simples de

seus níveis de pressão sonora. Quando duas fontes sonoras se sobrepõem, o nível de pressão sonora aumenta, no máximo, 3 dB. Utiliza-se um ábaco para adicionar níveis sonoros (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

Imagine uma família composta pelo casal e dois filhos adolescentes, de 15 e 17 anos. Os jovens formam uma dupla musical, sendo que um deles toca bateria e o outro toca guitarra. Certo dia eles estão ensaiando e a bateria gera 60 dB de som/ruído. A guitarra produz 58 dB de som/ruído. Quando os dois estão tocando ao mesmo tempo, qual é o som/ruído total que os pais escutam? Utilize o ábaco a seguir para realizar a soma dos sons/ruídos.

Figura 1.12 | Ábaco para somar som/ruído



Fonte: elaborada pelo autor.

Assinale a alternativa que corresponde ao ruído total que os pais escutam durante o ensaio musical dos filhos:

- a) 60 dB.
- b) 58 dB.
- c) 63 dB.
- d) 62 dB.
- e) 56 dB.

Seção 1.3

Legislação e normas sobre acústica em edificações

Diálogo aberto

Nas seções anteriores você aprendeu a diferença entre som e ruído, conheceu os meios de propagação sonora, compreendeu a diferença entre isolar e absorver o som e percebeu a importância da Lei da Massa no conforto acústico.

Nesta terceira seção da primeira unidade, conheceremos a legislação que rege o conforto acústico. Existem normas específicas para serem usadas na elaboração de um projeto acústico, ou mesmo quando você for atuar como consultor técnico.

Relembrando a situação-problema, você está liderando a equipe de profissionais contratados para a consultoria acústica em uma escola de ensino fundamental e médio. Você precisa orientar qual a melhor maneira de apresentar os resultados para o contratante, de forma convincente. Os problemas de acústica poderão ser resolvidos? É possível apresentar um relatório de medições? Os níveis de ruído estão dentro dos limites prescritos na legislação? Quais as medidas necessárias para melhorar a qualidade acústica das salas de aula e fornecer conforto aos usuários? O auditório poderá ser construído sem sofrer interferência de ruídos indesejáveis?

Vamos lá: quais os requisitos vigentes em legislação para que seu projeto fique adequado acusticamente? Qual é o nível de ruído tolerável ou aceitável em determinado ambiente? Você encontra essas informações nas normas sobre conforto acústico.

Ficou curioso? Vá em frente! Você vai se surpreender com o conteúdo!

Não pode faltar

O que é uma norma? E para que serve?

As normas são elaboradas com o objetivo de regulamentar a qualidade, a classificação, a produção e o emprego de serviços e materiais em suas mais diversas aplicações em determinados

segmentos. Em cada país existem órgãos, cuja função é estabelecer normas que padronizem as especificações.



Assimile

No Brasil, a entidade encarregada de produzir as normas técnicas é a **ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas, sociedade civil com intuito não lucrativo, com sede no Rio de Janeiro. A ABNT se dedica à elaboração de normas técnicas, sua difusão e incentivo.

As normas não são estáticas; elas são aperfeiçoadas com o tempo, acompanhando a evolução da indústria e da técnica, e podem passar por revisões periódicas.

Existem vários tipos de normas, listadas a seguir:

Normas de PROCEDIMENTO (NB): orientação para projeto e execução de obras e serviços.

Normas de ESPECIFICAÇÃO (EB): prescrições para os materiais.

Normas de MÉTODO DE ENSAIO (MB): orienta a forma de amostrar e ensaiar um material.

Normas de TERMINOLOGIA (TB): regulamenta a nomenclatura técnica.

Normas de SIMBOLOGIA (SB): regulamenta as convenções para desenho.

Normas de CLASSIFICAÇÃO (CB): ordena e divide grupos de elementos.

Normas de PADRONIZAÇÃO (PB): dimensões dos produtos.

As normas que se referem ao conforto acústico são, geralmente, normas de “procedimento”.

As duas primeiras normas que vamos estudar são a ABNT NBR 10151 e a ABNT NBR 10152. A norma NBR 10151 é de junho de 2000 e aborda a avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade. Já a norma NBR 10152 estabelece níveis de ruído para conforto acústico.

Os principais objetivos da norma ABNT NBR 10151 são:

- Fixar condições para avaliar a aceitabilidade do ruído gerado em comunidades, mesmo que não existam reclamações.

- Especificar uma metodologia para a medição do ruído e também correções nos níveis medidos.

A metodologia de avaliação engloba as medições do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibéis ponderados em "A", comumente chamamos dB(A). Essas medições têm o objetivo de avaliar o nível de ruído do ambiente e o valor de L_{Aeq} representa o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A), referente a todo o intervalo de medição.

O procedimento indicado na ABNT NBR 10151 envolve medições externas aos limites do local que contém a fonte e também medições no interior da edificação. As medições não devem ser realizadas caso esteja chovendo muito forte ou trovejando. Podem ser feitas medições uma única vez ou várias vezes, em sequência.

Se houver reclamação de incômodo em relação a ruídos, as medições devem ser feitas no local onde o reclamante indicar o desconforto.

E em relação às janelas? Devem permanecer abertas ou fechadas?

A norma diz que as medições devem ser realizadas nas condições normais de utilização do ambiente, isto é, se as janelas costumam ficar abertas, mede-se com elas abertas. Caso contrário, fecham-se todas as janelas.

Para a avaliação do ruído, a metodologia se baseia em uma comparação entre o nível de pressão sonora (L_{Aeq}) medido e o nível de critério de avaliação (NCA), ilustrado no Quadro 1.2:

Quadro 1.2 | Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT (2000, p. 3).



Leia o artigo do SCHMID e compreenda a influência e importância do tratamento acústico nos espaços de música.

SCHMID, Aloísio Leoni. Adequação acústica dos espaços para a música. Seleção de exemplos históricos de música e arquitetura como apoio à aprendizagem. *Arquitextos*, São Paulo, ano 12, n. 135.04, Vitruvius, jul. 2011 <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.135/4008>>

Conforme consta na ABNT NBR 10151 (2000), o relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:



- a) Marca, tipo ou classe e número de série de todos os equipamentos de medição utilizados.
- b) Data e número do último certificado de calibração de cada equipamento de medição.
- c) Desenho esquemático e/ou descrição detalhada dos pontos de medição.
- d) Horário e duração das medições de ruído.
- e) Nível de pressão sonora corrigido L_c , indicando as correções aplicadas.
- f) Nível de ruído ambiente.
- g) Valor do nível de critério de avaliação (NCA) aplicado para a área e o horário da medição.
- h) Referência a esta Norma. (ABNT, 2000, p. 3)

Vamos agora conhecer a ABNT NBR 10152, que dispõe sobre os níveis de ruído para conforto acústico. Essa norma é de dezembro de 1987 e tem por objetivo fixar os níveis de ruído/som compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes.

Em relação a riscos de danos à saúde em decorrência do ruído, existem normas específicas.

Nas condições gerais de aplicação da NBR 10152 são seguidas as disposições da NBR 10151, além das demais normas ABNT correspondentes.

O Quadro 1.3 ilustra valores de dB(A), sendo que o valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, e o valor superior significa o nível sonoro máximo aceitável para a respectiva finalidade.

Quadro 1.3 | Valores dB(A)

Locais	dB(A)
Hospitais	
Apartamentos, enfermarias, berçários e centros cirúrgicos	35-45
Laboratórios e áreas de uso público	40-50
Serviços	45-55
Escolas	
Bibliotecas, salas de música e salas de desenho	35-45
Salas de aula e laboratórios	40-50
Circulação	45-55
Hotéis	
Apartamentos	35-45
Restaurantes e salas de estar	40-50
Portaria, recepção e circulação	45-55
Residências	
Dormitórios	35-45
Sala de estar	40-50
Auditórios e anfiteatros	
Sala de concertos, teatros	30-40
Salas de conferência, cinemas, de múltiplo uso	35-45
Restaurantes, bares e confeitarias	40-50
Escritórios	
Salas de reuniões	30-40
Salas de gerência, projetos e administração	35-45
Salas de computadores	45-65
Salas de mecanografia	50-60
Igrejas e templos (cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte	
Pavilhões para espetáculos e atividades esportivas	45-60

Fonte: adaptado de ABNT (1987 apud CARVALHO, 2006).



Exemplificando

Se você estiver em uma enfermaria, por exemplo, o nível sonoro de 35 dB é confortável aos usuários, enquanto que o nível sonoro de 45 dB é o máximo que pode ser considerado aceitável, de acordo com a ABNT NBR 10152 (1987).

Vamos agora conhecer a ABNT NBR 12179, que fala sobre o tratamento acústico em recintos fechados. Esta norma é de abril de 1992 e seu principal objetivo é fixar os critérios fundamentais para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados.

A NBR 12179 (1992) apresenta algumas definições importantes:

- Tratamento acústico.
- Som.
- Ruído.
- Isolamento acústico.
- Condicionamento acústico.
- Tempo de reverberação.
- Nível de pressão acústica, dentre outras.

Além dessas definições, a ABNT NBR 12179 descreve um roteiro para o desenvolvimento do tratamento acústico do recinto, que compreende determinações para isolamento e condicionamento acústico, além do cálculo do tempo de reverberação.

O tempo de reverberação é "o tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, após a extinção da fonte sonora, e é expresso em segundos" (ABNT, 1992, p. 2).

Quando uma orquestra está se apresentando, no momento final, o maestro faz um sinal para que a música pare. Se você prestar bem atenção, ainda existe um resíduo de som, por um tempo muito pequeno, podendo ser de centésimos de segundo. Esse resíduo de som é a reverberação. O eco é diferente da reverberação. No eco você percebe o som se repetindo várias vezes, até esse som "morrer". O eco é um atraso do som original e consiste em reflexões sucessivas do som. Se o atraso é muito pequeno entre os dois sons, nós não nos sentimos incomodados, e isso é percebido como uma reverberação.

Na nossa próxima unidade de ensino vamos aprender como calcular o tempo de reverberação e como verificar se é necessário fazer alguma intervenção no ambiente acústico para melhorar esse tempo de reverberação.

Em relação ao isolamento acústico, cada material apresenta um valor diferente e esses devem ser considerados na escolha da composição do ambiente, para garantir um tempo de reverberação do som maior ou menor, de acordo com o objetivo do ambiente.

O Quadro 1.4, a seguir, ilustra o isolamento acústico de alguns materiais mais comuns nas edificações.

Quadro 1.4 | Isolamento acústico de diversos materiais

Material	Isolamento acústico em decibels (500 Hz)
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 10 cm)	45
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 20 cm)	50
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 30 cm)	53
Alvenaria de tijolo furado (espessura de 25 cm)	10
Chapas ocas de gesso (espessura de 10 cm)	24
Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm)	20
Concreto – laje entre pavimentos	68
Vidro de janela (espessura de 2,0 a 4,0 mm)	20 a 24
Vidro de fundição (espessura de 3 a 4 mm), uma placa	24
Vidro de fundição (espessura de 4 a 6 mm), duas placas com camada de ar intermediária	36

Fonte: adaptado de ABNT (1992, p. 6).



Refleta

Note que o tijolo maciço apresenta um isolamento acústico de 45 a 53 dB, enquanto que a alvenaria de tijolo furado apresenta 10 dB de isolamento. Diante disso, podemos considerar o ar como um isolante acústico?

O ar pode ser considerado um elemento isolante acústico, pois, conforme introduzimos uma camada de ar no material de construção, o conjunto fica mais isolante. Por exemplo, considere

um vidro composto de uma única face e um outro vidro duplo, com uma camada de ar no meio dos dois vidros. O vidro duplo é bem mais isolante acústico que o vidro composto somente de uma face, pois o ar incorporado funciona como isolante acústico.

Vamos agora conhecer a ABNT NBR 15575?

Para quem adquire um imóvel, a NBR 15575, norma de desempenho de edificações habitacionais, vai de encontro ao que se procura no momento de escolher um imóvel, já que sempre se busca por conforto, estabilidade e segurança.

A discussão sobre o tema qualidade e desempenho acontece há vários anos, mas somente depois da publicação da NBR 15575, em 2013, é que os construtores e consumidores passaram a dar mais atenção a esses fatores, começando a haver uma mudança de cultura nos projetos habitacionais.

A Caixa Econômica Federal, que tem preocupação com o desempenho e qualidade das edificações, acompanhou todo o processo de elaboração e publicação da ABNT NBR 15575. A Norma ABNT NBR 15575 foi redigida conforme modelos internacionais de normalização de desempenho, e o conjunto normativo é composto por seis partes, que estão listadas a seguir:

Parte 1: Requisitos gerais.

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada parte da norma foi organizada por elementos de construção, sendo que o conforto acústico foi contemplado na parte 4, que abrange a habitabilidade, incluindo aí a estanqueidade, o desempenho térmico, acústico e lumínico, a higiene, funcionalidade e acessibilidade.



Vocabulário

ESTANQUEIDADE quer dizer "sem vazamento". Algo estanque impede a passagem de água.

A parte 4 da ABNT NBR 15575 é usada como um procedimento de avaliação de desempenho dos sistemas construtivos. Trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais, que se integram aos demais elementos da construção, interferindo no desempenho da edificação como um todo. As vedações verticais recebem esse nome porque servem apenas para vedar o ambiente através de um elemento vertical. Elas podem até ser chamadas de paredes, mas não têm função estrutural.

Mas para que servem as vedações verticais?

As funções não estruturais das vedações verticais são: estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, capacidade de fixação de peças suspensas, capacidade de suporte a esforços de uso, compartimentação em casos de incêndio, dentre outras.

Na parte 4 da ABNT NBR 15575 são estabelecidos os requisitos, critérios e métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais.

Mas existem algumas condições nas quais a ABNT NBR 15575-4 não deve ser aplicada. Essas condições são:

- Não se aplica a obras em andamento ou a edificações concluídas até a data da entrada em vigor da referida norma.
- Não se aplica a obras de reformas nem de "retrofit".
- Não se aplica em edificações provisórias.

A norma ABNT NBR 15575-4

estabelece critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, por exemplo, desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta). (ABNT, 2013, p. 5)



A ABNT NBR 15575-4 estipula critérios para a atenuação acústica dos ruídos de impactos aplicados às lajes de piso e para o isolamento do som aéreo dos pisos e da envoltória da construção (fachadas e coberturas) e não fixa limites para o isolamento acústico entre cômodos de uma mesma unidade.

Complementando, a ABNT NBR 15575-4 expõe os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico:

- Entre o meio externo e o interno.

- Entre unidades autônomas.
- Entre dependências de uma unidade e áreas comuns.

Pensando agora em ruídos externos, o que a NBR 15575-4 estabelece?

Considerando ruídos externos da ordem de 55 a 60dB(A), típicos de áreas residenciais ou pequenos centros comerciais, os valores estipulados para o isolamento acústico foram pensados para fornecer condições razoáveis de desempenho. Para áreas com a presença de fontes de ruído (aeroportos, rodovias, entre outros), a norma prescreve que se façam levantamentos no local e estudos de tratamento acústico.

Além disso, ensaios de campo devem ser realizados para verificação dos critérios de desempenho acústico dos sistemas construtivos.

Diante de tudo que você aprendeu nesta seção, podemos dizer que é preciso somar esforços para que se tenha uma melhor qualidade das edificações, de forma a otimizar o uso de recursos e valorizar os projetos.

É necessário um trabalho efetivo em equipe para que os projetos sejam bem qualificados, os clientes fiquem satisfeitos, e também para que não seja necessário um retrabalho visando corrigir deficiências que não foram previstas na fase projetual.

Sem medo de errar

Você está participando de uma equipe de profissionais capacitados para melhorar as condições de conforto acústico dos usuários em uma escola pública. Essa equipe foi contratada pela FDE (Fundação para o Desenvolvimento da Educação).

Você já fez a verificação de ruídos no entorno da escola e também observou como ocorre a propagação do som dentro das salas de aula. Também já quantificou os sons e ruídos, em alguns momentos predeterminados, encontrando o nível de ruído total em alguns ambientes, como salas de aula, pátio, biblioteca etc.

Agora você precisa orientar sobre a melhor maneira de apresentar os resultados para o contratante, de forma convincente. Os problemas de acústica poderão ser resolvidos? É possível apresentar um relatório de medições? Os níveis de ruído estão dentro dos limites prescritos na legislação? Quais as medidas necessárias para melhorar a qualidade acústica das salas de aula e fornecer conforto aos usuários? O auditório poderá ser construído sem sofrer interferência de ruídos indesejáveis?

Vamos supor que você tenha em mãos os resultados dos níveis de ruído dos vários ambientes analisados. Com esses dados, você pode redigir um relatório técnico no qual constem todos os resultados das medições realizadas, construir gráficos ilustrando o comportamento desses ruídos/sons e elaborar uma análise crítica sobre os resultados.

Vamos lá! Você tem as ferramentas para realizar um excelente trabalho!

Avançando na prática

Conforto acústico em habitação de interesse social

Descrição da situação-problema

Suponha agora que você tenha sido contratado por uma construtora renomada, que atua em projeto e construção de conjuntos habitacionais sociais, destinados a pessoas de baixa renda. Atualmente, existem muitas reclamações de ruído em excesso, principalmente em habitações de interesse social. Diante disso, a construtora quer desenvolver um projeto de qualidade, principalmente em relação a fornecer conforto acústico aos futuros moradores. Você foi contratado para elaborar um relatório técnico, descrevendo metodologias para medições acústicas e apresentando opções de vedações internas e externas, sempre priorizando o conforto acústico.

Com base no seu conhecimento, adquirido nas disciplinas de graduação, como você vai estruturar seu relatório técnico? Serão necessárias medições de som/ruído? Quantas e quais são essas medições? Em quais normas você vai se basear para apresentar um relatório convincente?

Resolução da situação-problema

Em primeiro lugar, você deve selecionar e pesquisar a legislação pertinente sobre conforto acústico. Leia e analise as normas ABNT NBR 10151, NBR 10152, NBR 12179 e NBR 15575. Elas serão ferramentas importantes para você estruturar seu relatório.

Em seguida, para que seu projeto fique adequado e considere os parâmetros de conforto acústico, você pode fazer um levantamento preliminar de qual é o nível de ruído gerado no ambiente do entorno do loteamento. Utilize o "decibelímetro", levando-o até o local

escolhido e realizando algumas medições de níveis de ruído no entorno da área onde vai ser construído o conjunto habitacional. Observe se os níveis de ruído são considerados aceitáveis, com base em pesquisa na literatura. Verifique também se há desconforto acústico, e se esse desconforto pode ser prejudicial à saúde dos usuários do ambiente em estudo.

Você pode também checar qual é o isolamento acústico requerido nas unidades autônomas.

Por fim, redija seu relatório técnico, de maneira clara e convincente, expondo todo o conhecimento adquirido durante a graduação. Boa sorte!

Faça valer a pena

1. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se dedica à elaboração de normas técnicas, sua difusão e incentivo. As normas não são estáticas; elas vão sendo aperfeiçoadas com o tempo, acompanhando a evolução da indústria e da técnica, e podem passar por revisões periódicas. Existem vários tipos de normas, com aplicações diferentes:

1. PROCEDIMENTO (NB).
2. ESPECIFICAÇÃO (EB).
3. MÉTODO DE ENSAIO (MB).
4. TERMINOLOGIA (TB).
5. SIMBOLOGIA (SB).
6. CLASSIFICAÇÃO (CB).
7. PADRONIZAÇÃO (PB).

- () Regulamenta a nomenclatura técnica.
- () Dimensões dos produtos.
- () Prescrições para os materiais.
- () Orienta a forma de amostrar e ensaiar um material.
- () Orientação para projeto e execução de obras e serviços.
- () Ordena e divide grupos de elementos.
- () Regulamenta as convenções para desenho.

Associe o tipo de norma à sua função e assinale a alternativa correta:

- a) 4 – 1 – 5 – 7 – 3 – 2 – 6.
- b) 5 – 6 – 1 – 2 – 3 – 7 – 4.
- c) 4 – 7 – 2 – 3 – 1 – 6 – 5.
- d) 5 – 7 – 2 – 4 – 1 – 3 – 6.
- e) 1 – 3 – 5 – 2 – 4 – 6 – 7.

2. Para os consumidores, a NBR 15575, norma de desempenho de edificações habitacionais, vai de encontro ao que eles procuram no momento de escolher um imóvel, já que sempre buscam por conforto, estabilidade e segurança. Esta norma trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais.

Dentre as funções não estruturais das vedações verticais, verifique quais são verdadeiras e assinale a alternativa correta:

I. Isolamento térmico, acústico e lumínico, estanqueidade à água.

II. Capacidade de suporte a esforços de uso, capacidade de fixação de peças suspensas.

III. Compartimentação em casos de enchentes ou em caso de incêndios.

IV. Estanqueidade à água e resistência aos esforços de compressão.

Assinale a alternativa correta:

a) V; V; V; F.

b) V; F; V; V.

c) V; V; F; F.

d) F; F; F; F.

e) F; V; F; F.

3. A ABNT NBR 15575-4 estabelece os requisitos, critérios e métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais.

Mas existem algumas condições nas quais a ABNT NBR 15575-4 não deve ser aplicada.

As condições de **não aplicação** da ABNT NBR 15575-4 estão listadas a seguir. Assinale a alternativa que representa a **aplicação** desta norma:

a) Obras de reforma.

b) Obras em andamento.

c) Obras de "retrofit".

d) Edificações residenciais.

e) Edificações provisórias.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10151**: Acústica – avaliação em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CABRAL, C. M. **Acústica industrial**: aplicação da análise de vibrações e ruído à identificação de fontes de ruído em ambiente industrial. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012. Cap. 2. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/20582/1/Tese%20-C%C3%A9lia.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural acoustics** – principles and design. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica** – ouvindo a arquitetura. São Carlos: EdUFSCar, 2006.

Tratamento e projeto acústico

Convite ao estudo

Você já aprendeu conceitos sobre som, ruído e seus valores e que, de maneira subjetiva, o ruído pode ser classificado como o som que “incomoda”. Nesta unidade, vamos aprender que o ruído, além de incomodar, pode ser prejudicial à saúde! Além disso, os ruídos influenciam diretamente no conforto acústico. Vamos aprender também como fazer uma medição de ruído e a calcular o tempo ideal de duração do som, que se chama tempo de reverberação (TR), que é um item primordial para alcançar conforto acústico em um ambiente. E mais: os ruídos influenciam diretamente no conforto acústico.

Para finalizar a unidade, estudaremos sobre a reflexão dos sons, como identificar e como projetar essas reflexões. Você vai gostar muito de entender o tempo de reverberação e de projetar espelhos acústicos!

Para que perceba a importância e aplicação dos conceitos que vai aprender nesta unidade, vamos continuar trabalhando na proposta da escola, uma situação real que você poderá enfrentar na vida profissional.

Você foi contratado pela FDE para compor uma equipe de profissionais capacitados a melhorar as condições de conforto acústico dos usuários em escolas públicas. As primeiras avaliações da escola de ensino fundamental e médio já foram feitas, e você e a equipe que participa do projeto perceberam que o local onde a escola está implantada sofre com ruído aéreo de uma avenida que passa em uma das laterais da escola. A proposta para o auditório foi aprovada pelo órgão financiador. Porém, a única área disponível para a implantação do auditório é ao lado do pátio. Você deve se lembrar de

considerar que as salas de aula estão construídas e que o auditório está na fase de projeto para posterior construção. Em que momento as questões relativas ao conforto acústico devem ser pensadas? É possível adequar um ambiente cuja construção já foi finalizada? É possível realizar medições dos ruídos que influenciam na acústica do ambiente?

Seção 2.1

Medição e tratamento sonoro

Diálogo aberto

Você e uma equipe estão avaliando a qualidade acústica de salas de aula e também a implantação de um auditório para uma escola. A conclusão das primeiras avaliações sobre a propagação do som nas salas de aula demonstrou que não é bem percebido pelos alunos. Não é possível escutar o professor com clareza. Você e sua equipe identificaram o tempo de reverberação do som como um dos problemas. Qual método é possível utilizar para conhecer mais precisamente o tempo de reverberação desse som? É possível avaliar quais outros itens estão contribuindo para que o tempo de reverberação não esteja de acordo?

E, quanto ao auditório, quais informações são necessárias para determinação do tempo de reverberação ideal para ele? Quais requisitos devem ser considerados?

Nesta seção, você vai aprender a calcular o tempo de reverberação dos ambientes e com certeza vai ficar empolgado com as possibilidades que esse conhecimento vai lhe fornecer. São situações bastante comuns, enfrentadas pelo arquiteto e urbanista no dia a dia. Vamos lá!

Não pode faltar

Você já aprendeu que a exposição excessiva a sons de alta intensidade, por um período muito longo, pode causar danos físicos e psicológicos ao usuário desse ambientes. Esses sons estão cada vez mais presentes no dia a dia das nossas cidades e são responsáveis pelo desconforto ambiental. Em ambientes internos, dependendo do nível de ruído, prejudicam a audição e compreensão, interferem na qualidade sonora do ambiente e também podem gerar danos à saúde. No ambiente urbano, o tráfego de veículos, buzinas e sirenes, barulho de máquinas, construções e outras atividades formam um conjunto que chamamos de "poluição sonora." A poluição sonora, segundo a World Health Organization (2011), é hoje o segundo maior problema ambiental que afeta as pessoas. Assim como a poluição

do ar, a poluição sonora costuma passar despercebida porque nos acostumamos com ela, estamos diariamente expostos ao barulho das cidades. Além de problemas físicos que podem ser irreversíveis no caso da perda da audição, a poluição sonora causa distúrbios do sono, stress e irritação.



Refleta

Pare por um instante na sua casa, no seu trabalho ou em uma praça e preste atenção nos ruídos, na "poluição sonora" desse ambiente. Ela o incomoda? É possível quantificar esse ruído?

Antes de começar uma construção, cuja atividade seja ruidosa, você precisa consultar a Lei de Uso e Ocupação do Solo do município onde a edificação será construída. Existem áreas apropriadas, reservadas para a indústria, por exemplo, onde não há residência. O ruído deve ser controlado e os trabalhadores protegidos.



Pesquise mais

A poluição sonora é considerada crime dentro das categorias de poluição do meio ambiente. Você pode encontrar maiores informações na Lei nº 9.9.605, de 12 de fevereiro de 1988, no artigo 54, disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 22 nov. 2017.

E também as resoluções CONAMA, nº1 e nº2 de 8 de março de 1990, que tratam respectivamente sobre critérios e padrões de emissão de ruído e o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>>; <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=99>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Quando eu identifico um ambiente, interno ou externo, onde o barulho incomoda; quando eu tenho um "ruído", como você já aprendeu, e preciso fazer uma intervenção, seja uma reforma para melhorar a acústica, seja a construção de uma nova edificação, eu executo uma medição para a caracterização desse ruído, para melhor conhecê-lo. Para fazer a medição, você precisará de um sonômetro, popularmente conhecido como decibelímetro, que esteja calibrado, além de precisar definir um roteiro para essa medição.

A primeira recomendação da norma NBR 10151 (2000) é que o aparelho utilizado possua o recurso de medição de nível de pressão sonora equivalente – Leq, ponderado na curva A, ou seja, dB(A). A maioria dos equipamentos dispõe desse recurso. Seguindo a construção do seu roteiro de medição, você precisará de um desenho do local, onde deverá marcar os pontos de medição. Quanto ao período de medição, algumas observações podem ser feitas:

- Se você vai medir o local para a construção de uma edificação que funcionará somente no período da manhã, faça a medição nesse período.

- Se você vai avaliar um local onde uma edificação funciona o dia todo, pode escolher horários nos quais você tenha “picos” conhecidos de ruído.

- Se o local for próximo de uma via de intenso tráfego, você pode medir durante todo o dia ou a noite, dependendo da intensidade do tráfego e do uso do local avaliado.



Exemplificando

Se você vai avaliar o ruído em uma edificação que fica ao lado de uma grande instituição de ensino, você terá horários, picos de ruído mais intensos, que provavelmente serão próximos do horário da entrada e saída dos alunos, e haverá veículos de vários portes trafegando. Esse período pode durar meia hora somente. Nesse caso, você não precisa fazer a medição o dia todo, mas somente durante o período de maior ruído.

Com relação ao intervalo entre uma medição e outra, a norma não faz especificações, você perceberá a necessidade de mais avaliações ou não. Note que é muito importante que o profissional que fará a medição tenha conhecimento prévio sobre o uso do ambiente que ele medirá, quais normas ele deverá seguir, parâmetros de conforto e também de leis federais e municipais. Muitas decisões dependem do conhecimento e bom senso do profissional.

A quantidade de vezes que esse som é refletido depende do material de revestimento das superfícies do ambiente. De modo simplificado, quanto mais lisas e duras forem as superfícies, maior será a reflexão do som. Quanto mais porosas e absorventes, menor será a reflexão do som. Isso quer dizer que a porcentagem do som que é absorvido deixou de ser refletido. Essas reflexões estão

associadas ao tempo de reverberação (TR), que é um indicador da qualidade acústica de uma sala ou ambiente. O TR é o tempo que o som permanece audível no ambiente a partir do instante em que a fonte para de emitir o som. Ele é determinado pelos coeficientes de absorção dos materiais presentes no ambiente.



Assimile

Se o tempo de reverberação é o tempo que o som permanece audível após a fonte ter cessado, quanto mais materiais absorventes eu tiver dentro desse ambiente mais rápido esse som será absorvido, ou seja, ele vai "acabar" antes, tendo um tempo menor de duração.

Pode-se calcular o TR de um ambiente já construído ou não, mesmo que ele ainda esteja em fase de projeto, aplicando-se a fórmula de Sabine, descrita a seguir:

$$TR = \frac{0,16 \times V}{S \times a}$$

Onde:

TR = tempo de reverberação (segundos)

0,16 = constante

V = volume da sala, ou ambiente (m³)

S = área das superfícies expostas dentro desse ambiente (m²)

a = coeficiente de absorção (adimensional)

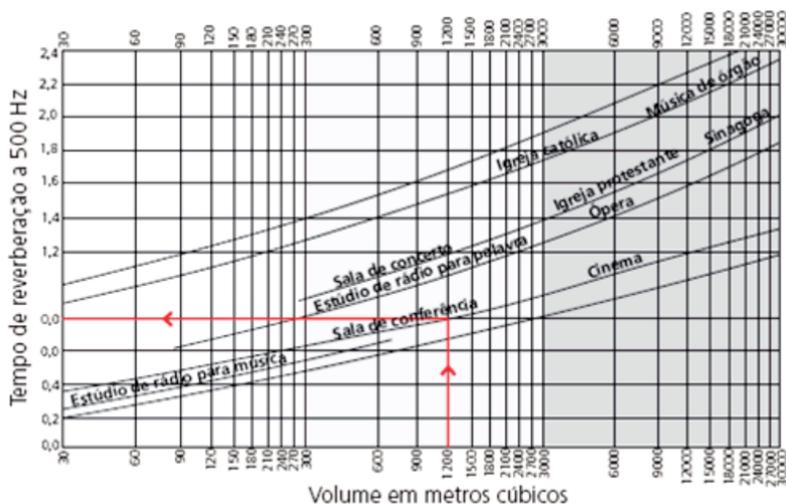
Você percebeu que, para determinar o TR de um ambiente, você precisa conhecer o volume total dele em metro cúbico e a área em metro quadrado de cada material exposto dentro dele, e isso inclui paredes, janelas, piso, forro. Mobiliários e pessoas também são contabilizados, mas individualmente, por exemplo, se você estiver trabalhando no projeto de uma sala de cinema ou teatro, as poltronas devem ser contabilizadas como unidades, não como área em metro quadrado. O número total de pessoas que vai ocupar o ambiente também deve ser contabilizado como unidade. Se a sala do exemplo for projetada para 100 pessoas, você contabilizará o coeficiente de absorção de 100 cadeiras e 100 pessoas.

Você também precisa do valor do coeficiente de absorção dos materiais, que vai indicar se um material possui maior ou menor

capacidade de absorção, sendo que esses valores você encontra tabelados na NBR 12179 (1992) ou em catálogos e sites de fornecedores de materiais absorventes.

O valor do TR será encontrado através do cruzamento de informações como: volume da sala (m^3) e a atividade, assim como uso desse ambiente, como você pode observar na Figura 2.1. Na figura, o tempo ótimo de reverberação para uma sala de 1.200 m^3 cujo uso é sala de conferência é de 0,8 segundos. Caberá a você, então, ajustar os materiais mais adequados, que sejam mais ou menos absorventes, para alcançar o tempo de reverberação indicado na tabela. A tabela pode ser encontrada na NBR 12179 (1992) como “tempo ótimo de reverberação”; é o mesmo que “tempo de reverberação”. É importante ressaltar que o tempo de reverberação é calculado somente para ambientes internos.

Figura 2.1 | Tempo ótimo de reverberação



Fonte: ABNT NBR 12179 (1992, p. 9).



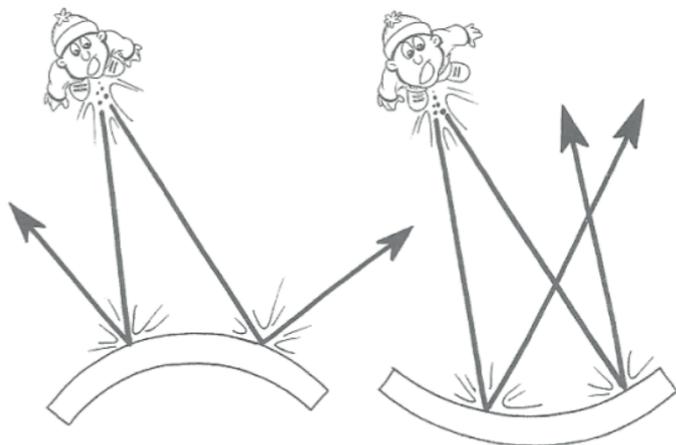
Reflita

Pensando no tempo de reverberação e nos materiais de um ambiente, como é uma sala de cinema? Você já reparou nas paredes, piso e teto? Em uma sala de aula, quais são os materiais das paredes, piso e teto? Por que eles são tão diferentes?

O "caminho" de um som dentro de um ambiente é geometricamente representado por raios (setas), que indicam o ponto de partida do som (fonte), e a forma como se espalha, a direção que assume quando atinge obstáculos e paredes. Esses raios representam as reflexões do som, também chamados de "raios sonoros".

A forma da superfície onde os raios incidem influencia na sua reflexão; o ângulo de reflexão é igual ao de incidência da luz (lei da reflexão). Dessa forma, quando o som incide em uma superfície convexa, ele espalha; ao contrário, quando incide em uma superfície côncava, resulta na concentração de raios (SOUZA, 2011). A Figura 2.2 demonstra a reflexão do som em uma superfície convexa e em uma superfície côncava.

Figura 2.2 | Reflexão sonora em superfícies convexas e côncavas



Fonte: Souza et al. (2011, p. 108).

Você percebeu que, além dos materiais que revestem as superfícies, a forma dessas superfícies é importante no resultado final da acústica de um ambiente.

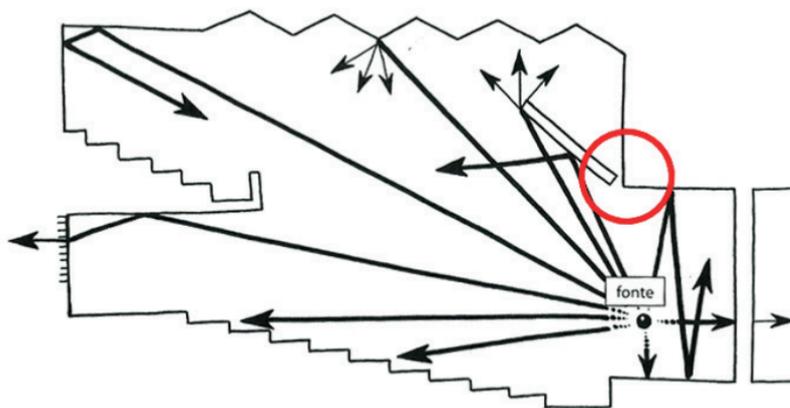
Quando temos um ambiente com materiais muito reflexivos, o som vai partir da fonte sonora e refletir muitas vezes, causando uma sensação de "eco". Dessa forma, a audibilidade fica prejudicada. A essas muitas reflexões damos o nome de reverberação.

Para ter "eco" em um ambiente, duas condições devem ser cumpridas:

- 1 – A reflexão deve ser forte e refletir em superfícies com baixo coeficiente de absorção.
- 2 – Se o percurso do "raio refletido" menos o "percurso" do raio direto for igual ou maior que 17 metros, teremos eco (SIMÕES, 2011).

Podemos manipular as reflexões do som para que atinjam determinados lugares ou que tenham melhor distribuição. Essa manipulação pode ser obtida através da forma das paredes e teto, mas também podemos criar formas que nos ajudem a refletir e levar o som para o lugar desejado. Essas formas são chamadas de "espelhos acústicos ou painéis acústicos", como você pode observar em destaque na Figura 2.3. Os espelhos podem ser construídos de gesso acartonado, placas de madeira ou outro material reflexivo.

Figura 2.3 | Reflexão sonora em espelhos acústicos



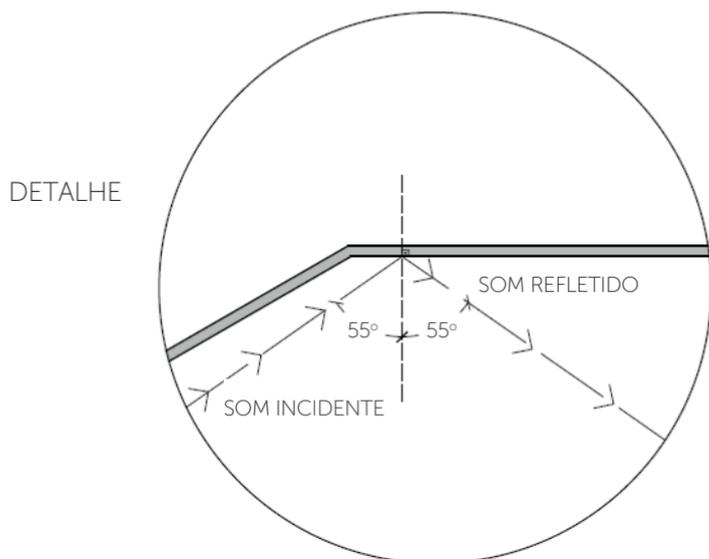
Fonte: Souza et al. (2011, p. 110).

O som que sai da fonte e atinge a plateia diretamente é chamado de "som direto"; os demais são chamados de reflexões do som. Veja que no destaque da Figura 2.2 temos um som que incide e é refletido por um espelho projetado para levar o som a outra parte da sala, possivelmente para o fundo da sala, onde o som direto não chega ou chega com menos intensidade. Ainda no exemplo da Figura 2.2, podemos ver outros espelhos no teto, que foram propositalmente projetados para refletir o som. Os espelhos acústicos podem ser

inseridos no teto, nas paredes, e fazer parte do forro ou mesmo estarem suspensos.

As reflexões podem ser desenhadas a partir do ponto que você deseja atingir. O mesmo ângulo incidente no espelho deve ser refletido, e você deverá testar várias inclinações para o espelho, até que os ângulos de incidência e reflexão sejam os mesmos, como podemos observar na Figura 2.4.

Figura 2.4 | Ângulo de reflexão do som



Fonte: elaborada pelo autor.

A "forma" de um ambiente pode ajudar ou atrapalhar muito na distribuição sonora. É papel do arquiteto estudar a melhor possibilidade de implantação e materiais para um ambiente. Lembre-se de que muitos problemas resultantes de um mau projeto podem ter soluções caras ou inviáveis.

Sem medo de errar

Você e sua equipe estão avançados no reconhecimento das necessidades de projeto da escola, das salas de aula e do auditório. Na visita ao local, vocês puderam conhecer as condições de ruído ambiente através de medições. A audibilidade nas salas de aula não é boa, e o local para a implantação do auditório tem bastante

ruído. O tempo de reverberação é um indicador de boa acústica do ambiente, sendo que, através da fórmula de Sabine, é possível determiná-lo. Tanto para as salas de aula quanto para o auditório, você precisará de um desenho dos locais, não há uma relação clara entre as ideias deste trecho; rever

O primeiro passo é conhecer o volume (m^3), as áreas das superfícies expostas e seus respectivos materiais. Sugiro que você faça uma tabela, como a Tabela 2.1, por exemplo, para organizar as informações.

Sala de aula:

Dimensões: 20 x 20 x 2,80 m

Volume: 1120 m^3

25 cadeiras / 25 alunos e 1 professor

7 janelas 1,50 x 1,10 em vidro

1 porta de madeira 0,90 x 2,10 m

TR ótimo para 1120 m^3 - uso: sala de conferência = 0,75 segundos

1 quadro negro 18 x 1,50 m

Tabela 2.1 | Informações para cálculo de TR

Superfície	Área m^2 (S)	Material	Coef. de absorção (a)	S.a
Piso	400 m^2	ceramico	0,01	4
Teto	400 m^2	alvenaria	0,02	8
Paredes *	183,56 m^2	alvenaria	0,02	3,67
Cadeiras	25 unid.	madeira	0,02	0,5
Alunos	25 unid.	-	0,45	11,25
Professor	01 unid.	-	0,45	0,45
Janelas	11,55 m^2	vidro	0,03	0,35
Porta	1,89 m^2	madeira	0,06	0,11
Quadro negro	27 m^2	-	0,03	0,81
			Soma de todos os S.a	29,14

Fonte: elaborada pelo autor.

Não se esqueça de descontar a área das janelas, da porta e do quadro negro da área total da parede.

Aplicando a fórmula de Sabine, temos:

$$TR = \frac{0,16 \times V}{S \times a} \rightarrow \frac{0,16 \times 1120}{27,89} \rightarrow 6,15 \text{ segundos}$$

Você percebeu que o TR do local está bem longe do ideal recomendado pela tabela, que é 0,75 segundos. O que podemos perceber é que temos um TR muito alto, ou seja, temos materiais muito reflexivos. O procedimento para correção é a aplicação de materiais de maior coeficiente de absorção, que diminuirão a reflexão e, por consequência, o tempo de reverberação.

O procedimento para o cálculo do TR do auditório é o mesmo, mas a principal diferença entre as salas de aula e o auditório é que um já está construído, portanto você trabalhará com uma adaptação, uma reforma, enquanto o outro ainda é um projeto. Para o auditório, você terá condições de projetar com materiais adequados, previamente escolhidos, para um TR correto.

Avançando na prática

Cálculo de TR para uma sala de ópera

Descrição da situação-problema

O Governo do Estado de Minas Gerais quer reabrir uma antiga sala de ópera, que fica no circuito das cidades históricas mineiras. Todo o conjunto é um belo exemplo do barroco mineiro e tem valor histórico artístico incontestável. O governo do estado fez uma seleção de equipes, e a sua foi contratada para a consultoria de acústica. Visitando o local, fazendo observações e com a planta em mãos, você percebeu que o TR dessa sala poderia ser o problema. De fato, o valor de TR calculado foi 0,60 segundo, quando deveria ser 1,0 segundo de acordo com a NBR 12179 (1992). O que você pode fazer para corrigir esse TR? Isso é possível?

Dados da sala:

Dimensão: 30 x 30 x 4,00 m

Volume: 3600 m³

Uso: ópera

Resolução da situação-problema

Com a planta baixa em mãos e a relação de materiais e suas áreas, você calculará o TR.

Superfície	Área m ² (S)	Material	Coef. de absorção (a)	S.a
Piso*	873 m ²	Marmore	0,01	8,73
Teto	900 m ²	Madeira e material absorvente	0,59	531
Paredes *	452 m ²	Chapa absorv. 50 mm	0,59	266,68
Cadeiras	200 unid.	Estofado com tecido	0,20	40
espectadores	200 unid.	-	0,45	90
Cantor/músicos	04 unid.	-	0,45	1,8
Cortina grossa	21 m ²	Tapeçaria/veludo	0,40	8,4
Porta	7,00 m ²	Madeira	0,06	0,42
Tablado	27 m ²	Madeira	0,03	0,81
			Soma de todos os S.a	947,84

Não se esqueça de descontar a área do tablado de madeira da área total do piso, a porta e cortina da área total da parede.

$$TR = \frac{0,16 \times V}{S \times a} \rightarrow \frac{0,16 \times 3600}{947,84} \rightarrow 0,60 \text{segundos}$$

O que acontece nessa sala é que temos muito material absorvente. O som está sendo mais absorvido do que refletido, então ele é mais "curto". A solução é substituir algum material absorvente por outro que não seja tão absorvente. Se você substituir o material absorvente do teto por um forro mineral de ca 0,15, o valor de Sa dele será 135 ao invés de 531. Aplicando a formula, teremos um novo TR de 1,04 segundos. Trata-se de um resultado muito bom.

Faça valer a pena

1. Nos centros urbanos, estamos diariamente expostos a diversos tipos de ruídos, e essa exposição é tão rotineira que os ruídos acabam passando despercebidos. Expostos, podemos sofrer as consequências na saúde por conta da poluição sonora. Conhecer e avaliar o ruído é uma tarefa importante para o arquiteto na medida em que esse é um “construtor” do espaço urbano, que influencia no conforto dos ambientes e na saúde dos usuários.

Analise as afirmativas a seguir:

I – Os ruídos urbanos de obras e construções afetam somente as pessoas que estão trabalhando diretamente nelas, nunca o entorno.

II – A poluição sonora é hoje o quinto maior problema ambiental mundial segundo a WHO (2011).

III – O tráfego de diversos veículos no meio urbano constitui um meio de poluição sonora.

IV – A medição de ruídos não tem um intervalo de tempo pré-definido pela NBR 12179 (1992). Quem especifica o intervalo é a pessoa que vai efetuar a medição.

V – Para avaliar o ruído em um ambiente, não é necessário ter conhecimento algum sobre seu uso e localização.

Considerando a influência dos ruídos no conforto ambiental, verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta:

- a) I, III e V.
- b) II, III, IV e V.
- c) I, III e V.
- d) III e IV.
- e) I, IV e V.

2. O tempo de reverberação (TR) é um indicador de excelência acústica, e cada ambiente deve ser avaliado segundo a sua necessidade. O tempo de reverberação (TR) é o tempo que o som permanece audível depois de cessada a fonte e está relacionado à capacidade de absorção dos materiais das superfícies expostas.

Analise as afirmativas a seguir:

I – A indicação do TR ótimo de um ambiente, segundo a NBR 12179 (1992), é obtida através do cruzamento de dados como área e volume dele.

II – Se um ambiente tem um valor de TR alto e preciso baixar, a aplicação de materiais absorventes nas superfícies pode resolver.

III – O TR somente pode ser calculado para ambientes prontos, nunca projetos.

IV – Para fazer o cálculo do TR através da fórmula de Sabine, é essencial

conhecer o volume total do ambiente.

V – O conforto acústico nas grandes cidades é extremamente importante, e avaliar o TR de praças e espaços aberto é uma forma de garantir que esses sejam confortáveis e adequados.

Considerando a avaliação do TR de um ambiente, verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta:

- a) I, II e IV.
- b) II e IV.
- c) I, II e V.
- d) II, IV e V.
- e) I, III e V.

3. A direção que o som toma após ser emitido de uma fonte é representada com uma "seta", indicando o caminho que toma após atingir uma dada superfície. O material que reveste a superfície e a sua forma tem influência na direção do som, do raio sonoro. Esses raios podem ser manipulados através do projeto de "espelhos acústicos" ou painéis acústicos.

Analise as afirmativas a seguir:

I – Os raios sonoros que representam o som também são conhecidos por reflexões. Quando incidem sobre uma superfície bastante absorvente, grande parte do som é refletido e uma pequena parte é absorvido.

II – A direção do raio sonoro refletido depende do ângulo com o qual esse incide sobre a superfície, e a reflexão sonora segue a Lei da reflexão.

III – Quando um raio atinge uma superfície côncava, a reflexão sonora será espalhada.

IV – Espelhos acústicos direcionam o som para lugares onde o som direto não chega ou chega com menor intensidade.

V – O único local onde podem ser colocados espelhos acústicos é no forro de um ambiente.

Baseado na reflexão do som e no projeto de espelhos acústicos, verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta:

- a) II, IV e V.
- b) I, II e IV.
- c) II, III e V.
- d) I, II e III.
- e) II e IV.

Seção 2.2

Materiais para tratamento sonoro

Diálogo aberto

Você e sua equipe estão caminhando bem na avaliação e projeto da escola. Os conceitos sobre como realizar a medição, em quais dias e períodos, estão claros para você agora. Você também já sabe os itens que influenciam no conforto acústico de um ambiente, especialmente o tempo de reverberação. Agora, você conhecerá os tipos de tratamentos sonoros, quando aplicá-los e quais materiais usar. Então, vamos continuar com o trabalho!

Considerando que as salas de aula já estão construídas e tendo determinado o tempo de reverberação ideal para elas, você acha que é possível fazer a correção desse tempo? A sua equipe é capaz de indicar uma solução para essa correção? Pensando agora no auditório que será construído, quanto ao local da sua implantação: qual tratamento deve ser aplicado ao projeto considerando o tipo de ruído identificado?

Não pode faltar

Você já aprendeu o conceito de ruído, se o ruído é aéreo ou de impacto e também como medi-lo. Agora, vamos aprender quais as formas de tratamento sonoro para alcançar o conforto acústico.



Lembre-se

O ruído aéreo é transmitido pelo ar e o ruído estrutural se propaga pela estrutura das edificações.

Dentro das alternativas de tratamento do som, podemos simplesmente isolar um som, sem necessariamente “tratá-lo”, fazendo com que ele não entre ou não saia de um determinado ambiente. Já no condicionamento acústico, podemos aplicar um tratamento para que o som não seja somente isolado, mas para que fique adequado ao ambiente, para deixá-lo confortável acusticamente. Quando somente isola-se um som, mantendo-o

fora do ambiente que se deseja proteger, na maioria das vezes não importa o que acontece com o som externo, desde que ele permaneça fora, isolado.



Exemplificando

Se você morasse em um apartamento de frente para uma avenida de tráfego intenso, muito ruidosa, você provavelmente procuraria uma forma de isolar o ruído para o lado de fora do seu apartamento, sem nenhuma preocupação com ele.

Morando no mesmo apartamento, você está tentando aprender a tocar saxofone e estuda no seu quarto. Agora, você vai se preocupar em isolar o som para não incomodar os vizinhos, mas também em tratá-lo de alguma forma porque você estará em contato direto com o som isolado no seu quarto.

Simplesmente isolar um som dentro de um ambiente sem a preocupação com a incidência dele sobre as superfícies pode gerar muitas reflexões, muita reverberação, como estudamos na seção anterior. Um grande auxílio no direcionamento do tratamento do som é o tempo de reverberação, que vai nos indicar qual a duração confortável de um som em determinado ambiente. Arelado ao tempo de reverberação está o comportamento dos materiais, se são reflexivos ou absorventes. Quando eu quero refletir um som, preciso de uma superfície lisa e dura. Quanto maior forem essas características, maior será a reflexão. Ao contrário, quanto mais rugosas e macias, mais absorventes.

Também é importante saber que, para o isolamento sonoro acontecer, é imprescindível que o material isolante seja denso. Quanto mais denso, maior a capacidade de isolamento.



Refleta

Se você tiver uma parede de 15 cm de polipropileno expandido (EPS), que no Brasil é popularmente conhecido como Isopor®, e outra parede de 15 cm de tijolo comum, qual das duas tem mais capacidade para isolar um som?

O isolamento sonoro também está presente em ambientes industriais, onde podemos ter uma máquina ou um processo bastante ruidoso no meio da linha de produção. Se não podemos

mudar a máquina ou o processo de lugar, uma saída é isolar. Podemos criar uma “caixa” de um material denso, uma cabine, para isolar a máquina, por exemplo. Nessa situação, não precisamos nos preocupar com o som que vai ficar dentro da caixa. Mas, se eu estou projetando uma sala de concertos, esse som não deve sair de dentro da sala. Nesse caso, existe uma preocupação com o comportamento do som dentro da sala, e o critério para o quanto o som deve ser absorvido é o tempo de reverberação, então terei de isolar e tratar o som dentro do ambiente.



Refleta

Agora, convidamos você a pensar sobre os ambientes do seu cotidiano, em qual deles o som deveria ser isolado? Quais ambientes deveriam ter o som tratado?

Para isolar um som ou um ruído, é importante também que você conheça a origem dele, se é aéreo, estrutural ou de impacto. De modo geral, o ruído aéreo pode ser isolado com elementos verticais, como: paredes, esquadrias, antecâmaras; e o ruído estrutural pode ser isolado com elementos horizontais, pisos, lajes e forros (SIMÕES, 2011). Dutos e tubulações também podem ser ruidosos, e existem no mercado várias opções de revestimento para eles. Em situação de ruídos de impacto, você pode trabalhar com isolamento de piso, ou ainda uma base flexível e bastante absorvente, no caso de uma máquina.

Um conceito indispensável quando estudamos materiais de absorção é o coeficiente de absorção – α , que é a capacidade de um material em absorver o som. Seu valor pode variar de 0 a 1 e não é o mesmo para diferentes frequências. Isso significa que, para um determinado material, sua capacidade de absorção pode aumentar ou diminuir para sons graves, médio e agudos. O α de um material também varia no mesmo material de acordo com a espessura dele.



Pesquise mais

Você pode encontrar uma boa relação de materiais e seus respectivos coeficientes de absorção no capítulo 10, páginas 235, 236 e 237 do livro *Acústica aplicada ao controle do ruído*, de autoria de Sylvio R. Bistafa.

Hoje, no mercado, temos à disposição uma série de materiais isolantes e absorventes acústicos.

Como exemplo de materiais isolantes, podemos citar:

- Janelas de vidro simples, duplo ou insulado.
- Pisos e mantas de borracha para piso laminado.
- Pannel de lã de vidro aglomerada com resina sintética.

Como exemplo de materiais absorventes, podemos citar:

- Lã de vidro (Figura 2.5).
- Lã de rocha (Figura 2.6).
- Lã de Pet (Figura 2.7 (a) e Figura 2.7 (b)).
- Espuma de polietileno (Figura 2.8 (a) e Figura 2.8 (b)).
- Placas de fibra de coco (Figura 2.9 (a) e Figura 2.9 (b)).

Figura 2.5 | Lã de vidro



Fonte: acervo do autor.

Figura 2.6 | Lã de rocha



Fonte: acervo do autor.

Figura 2.5: a lã de vidro é produzida a partir do aquecimento a 1450 °C de uma mistura de areia, aditivos e vidro. O resultado final são milhões de filamentos de vidro, com aspecto semelhante à lã. É comercializado em: mantas, rolos, tubos e placas. A lã de vidro é um excelente isolante termoacústico.

Figura 2.6: o processo de produção da lã de rocha é semelhante ao da lã de vidro, rochas basálticas e outros minerais são aquecidos a aproximadamente 1500 °C, transformados em filamentos semelhantes à lã. O material final pode ser muito leve ou pesado, dependendo da sua compactação. É comercializado em: mantas, rolos, tubos e placas, sendo também um excelente isolante termoacústico.

Figura 2.7 (a) | Lã de Pet



Fonte: foto do autor.

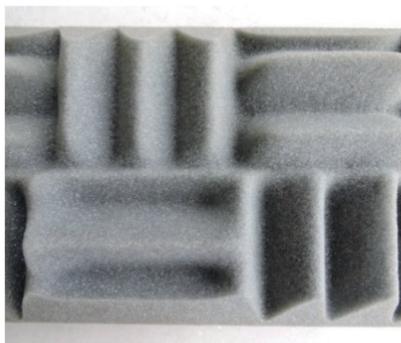
Figura 2.7 (b) | Lã de Pet



Fonte: foto do autor.

Figura 2.7 - A lã de Pet é produzida a partir da reciclagem das garrafas plásticas descartadas. Tem substituído a lã de vidro e lã de rocha com bom desempenho térmico e acústico. Sua vantagem é justamente seu processo de fabricação, tendo em vista que não usa nenhum material extraído da natureza.

Figura 2.8 (a) | Espuma de polietileno



Fonte: acervo do autor.

Figura 2.8 (b) | Espuma de polietileno



Fonte: acervo do autor.

Figura 2.7: a espuma de polietileno é popularmente conhecida como "sonex", que é o nome comercial dado pela empresa fabricante, OWA. Esse material é muito versátil, possuindo diversas formas, cores e desempenho para várias necessidades diferentes. Esses "sulcos" permitem o aumento da área de absorção do som sem, contudo, aumentar a base do material ou seu peso de forma considerável. Comumente comercializado em placas.

Figura 2.9 (a) | Fibra de coco



Fonte: acervo do autor.

Figura 2.9 (b) | Fibra de coco



Fonte: acervo do autor.

Figura 2.9: as placas de fibra de coco são produzidas a partir de resíduos de coco, descartado para consumo de água e fabricação de outros produtos. São normalmente aplicados como “recheio” de paredes para isolamento de ruído aéreo. Por ser um produto orgânico, a recomendação é que não seja exposta à água ou intempéries. Além disso, pode hospedar insetos. É comercializado em placas e rolos.

Você deve ter percebido que todos esses materiais têm em comum o fato de serem porosos, “aerados”, não compactos. Essa é uma forma de permitir que o som, enquanto energia, entre e se perca. Quando o som se divide por esses poros aerados, ele perde energia em forma de calor, sendo assim absorvido pelo material.

Vale ressaltar que nenhum desses materiais de absorção sonora funciona como “isolante acústico” sozinho pois para isso precisaria ser mais denso. No entanto, pode ser empregado em um sistema de isolamento do tipo sanduiche, em que eu tenho as superfícies externas em alvenaria, gesso acartonado ou outro, e o recheio de qualquer um desses materiais, dependendo do quanto quero isolar.



Assimile

O som é uma onda em forma de energia e, quando essa energia incide sobre uma superfície, parte dela reflete, parte é absorvida e parte é transmitida. A quantidade refletida ou absorvida é que vai caracterizar um material isolante (maior energia refletida) ou absorvente (maior energia absorvida). Não existe um material que seja 100% refletor ou absorvente.

Quando falamos em isolamento sonoro, a NBR 12179 estabelece que o tratamento acústico de um ambiente para conforto humano implica no conhecimento do local e conhecimento do nível de pressão sonora externa (em dB), do ruído externo no caso, você pode obter esse valor com o uso de um decibelímetro. O próximo passo é conhecer o nível de pressão sonora interna que você também pode obter com um decibelímetro. O nível de som adequado dentro do ambiente, confortável, você deve consultar na NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico, pois ele varia de ambiente para ambiente. Se o isolamento não for adequado, você pode fazer o condicionamento acústico agregando materiais de isolamento do som. O isolamento é o resultado da subtração simples entre o nível de pressão sonora externo e interno. O nível de pressão sonora pode ser usado para saber quanto um material pode reduzir um som, de um ambiente para outro.



Exemplificando

Imagine que ao lado da sua casa tem uma fonte de ruído que você mediu 80 dB e dentro do seu quarto você mediu 60 dB. A diferença por subtração simples é de 20 dB. Se você colocar uma parede e uma janela que isolem juntas 50 dB, mantiver tudo bem fechado, na nova medição o sonômetro vai registrar 30 dB internamente. Por subtração simples, este é o nível de pressão sonora.

No caso de um projeto novo, por exemplo, uma sala de cinema, você precisa pensar em paredes que isolem o som fora dela, pois ninguém vai querer assistir um filme ouvindo o barulho do trânsito ou das pessoas na recepção do cinema. Então, você terá de medir o nível de pressão sonora externo, com o sonômetro, e avaliar se paredes simples de alvenaria podem precisar de mais isolamento (FERREIRA NETO; BERTOLI; BARRY, 2010).



Pesquise mais

A Tabela 1 no anexo da NBR 12179 (1992) mostra o valor de isolamento acústico proporcionado por diversos materiais de construção.

Você pode acessar esse material na sua biblioteca virtual.

O isolamento acústico se dá por evitar que um som, um ruído, entre ou que esse saia de um ambiente e pode ser feito de forma isolada. Pode haver a preocupação com o som isolado ou não. O condicionamento

acústico envolve o tratamento do som, que, na maioria das vezes, inclui isolar e posteriormente tratar o som dentro do ambiente. A escolha do tipo de tratamento vai variar de acordo com o uso do ambiente.

Sem medo de errar

Retomando o seu desafio profissional, você realizou as análises nas salas de aula e muito possivelmente tem um tempo de reverberação mais alto do que deveria. Tal valor foi encontrado através do cálculo do TR, que foi aprendido na sessão anterior juntamente com a metodologia de correção.

É muito comum que nossos ambientes tenham um TR mais alto do que o recomendado, mas, grande maioria dos casos, é possível fazer essa correção. Você primeiramente vai consultar o valor de TR indicado para o ambiente na tabela de TR ótimo da NBR 12179 (1992), fazer o cálculo do TR e depois avaliar quais superfícies podem receber a aplicação de materiais de absorção, como a lã de rocha, lã de vidro ou lã de Pet, pois são eles que vão absorver as reflexões do som e, conseqüentemente, baixar o TR. Existe uma grande variedade de materiais. Você pode consultar catálogos de fabricantes e descobrir outras opções, mas, de modo geral, esses contemplam um dos materiais acima sugeridos, combinados com revestimento de madeira, gesso e outros.

Sim, é possível fazer a correção e ela pode ser feita aplicando materiais mais absorventes nas superfícies expostas, caso o TR encontrado seja mais alto do que a recomendação da tabela de TR ótimo da NBR 12179.

Quanto ao auditório, foi dito que o lugar da implantação é ao lado do pátio, um lugar que deve ser avaliado no momento de maior ruído, o intervalo. Possivelmente, o ruído será aéreo, e, para o tratamento desse tipo de ruído, recomenda-se isolamento de paredes.

Avançando na prática

Habitação residencial multifamiliar

Descrição da situação-problema

Você está fazendo um projeto para uma habitação residencial multifamiliar, o que significa que teremos um prédio de apartamentos.

Nesse tipo de habitação, é comum que haja reclamação entre os vizinhos por conta de ruídos estruturais, aéreos e de impacto. Você consegue elencar onde esses ruídos podem ser causados e como são transmitidos? Com a projeção de pontos onde esses ruídos podem aparecer, quais decisões projetuais você deve tomar para evitar que eles surjam?

Resolução da situação-problema

Os ruídos aéreos são transmitidos através do ar, o que significa ruídos externos que podem vir do local de implantação. Também ruídos de atividades como ouvir música, assistir tv, aprender um instrumento e outros que podem ser transmitidos pelo ar podem ser minimizados através de isolamento vertical, janelas e paredes capazes de isolar o som. Ruídos estruturais e de impacto podem ser minimizados por isolamento horizontal, pisos com manta de borracha. Tubulações também são causa de ruído e podem receber uma “capa” de isolante acústico. Para auxiliar na escolha das esquadrias e paredes, você pode consultar catálogos de fornecedores e a Tabela 1 do anexo da NBR 12179 (1992).

Faça valer a pena

1. Muitos profissionais confundem o conceito de isolamento acústico e de condicionamento acústico. Quando isolo um som, nem sempre preciso de um condicionamento, um tratamento, o que quer dizer que o isolamento pode ser um processo único. O condicionamento acústico pode envolver o isolamento do som e outras providências. Observe as asserções a seguir:

I. Todo o ruído isolado deve ser tratado com material isolante e posteriormente absorvente.

II. O condicionamento acústico envolve maior análise do ambiente e conhecimento do som, principalmente o tempo de reverberação indicado.

III. Superfícies lisas e duras absorvem praticamente 100% do som incidente.

IV. Um bom tempo de reverberação é resultado da escolha acertada de materiais de tratamento acústico.

V. Rugosidade e porosidade são características de materiais de absorção.

Verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta:

a) I, II e V.

d) I e III.

b) I, II e IV.

e) III, IV e V.

c) II, IV e V

2. O isolamento sonoro é empregado para barrar um som, evitar que entre ou que saia de um determinado ambiente. Para que seja efetivo, o material isolante deve ser denso, fazendo com que o som incidente seja refletido em forma de reverberação.

Analise as asserções:

I. Borracha – densidade: 1.100 Kg/m^3 .

II. Aço – densidade: 7.700 Kg/m^3 .

III. Concreto – densidade: 2.600 Kg/m^3 .

IV. Gesso – densidade: 960 Kg/m^3 .

V. Vidro – densidade: 2.300 Kg/m^3 .

Verifique quais asserções são verdadeiras na ordem do menos isolante para o mais isolante.

a) II, III, V, IV e I.

d) IV, I, V, III e II.

b) II, III, V, I e IV.

e) II, I, IV, III e V.

c) V, IV, III, I e II.

3. Materiais de isolamento sonoro e de absorção sonora podem ser empregados isoladamente e juntos. Tudo depende do ambiente, da situação e do desempenho acústico que se espera do local. Recentemente, as edificações habitacionais tiveram um ganho de qualidade devido à publicação da NBR 15575 (2013), que estabelece diretrizes sobre vários aspectos, inclusive a acústica. Nas habitações, principalmente multifamiliares, costumeiramente temos muitas reclamações sobre ruídos das mais diversas fontes.

Considerando os ruídos, suas fontes e alternativas para tratamento, verifique quais asserções são verdadeiras:

I. Ruídos estruturais são vibrações transmitidas através do ar, podendo ser tratados de modo vertical através de esquadrias e paredes.

II. Uma pessoa caminhando pode causar ruído de impacto, o qual pode ser tratado de modo horizontal através de pisos e mantas de borracha.

III. Dutos e tubulações em uso não causam ruídos quando estão embutidos, portanto nunca precisam ser tratados.

IV. Uma opção para o isolamento de ruídos aéreos são esquadrias de vidros simples, duplos ou insulados.

V. As placas de fibra de coco são ótimas isolantes quando empregadas na parte externa das superfícies.

Assinale a alternativa correta:

a) I, II e IV.

d) II, III e IV.

b) I, III e V.

e) II e IV.

c) IV e V.

Seção 2.3

Projeto de conforto acústico

Diálogo aberto

Você já aprendeu sobre os ruídos, a relação das ideias expostas não está clara; rever Também aprendeu sobre espelhos acústicos e materiais de tratamento sonoro! Neste momento, você é capaz de entrar em um auditório, por exemplo, e fazer muitas avaliações, de forma conceitual e perceptiva.

Agora, você vai aprender um pouco mais sobre projetos, como são feitos e o que devem conter. É importante lembrar que cada projeto é único, tem uma necessidade específica e uma solução adequada.

Dentro da arquitetura não existe uma única solução projetual, mas possibilidades que atendem à necessidade do cliente/usuário. Você, enquanto profissional, deve estar atento a essas necessidades. Nesta seção, vamos aprender sobre algumas delas e como representá-las no projeto.

O trabalho de conforto acústico está caminhando para a finalização. Nesta etapa, você conhece bem o local do projeto, fez visita, avaliou, efetuou medições. Tem plena condição de responder ao contratante qual é a situação e quais os meios para alcançar conforto acústico. Você e sua equipe finalizaram os cálculos e definiram os critérios necessários, de acordo com o trabalho para o qual vocês foram contratados: adequação das salas de aula e projeto de um auditório.

Quais informações devem ser apresentadas ao contratante? De que maneira essas informações poderão ser apresentadas? Um projeto? Um relatório?

Não pode faltar

O conforto acústico contempla uma condição de excelência para um ambiente onde a acústica é importante. De modo geral, esses ambientes são internos, mas podem também ser externos como vimos na seção anterior, o impacto do ruído urbano na saúde. Alguns ambientes são mais requisitados no quesito conforto

acústico do que outros, como as salas de reunião, auditório, biblioteca, salas de aula, cinema. Na indústria, o ruído também recebe atenção muito especial, uma vez que pode causar danos à saúde dos trabalhadores.

Hospitais são casos bem específicos, onde o silêncio, ou a maior redução possível dos ruídos, é essencial para o bom atendimento e bem-estar dos pacientes. Também a escolha do material deve ser mais criteriosa, pois esses devem ser passíveis de higienização e lavagem. E não podem permitir que microrganismos se desenvolvam ou insetos se instalem em pequenas aberturas.

Escolas também são casos muito especiais, pois, se a acústica é ruim, o aprendizado pode ser muito prejudicado. Imagine a deficiência no progresso de alfabetização se as crianças não ouvem bem, e, se ouvem, não entendem a professora.

O som é capaz de provocar boas sensações; o ruído, por outro lado, é aquele que incomoda, e esse conceito se aplica a vários ambientes comerciais como estratégia de venda, fazendo com que o cliente permaneça o maior tempo possível no local, consuma ou compre mais.



Reflita

O impacto do nível de ruído de um restaurante fast food é o mesmo do que o de um restaurante à la carte? Qual a sensação que esses ruídos podem provocar nos clientes?

No restaurante fast food o conceito é exatamente a velocidade: o cliente vai ficar pouco tempo, e a agilidade necessária pode causar ruídos desagradáveis, mas o cliente possivelmente não vai -los. Ele está ali conscientemente de forma rápida e só o que espera é receber seu pedido o mais breve possível. É diferente do cliente do restaurante 'à la carte', que vai sentar e apreciar o tempo que passar ali. Certamente, seu prato levará um tempo maior para ser elaborado e, conseqüentemente, apreciado. O cliente espera que toda sua estadia ali seja agradável e confortável, então ele vai, com certeza, estar mais atento ao som ambiente.

Outro exemplo de boa acústica em favor das vendas são as grandes redes de supermercado, que são espaços barulhentos por natureza, com carrinhos, prateleiras de metal e muitas superfícies reflexivas. O investimento em carrinhos com rodas que causam

menos ruído, placas de materiais absorventes presas à cobertura absorvem uma parte do ruído, e, aliada a essas estratégias de redução do ruído, está a música ambiente, tornando-o mais agradável.

Bares e boates, por exemplo, são casos em que o conforto acústico extrapola os limites do ambiente, considerando os vizinhos.

Você percebe como a área de aplicação do conforto acústico é ampla? São vários itens que devem ser considerados para as mais diversas situações. A boa acústica envolve a compreensão e conhecimento do arquiteto na manipulação do som.



Pesquise mais

Existem alguns softwares de simulação para modelagem computacional e mapa acústico, que auxiliam o profissional no desenrolamento do projeto acústico. Eles podem atuar em diversas áreas, de edificações a projetos automotivos. Um exemplo é o CadnaA®. Você pode encontrar mais informações no link disponível em: <<http://www.datakustik.com/en/cadnaa-webtutorial/>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

Podemos elencar quatro etapas de levantamento de dados para um projeto de conforto acústico. Deve-se lembrar que essas etapas visam organizar e facilitar o conhecimento do local, devendo ser sempre supervisionadas pelo arquiteto.

Etapas 1: conhecer as necessidades do projeto.

A partir do instante em que você é contratado para fazer um projeto acústico, você deve iniciar uma pesquisa sobre os requisitos e necessidades do projeto. É uma sala de aula? É um consultório médico? É uma sala de música? Quais normas se aplicam a esse ambiente e quais as necessidades dele? Existe alguma especificidade com relação ao material? Existem impedimentos?

Etapas 2: conhecer o local.

Esta etapa é fundamental para o início e direcionamento do projeto. Você vai avaliar os ruídos, o nível de ruído. Lembre-se, você também pode medir o nível de pressão sonora com um decibelímetro!

Etapas 3: fonte do ruído

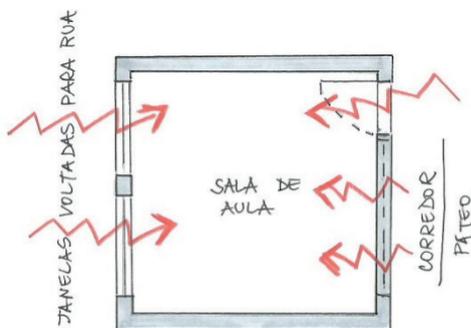
Essa avaliação vai determinar qual tipo de tratamento será aplicado. Para tanto, você precisa conhecer a fonte do ruído, de onde ele vem, se é aéreo, estrutural, de impacto, se provém de uma máquina, se é constante ou variável.

Etapa 4: isolamento ou condicionamento acústico.

Conhecendo o ruído e sua fonte, agora você vai decidir qual o procedimento acústico, se o ruído será somente isolado ou se há a necessidade de condicionamento acústico.

Agora, você pode fazer uma análise do quadro geral, conhecendo o ruído, sua intensidade, sua fonte, e estabelecer a melhor forma de tratamento. Caso você vá fazer um projeto para uma edificação já construída, é importante que faça um desenho do local na visita e anote os “pontos”, a direção da fonte do ruído. Em forma de croqui, o som pode ser representado da forma que você desejar, pode ser com setas por exemplo. A Figura 2.9 traz um exemplo de uma sala de aula identificando a fonte e de onde vem o som.

Figura 2.9 | Croqui de visita avaliação som



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

A partir dessas informações, você vai precisar da planta do local, caso não seja você o autor do projeto, e de informações sobre os materiais de revestimento. Com essas informações, você vai calcular o tempo de reverberação (TR), que, conforme você estudou na seção 2.1 é um indicador de excelência acústica de um ambiente.

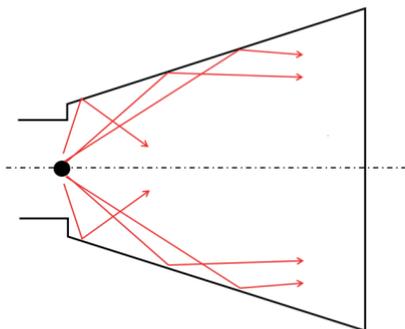
Não se esqueça de consultar leis e normas específicas!

Partindo do princípio de que você fará o projeto de um ambiente que exija boa acústica e considerando que você já levantou todas as informações necessárias, vamos começar a trabalhar na elaboração do projeto acústico e desenvolver o desenho. Além do TR e dos materiais de revestimento, a forma do ambiente é muito importante. Vamos conhecer alguns tipos de formas?

Forma em leque

A forma em leque promove boa audibilidade e visibilidade, uma vez que aproxima a plateia, os ouvintes, do palco, da fonte sonora. Uma característica que pode ser observada nessa forma é que as primeiras reflexões do som vão para o fundo da sala, não para o meio dela, e essa característica precisa ser bem avaliada (FAURO et al., 2011). A Figura 2.10 mostra uma sala com forma em leque.

Figura 2.10 | Formato de sala em leque

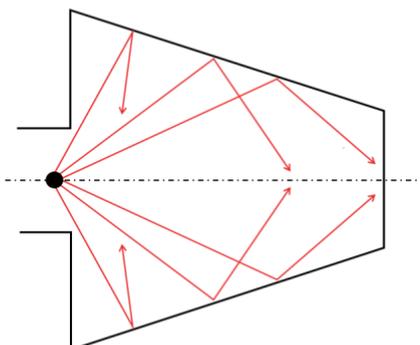


Fonte: adaptada de Fauro et al (2011) apud Carrion (1998).

Forma em leque invertido

Fauro (2011) apud Carrion (1998) afirma que, ao contrário da sala em leque, a sala em leque invertido tem as primeiras reflexões voltadas para o centro dela, mas sua forma pode prejudicar a visibilidade. Você pode observar claramente as questões mencionadas na Figura 2.11.

Figura 2.11 | Formato de sala em leque invertido

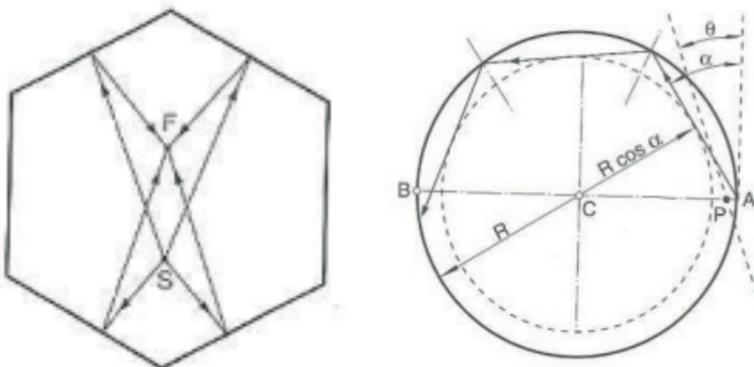


Fonte: adaptada de Fauro et al (2011) apud Carrion (1998).

Formas poligonais e circulares

Essas formas exigem muito cuidado, podendo resultar em uma baixa propagação do som, causar confusão sonora, múltiplas reflexões, além de poderem concentrar e sobrepor o som e até gerar eco! Você pode ver algumas reflexões do som nestas formas na Figura 2.12.

Figura 2.12 | Formato de sala poligonal e redonda

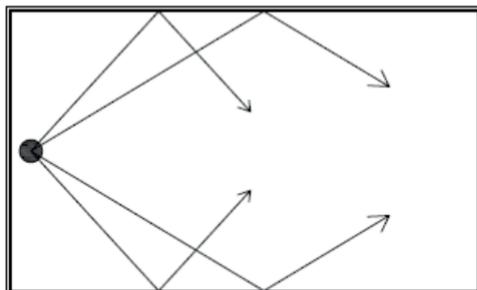


Fonte: Fauro et al (2011, apud Carrion 1998 p. 5-6).

Formas retangulares

Este tipo de forma (Figura 2.13) é um dos mais comuns em salas de concerto, auditórios e salas de modo geral. Um cuidado que se deve tomar é para que não seja muito longa, que a distância entre a fonte e os expectadores não seja demasiada longa, pois pode prejudicar na audibilidade e visibilidade.

Figura 2.13 | Formato de sala retangular

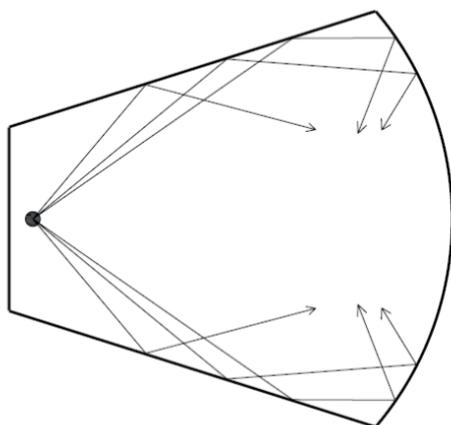


Fonte: elaborada pelo autor (2017).

As salas trapezoidais com o fundo arredondado, conforme Figura 2.14, exigem um certo cuidado com as reflexões do som na parede do fundo, que, por ter o formato arredondado, pode causar sobreposição e confusão sonora no fundo da sala. Essa situação pode ser minimizada com a aplicação de um material bastante absorvente na parede do fundo.

A parede que fica atrás da fonte sonora, em um palco, por exemplo, deve ser revestida por um material refletor, para que o som seja encaminhado para a plateia.

Figura 2.14 | Formato trapezoidal com fundo arredondado



Fonte: elaborada pelo autor (2017).



Assimile

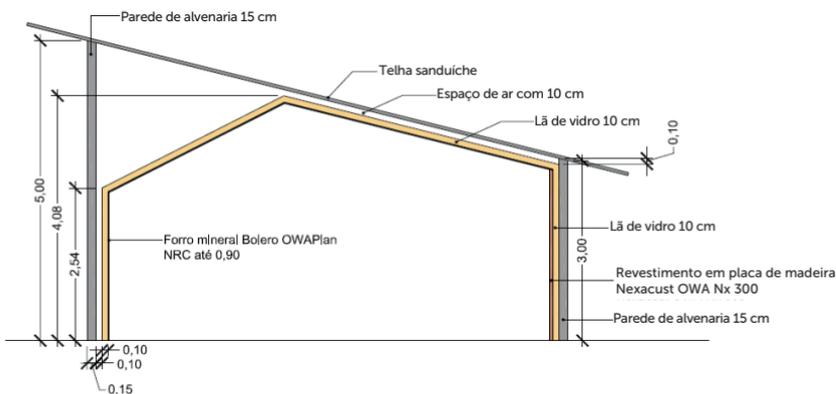
Além dos materiais de revestimento, a forma escolhida para o ambiente pode contribuir positivamente como também negativamente no desempenho acústico de um ambiente. Por esse motivo, ela deve ser cuidadosamente escolhida e projetada.

Um projeto de acústica não é o mesmo que um projeto arquitetônico ou um projeto executivo. Se houver demolição de paredes e construção de novas, você deve entregar essa informação de maneira impressa, com desenhos e detalhes construtivos. Se houver somente aplicação de material de isolamento/absorção, você pode entregar um desenho mais simples, indicando a aplicação do material. Por outro lado, se a única intervenção for a substituição

de esquadrias, não há necessidade de desenhos. Perceba que não se pode padronizar o que deve ser entregue em um projeto/consultoria acústica.

Considerando a entrega de desenhos, quais você deve entregar ao seu cliente depende do tratamento acústico em questão, se é piso, parede, forro. Normalmente, os detalhes desses projetos são constituídos da sequência de instalação dos materiais e suas respectivas espessuras. Para espelhos acústicos, os ângulos, o dimensionamento, o local de instalação e material do espelho devem ser especificados. A Figura 2.15 ilustra bem quais informações devem conter um projeto de acústica, considerando a necessidade de desenho.

Figura 2.15 | Exemplo de detalhamento de projeto acústico – corte sem escala



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Além dos desenhos técnicos, é interessante que você apresente para o cliente um relatório com a relação de materiais e sua especificação técnica. Poderá indicar empresas confiáveis para fornecer os materiais e também um orçamento. É preciso muito cuidado na compra de materiais acústicos. Esses nem sempre são baratos, a matéria-prima pode ser cara em alguns casos e o desempenho do material exige um processo caro. Desconfie de materiais com valores muito abaixo da média do mercado: eles podem comprometer a segurança dos usuários em caso de acidente!



Exemplificando

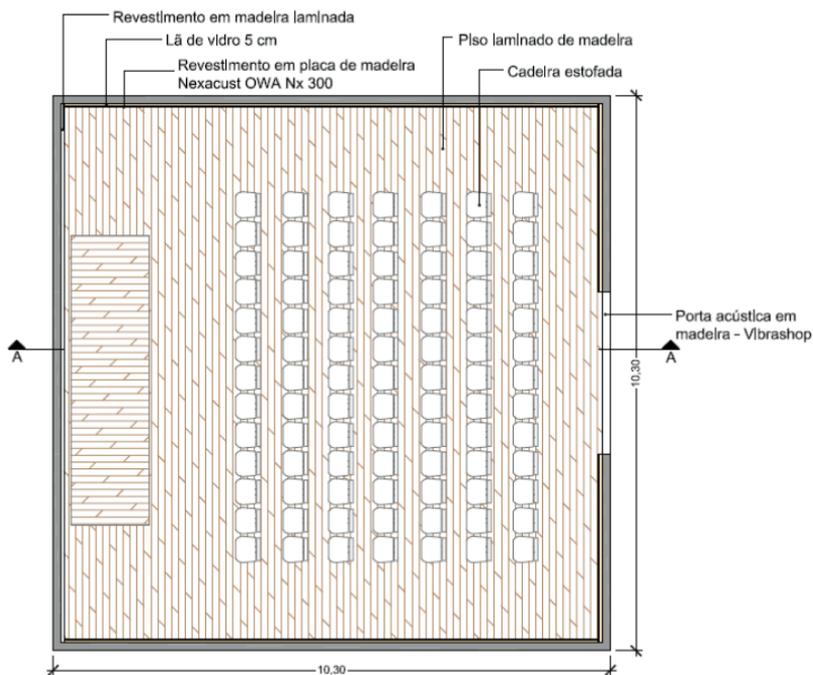
Existem espumas de revestimento aparente no mercado que são coloridas em processo adequado, tendo baixa propagação de fumaça no caso de incêndio. Ao adquirir um produto e tentar colori-lo de forma autônoma, além de comprometer o desempenho acústico do material, a tinta não apropriada confere a essa espuma uma característica de propagação de fumaça muito perigosa. Na Instrução Técnica nº 10 do Corpo de Bombeiros, você pode encontrar mais informações sobre características e ensaios de segurança de materiais de revestimento. Disponível em: <<http://www.bombeiros.com.br/instrucoes-tecnicas>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

O desenho técnico é a linguagem do arquiteto. É através dele que expressamos nossas ideias para atender à necessidade do cliente. Seja o mais didático possível na ilustração do seu projeto, apresente plantas humanizadas, cortes e, se possível, uma perspectiva do produto final. Temos certeza de que será de clara compreensão para o seu cliente.

Sem medo de errar

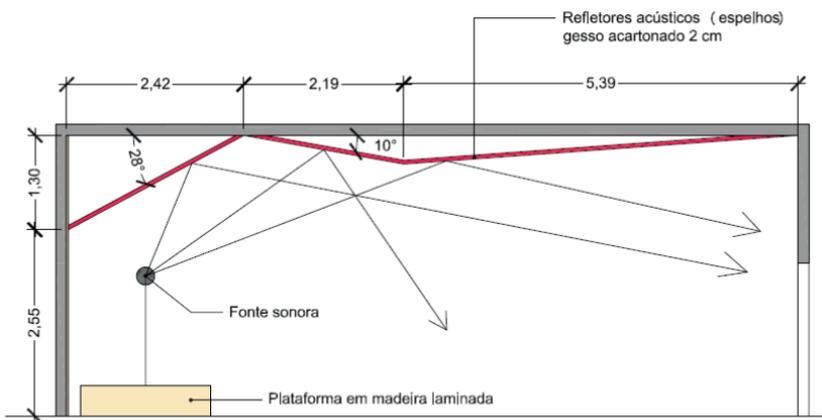
Você já tem todas as informações necessárias para desenvolver o projeto de tratamento acústico das salas de aula e da construção do auditório para a escola. Para as salas de aula, que serão reformadas, você deve apresentar um desenho da situação atual e o projeto da reforma, popularmente conhecidos como o "antes" e o "depois", com indicação dos locais que vão receber os materiais de tratamento acústico. Um relatório deve ser apresentado também com os materiais sugeridos para esse tratamento. Para o auditório, um projeto com planta baixa, cortes e layout são suficientes para compreensão. As Figuras 2.17 e 2.18 ilustram um projeto simples.

Figura 2.16 | Planta baixa (sem escala) de projeto acústico de um auditório para 80 pessoas



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Figura 2.17 | Corte do projeto do auditório (sem escala)



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Tratamento de ruído em clínica odontológica

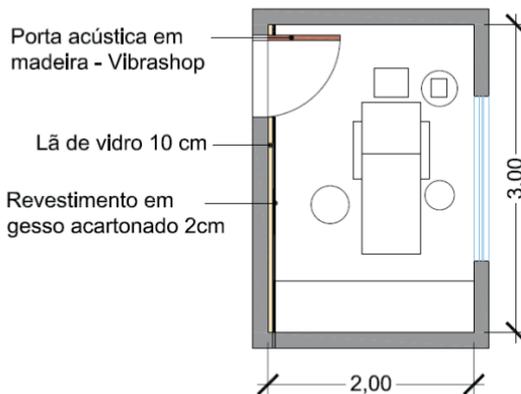
Descrição da situação-problema

Você foi contratado para fazer uma consultoria de acústica em uma clínica odontológica. As portas das salas de atendimento saem para o hall de espera, onde ficam os pacientes e a recepção. O ruído que vem dessas salas incomoda bastante tanto os pacientes quanto a recepcionista que não consegue atender bem ao telefone. Quais são as etapas que você deve seguir para fazer a avaliação? Existem características especiais que devem ser pensadas na escolha dos materiais? Como será escrita a proposta para esse cliente?

Resolução da situação-problema

O primeiro passo é fazer uma visita no local para identificar a fonte do ruído, a direção e o tipo dele. É possível fazer um desenho no local ou pedir que o cliente disponibilize uma planta, uma vez que se trata de um ambiente construído. O ruído detectado é de transmissão aérea, portanto uma solução é isolar melhor as paredes dos consultórios, além de investir em portas acústicas, fazendo o isolamento do som. Como não haverá necessidade de desenhos, o arquiteto pode entregar somente um relatório com as sugestões. A Figura 2.18 ilustra o projeto da nova situação-problema

Figura 2.18 | Exemplo de proposta de projeto



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Faça valer a pena

1. Existem várias metodologias de projeto dentro da arquitetura, e seguir uma delas auxilia no processo de criação e organização das ideias. As etapas de uma consultoria ou projeto acústico são de igual importância, uma vez que reforçam pontos que devem ser observados e auxiliam o profissional a escolher a melhor alternativa de condicionamento acústico.

I. As etapas de uma consultoria ou projeto acústico devem ser rigorosamente seguidas, pois regulam parâmetros de qualidade tendo em vista que as características dos ambientes são sempre iguais.

II. A etapa descrita como 2 pode ser feita por qualquer pessoa, independente do conhecimento em acústica.

III. Receber informações sem visitar o local, sem saber de que se trata o ruído e sem ter um desenho dele pode induzir o projeto a erros.

IV. A medição do ruído no levantamento das informações, descrita como etapa 2, pode ser feita somente depois da intervenção para aferir se o tratamento acústico foi eficiente.

V. A avaliação do TR está presente na grande maioria dos projetos de acústica, tendo em vista que esse é um indicador de excelência de desempenho.

Considerando as etapas sugeridas no texto e as necessidades específicas delas, verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) II, III e IV.
- b) III e V.
- c) I e III.
- d) III, IV e V.
- e) I, II e V.

2. No projeto acústico de salas, o controle do ruído de fundo da implantação e os materiais podem contribuir para o bom desempenho acústico. Mas a forma do ambiente tem grande peso, podendo contribuir de forma positiva ou negativa nesse desempenho. O estudo das reflexões sonoras, quantidade de pessoas que vão ocupar o local e alternativas de materiais, podem ajudar na escolha da forma. É preciso sempre avaliar quais são os pontos negativos e positivos dela.

I. Formas circulares são muito indicadas quando se pensa também na visibilidade, pois trazem a plateia para bem próximo do palco. A acústica é excelente.

II. As formas leque e leque invertido têm igual comportamento na reflexão do som, e sua escolha é baseada unicamente numa questão de gosto pessoal do arquiteto.

III. Formas retangulares são bastante comuns em salas de concerto, auditório e outras, mas um cuidado necessário é que não sejam muito longas, para que a visibilidade e audibilidade não sejam prejudicadas.

IV. Em formas trapezoidais com fundo arredondado, é preciso ter cuidado extra para que não haja sobreposição e confusão sonora no fundo.

V. Formas poligonais são uma boa alternativa para se ter muitas reflexões do som, o que eleva a qualidade de audibilidade.

A arquitetura é constituída de muitas formas, e, na acústica, elas são fundamentais. Baseado nos conceitos aprendidos, verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) I, III e V.
- b) I, II e III.
- c) III e V.
- d) II e III.
- e) III e IV.

3. Assim como em qualquer desenho técnico, projeto de uma edificação nova ou uma reforma, no projeto acústico o arquiteto deve estar preparado para apresentar suas ideias de maneira clara. A quantidade de desenhos e informações deve ser avaliada de acordo com as dimensões da intervenção, ou simplesmente de uma consultoria que vai gerar um relatório. É o bom senso do arquiteto que vai orientá-lo quanto ao tipo de informação e como ela será apresentada.

I. A necessidade da apresentação de projetos de acústica varia de acordo com o tipo de trabalho; não há um padrão a seguir.

II. Na entrega de um projeto com aplicação de materiais, somente a apresentação de imagens dos materiais é suficiente para orientar o cliente.

III. A especificação e compra de materiais acústicos exigem cuidados quanto à sua fabricação e origem, pois, eventualidade de uma ocorrência, podem oferecer risco aos usuários.

IV. Mesmo em uma intervenção simples, como a troca de esquadrias sem alteração de dimensões, o arquiteto deve entregar projetos, memórias e relatórios que devem ser seguidos.

V. A apresentação do projeto de acústica para o cliente é muito importante. Considere que nem todas as pessoas compreendem desenho técnico. A apresentação para o cliente deve ser a mais didática possível, com humanização e perspectivas.

Considerando as diferentes necessidades de entrega de projetos e relatórios acústicos, verifique quais asserções são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) I, II e IV.
- b) I, III e V.
- c) I, III e IV.
- d) I e II.
- e) I, II e III.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais – desempenho, 2013.

_____. NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados, 1992.

_____. NBR 10151: Acústica – Avaliação em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, 2000.

BISTAFA, S. R., **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006. p. 368.

BRASIL. **Lei n. 9605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, 1998.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 01**, de 8 de março de 1990. In: Resoluções, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>>. Acesso em: 29 out. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 02**, de 8 de março de 1990. In: Resoluções, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>>. Acesso em: 29 out. 2017.

CARRION, Antoni. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. Edicions UPC, 1998.

FAURO, Daina; ROCHA, Bibiana da; PEREIRA, Clarissa de Oliveira. **A influência da forma no desempenho acústicos dos ambientes**. SEPE – XV Simpósio de Pesquisa, Ensino e Extensão, 2011.

FERREIRA NETO, M. F. F.; BERTOLI, S. R.; BARRY, P. J. Diferença entre testes de desempenho acústico em laboratório e campo em paredes de alvenaria. In: SOBRAC. **Anais...** Salvador, 2010.

ROCHA, Bibiana da; PEREIRA, Clarissa de Oliveira; FAURO, Daiana. **A influência da forma no desempenho acústico dos ambientes**. SEPE – XV Simpósio de Pesquisa, Ensino e Extensão, 2011.

SIMÕES, M. F. **Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BE6AAA4FA-C5DA-4F32-8556-E71038461802%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 29 out. 2017.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica** – Ouvindo a Arquitetura. São Carlos: EdUFSCar, 2011.

Conforto lumínico: análise e medição

Convite ao estudo

Caro aluno, você já estudou os conceitos fundamentais de acústica e aprendeu como aplicar esses conceitos no seu projeto arquitetônico. Agora, nesta unidade vamos aprender o que significa conforto lumínico, também chamado de conforto luminoso ou ainda conforto visual. Você vai conhecer alguns conceitos introdutórios sobre conforto visual, analisar os elementos lumínicos e aprender como é o processo de medições, envolvendo a iluminação.

Você poderá analisar as condições luminosas de uma edificação e propor intervenções para melhorar o conforto dos usuários. Ao final do estudo desta unidade, você vai perceber como é importante considerar a iluminação na fase inicial de seus projetos. Você se lembra da proposta da escola nos padrões FDE? Vamos dar continuidade?

Como a sua equipe de arquitetos e engenheiros está apta para consultoria multidisciplinar, a FDE solicitou também um trabalho sobre a iluminação da escola. O motivo dessa solicitação é a quantidade de reclamações de alunos em relação à iluminação nas salas de aula. Entre as principais reclamações estão o ofuscamento e a pouca quantidade de luz no período da tarde em algumas salas. A partir de agora você usará sua expertise no assunto para avaliar as condições de iluminação nas salas de aula. Sua função é verificar o conforto lumínico das salas de aula e, se necessário, propor alguma intervenção. Em reuniões com sua equipe de trabalho, vocês estão questionando quais seriam os primeiros passos. O que pode ser necessário para melhorar a satisfação dos alunos em relação a iluminação? Existe conforto visual (luminoso)? Como podemos fazer análise desses elementos? E como realizar a medição da iluminação no local? Bons estudos!

Seção 3.1

Fundamentos introdutórios de conforto lumínico

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção iremos estudar assuntos relevantes sobre o conforto lumínico. Para dar continuidade ao projeto proposto pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), você e sua equipe multidisciplinar precisam verificar o conforto lumínico das salas de aula e, se necessário, propor alguma intervenção para melhorar a satisfação dos alunos em relação a iluminação.

Você pode observar que nas redondezas da escola existem muitos edifícios residenciais e também vários estabelecimentos comerciais, como padaria, lanchonete, supermercado, condomínios de prédios residenciais, etc. Você consegue perceber se esse tipo de edificação pode atrapalhar as condições de iluminação nas salas de aula?

Nas reuniões iniciais, algumas questões foram levantadas: as salas de aula são bem iluminadas? Existe iluminação natural ou somente artificial? Os alunos conseguem enxergar a lousa perfeitamente?

Pelo conhecimento que você vai adquirir ao estudar a luz, o comportamento do olho humano no conforto luminoso, as necessidades básicas de iluminação, a relação entre os níveis de iluminação e a atividade que está sendo desenvolvida, certamente você ficará empolgado em aplicar esses conteúdos para tentar resolver a problemática abordada no parágrafo anterior.

Vá em frente! Será gratificante! Bons estudos!

Não pode faltar

Antes de começarmos a estudar sobre iluminação e conforto visual, precisamos abordar alguns conceitos referentes a luz. O que você entende como luz? Podemos dizer que é uma fonte de radiação pode emitir ondas eletromagnéticas; estas, por sua vez, possuem diferentes comprimentos de onda, sendo que o olho humano é sensível a somente uma faixa deste espectro. Assim, surge o conceito de luz. A luz é, então, a radiação que pode ser percebida pelos órgãos visuais.

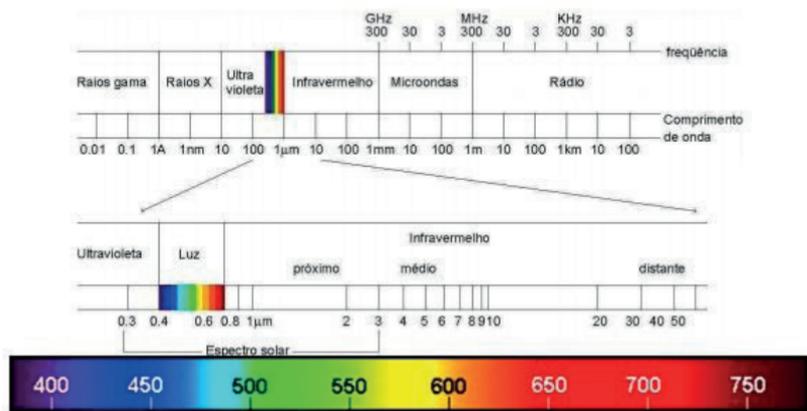


O conceito de “luz” é muito importante quando se iniciam os estudos sobre conforto visual. Luz é a radiação eletromagnética que pode produzir uma sensação visual.

A radiação solar é uma onda eletromagnética compreendida dentro do espectro que varia do ultravioleta (ondas curtas), passando pela luz visível até o infravermelho (ondas longas). A região do ultravioleta vai de 100 nm a 380 nm, e tem efeito sobre o desbotamento de móveis, pinturas, carpetes. A região do visível (de 380 nm a 780 nm) é sensível para o olho humano, propiciando a sensação de visão e percepção das cores. O infravermelho compreende a faixa de 780 nm a 3000 nm, e é responsável pelo ganho de calor nos edifícios.

Veja na Figura 3.1 a distribuição espectral das ondas eletromagnéticas com as cores e seus comprimentos de onda.

Figura 3.1 | Espectro de ondas eletromagnéticas



Fonte: Nogueira (2007, p. 11).

De acordo com Mascaró et al. (1983) a luz natural ou diurna é aquela proveniente do sol, podendo ser de forma direta, através dos raios solares, ou indireta, por reflexão do entorno. No desenvolvimento da humanidade, a luz natural foi considerada como principal fonte de luz. As atividades que exigiam boa iluminação eram desenvolvidas entre o nascer e o pôr do sol.

Conforme foram surgindo novas atividades, que passaram a requerer um ambiente interno, mais protegido de intempéries, a luz natural foi sendo levada para os espaços internos.

Até o final do século passado, a iluminação natural foi considerada como um dos princípios do projeto de edificações. Hoje em dia, há vários estudos que documentam a importância da iluminação natural como um dos principais condicionantes do projeto arquitetônico, independente do país ou do tipo de clima.

A luz natural é responsável pelo ciclo "circadiano" que rege as funções vitais do organismo humano; por exemplo, quando o dia vai terminando e a disponibilidade de luz natural vai diminuindo, essa condição é percebida pelo olho, que envia mensagens para o cérebro e este começa a liberar um hormônio chamado melatonina, que será responsável pelo sono. Frequente o sol e a luz natural estão associados a imagens felizes, prazerosas! Imagine um bom dia de praia ou no campo, o sol está presente?

Pesquisas realizadas em países onde há pouca disponibilidade de iluminação natural, e os dias durante o ano são frequentemente nublados revelaram altos índices de doenças psicossociais.

Várias doenças estão associadas à falta de iluminação natural, como o raquitismo e a osteoporose, uma vez que a luz natural é necessária em uma das etapas da fixação do cálcio. Distúrbios emocionais, como depressão e desordem efetiva sazonal também estão associadas à falta de luz natural. Um bom projeto deve equilibrar a luz natural e a artificial. É preciso trazer o sol para dentro dos ambientes, e integrar o espaço interior com o exterior de forma dosada, para que não haja excessos, muita luz natural pode causar fadiga visual, dores de cabeça e ofuscamento. Você vai aprender mais sobre os benefícios e os problemas na próxima sessão. Frequentemente, são usadas expressões como "encontrar uma luz no fim do túnel" ou "ter uma luz" com um sentido de revelação. O arquiteto é basicamente treinado para ver. Assim, quando está projetando, ele "enxerga" um novo espaço ou uma nova situação de projeto (NOGUEIRA, 2007).

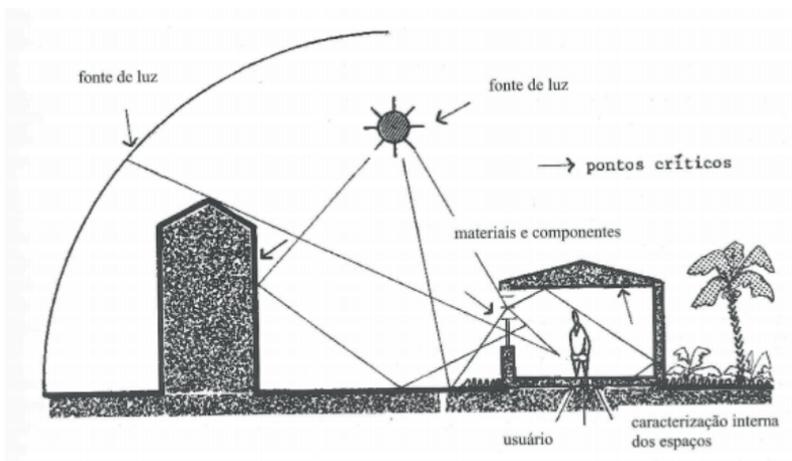
O uso da iluminação natural nos projetos também favorece a economia de energia, quando pode-se utilizar a luz natural ao invés de acender lâmpadas!

Como a luz natural é fonte de iluminação de excelente qualidade, podemos citar alguns benefícios do uso da iluminação natural em projetos de arquitetura:

- Permite iluminar os espaços interiores, com economia de energia e evitando impactos prejudiciais.
- Realça a qualidade espacial dos projetos.
- Responde às preferências dos usuários.

Conforme Vianna e Gonçalves (2007), é importante que o arquiteto perceba a relação entre arquitetura x iluminação x homem, conhecendo desde aspectos psicoperceptivos até aqueles técnicos, como a caracterização dos materiais e componentes (ex.: vidros e janelas) e dos sistemas de iluminação. A Figura 3.2 ilustra as principais variáveis do conforto para iluminação natural.

Figura 3.2 | Variáveis do conforto para iluminação natural



Fonte: Vianna e Gonçalves (2007, p. 7).

A Figura 3.2 ilustra os pontos críticos da relação entre arquitetura, iluminação natural e o ser humano. O indivíduo está sujeito à influência da fonte luz nos materiais e componentes da envoltória do ambiente em que está inserido, como paredes e cobertura. A fonte de luz pode incidir diretamente nas superfícies, penetrar pelas aberturas, ou indiretamente, por reflexões dos edifícios no entorno.

Sabemos que tanto a radiação solar quanto a luz natural podem variar no decorrer do dia. Para simplificar esta variação,

foram criados modelos padrões que representam alguns tipos de céu, ilustrados na Figura 3.3. O céu claro é limpo e a radiação direta é preponderante; no céu encoberto, o sol não está visível; o céu parcialmente encoberto é o mais próximo da realidade, pois representa a maior parte dos dias.

Figura 3.3 | Modelos para céu claro, parcialmente encoberto e encoberto



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2003, p. 77).

A posição da construção em relação ao sol é um dos fatores determinantes da quantidade de sol e de luz que um ambiente recebe. Outros fatores, como o tipo de janelas, a vegetação e a proximidade de construções vizinhas também interferem bastante. É preciso pensar na sombra que estas edificações podem causar na área do nosso projeto, prejudicando o ganho de luz natural direta e indireta. Outro item importante a ser observado é com relação às cores do ambiente interno, cores claras refletem a luz, cores escuras absorvem!

No hemisfério sul, os ambientes de face leste recebem sol pela manhã, enquanto os de face norte recebem sol praticamente o dia todo. Já a fachada oeste recebe o sol intenso durante a tarde toda, e a fachada sul recebe luz, mas é fria, pois não recebe praticamente insolação.

Embora possamos considerar a luz natural como uma fonte de luz fundamental, vale lembrar que as fontes de luz artificiais sempre estiveram presentes, na forma do fogo, em edificações mais primitivas. Na última metade do século XX, nota-se que a maioria das pessoas passa grande parte do dia em ambientes iluminados artificialmente, seja no trabalho ou no lazer.



Vamos pensar: como é o uso da iluminação artificial hoje em dia? Ele é equilibrado com relação à iluminação natural? Ou será que esquecemos da luz natural e usamos somente a artificial, mesmo quando ela não é necessária?

O arquiteto brasileiro João Filgueiras de Lima soube explorar de modo primoroso a iluminação natural e a ventilação. A Figura 3.4 mostra a ala de fisioterapia do hospital Sara Kubitschek de Fortaleza (CE), e pode-se observar o mesmo ambiente com iluminação conjugada, artificial e natural. Repare que na imagem da esquerda as lâmpadas estão apagadas, enquanto que na imagem da direita estão acesas. Você percebe que não há diferença no nível de iluminação? Para a atividade desenvolvida neste ambiente, somente a iluminação natural é suficiente.

Figura 3.4 | Ala de fisioterapia do Hospital Sara Kubitschek em Fortaleza (CE)



Fonte: Perén (2006, p.181).

Sabemos como transformar a noite em dia através do uso da iluminação artificial; porém, a preferência pela luz natural pode ser explicada por meio de alguns fatores:

- Existe melhoria no aspecto do ambiente interno e externo: a variação da luz natural traz mudanças na proporção de luz e sombra, o que melhora a percepção visual dos espaços, objetos e cores.

- Pode contribuir para a orientação espacial e temporal: a luz natural não só ajuda a marcar a passagem do tempo como também alimenta nosso senso de orientação espacial.

A avaliação da iluminação no espaço construído deve considerar os aspectos quantitativos e qualitativos, pois a distribuição da luz no espaço é o fator que mais influencia no conforto dos usuários. As pessoas precisam de luz para desempenhar as atividades mais comuns. A maior parte das informações necessárias sobre o que acontece ao nosso redor é proporcionada pela luz captada pelo nosso sistema visual.

A luz é transportada pelos nossos olhos para ser interpretada no nosso cérebro, que guarda as experiências de nossas memórias. Usamos a luz para discernir o tamanho e a forma dos objetos e também para interpretar as cores. Mas você sabe como funciona o sistema visual humano?

Em um primeiro momento, a experiência visual é um processo de orientação e de formação de impressões no espaço. Depois, quando o sistema visual recebe as informações, ocorre o processo de comparações e ordenamento de prioridades mentais. A visão também inclui o processo de comunicação com a identificação de informações visuais. Por fim, a visão interpreta os movimentos de mudanças no entorno contribuindo, assim, para a orientação espacial e segurança no ambiente.

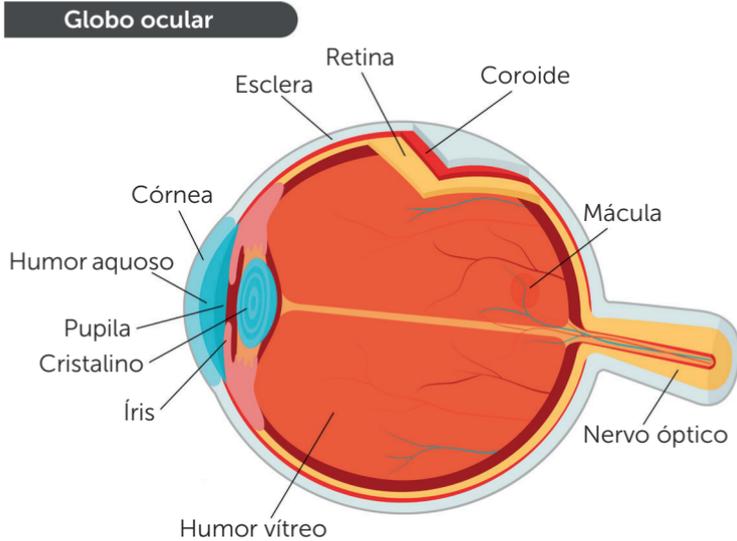


Refleta

O nosso sistema visual é muito importante na função de percepção das cores e da luz. Vamos refletir um pouco: como é o comportamento e a atuação do nosso olho na percepção da luz e das cores?

O nosso olho é constituído por várias partes e a Figura 3.5 ilustra um esquema dessas partes que compõem o nosso olho.

Figura 3.5 | Composição do olho humano



Fonte: adaptada de iStock.

Conforme Pereira et al. (2000 apud TAVARES, 2007), a luz entra no olho através da pupila, uma abertura na íris que varia seu diâmetro para controlar a quantidade de luz.

A córnea e o cristalino focam a luz para criar uma imagem invertida na retina (que é um delicado tecido nervoso, sensível a luz, localizado no fundo do olho), que transmite a informação para o cérebro pelo nervo óptico.

A imagem de um objeto chega invertida na retina porque ela é vista através de uma lente biconvexa – o cristalino do olho. A retina é formada por dois tipos de receptores: bastonetes e cones. Os bastonetes são células capazes de reconhecer a luminosidade, não detectam as cores, mas são altamente sensíveis à luz. Podemos dizer então que o papel dos bastonetes é perceber a maior ou menor claridade com que estão iluminados os objetos. Os cones são células capazes de reconhecer as cores e são insensíveis à luz. A função dos cones é a de apreciar as cores dos objetos. Os cones e bastonetes trabalham na luz do dia ou com luz artificial clara, mas à noite somente os bastonetes exercem alguma função. Por isso, nossa sensibilidade às cores diminui muito no período noturno. Como só os bastonetes atuam à noite, sozinhos são insensíveis à cor; ficamos sensíveis somente às relações entre claro e escuro.

Dessa forma, o processo de percepção das imagens se resume em: as imagens e os raios de luz atravessam a córnea, o humor aquoso, a pupila, o cristalino e o humor vítreo. Todos esses meios devem estar transparentes para que a luz possa passar por eles e chegar a retina. Da retina, são encaminhados para o cérebro através do nervo óptico.

Agora que você já conhece um pouco do funcionamento do nosso olho, precisamos estudar três propriedades importantes do nosso sistema visual: a adaptação, a acomodação e a acuidade visual.

Vamos começar falando de adaptação, que é a capacidade que tem o olho de acomodar-se a diferentes condições de iluminação. Isso acontece através da abertura e fechamento da pupila. Em condição de luz muito intensa, a pupila se contrai para captar menos luz (chegando a ficar com diâmetro de 2 mm). Em condição de pouca luz, a pupila se dilata para captar mais luz (chegando a ficar com diâmetro de 8 mm).



Exemplificando

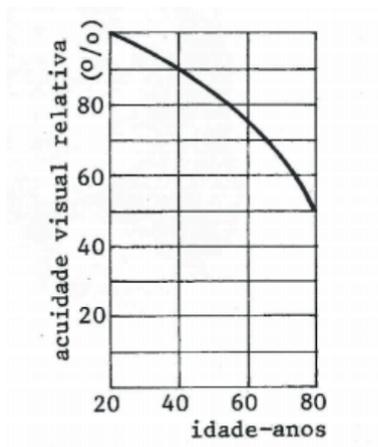
Quando passamos de um local bem iluminado para um local mais escuro, o olho leva muito mais tempo para se adaptar do que quando acontece o inverso (de um ambiente mais escuro para outro bem mais claro). Isso acontece pelo fato dos bastonetes serem mais lentos em sua ação do que os cones.

Agora, vamos pensar no conceito de acomodação? A acomodação é a capacidade que tem o olho para ajustar-se às diferentes distâncias dos objetos e garantir nitidez da imagem. Este ajuste corre em função de diferentes curvaturas do cristalino (se o ponto de observação está próximo a curvatura é maior do que quando ele está longe). Quando os objetos estão a uma distância maior do olho, a visibilidade é reduzida. Mas você pode melhorar muito a visibilidade quando aumenta o nível de iluminação. Além disso, a capacidade de acomodação diminui com a idade, por causa do endurecimento do cristalino.

A terceira propriedade importante do nosso olho é a acuidade visual. O que vem a sua mente quando se fala em acuidade visual? Podemos dizer que é a capacidade do olho de reconhecer em separado, com nitidez, objetos muito pequenos e próximos entre si. É a habilidade do olho de ver os detalhes.

Com o passar dos anos, as pessoas apresentam redução na acuidade visual, pois a velocidade de percepção diminui e o tempo de adaptação aumenta, principalmente na passagem de um ambiente mais claro para um mais escuro (VIANNA e GONÇALVES, 2007). A Figura 3.6 mostra a diminuição da acuidade visual com a idade.

Figura 3.6 | Acuidade visual com a idade



Fonte: Vianna e Gonçalves (2007, p. 95).

Como você pode perceber pela Figura 3.6, uma pessoa com 60 anos tem cerca de 75% da acuidade visual de alguém com 20 anos. Agora que você já aprendeu o que é luz e como é o comportamento do nosso olho na iluminação, vamos partir para conceitos relacionados às necessidades básicas de iluminação.

Um bom sistema de iluminação artificial não é apenas uma diminuição da escuridão, mas uma necessidade básica no cotidiano da sociedade atual. Precisamos da iluminação para nos locomover e executar tarefas durante a noite. Para executar trabalhos que demandam maior nível de iluminação e para complementar a iluminação natural. Esta complementação é muito importante quando falamos de eficiência energética, pois podemos ter o mesmo nível de iluminação gastando menos energia quando usamos sistemas de iluminação natural e artificial juntos.

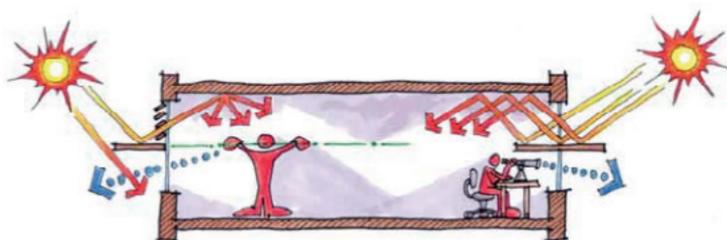
Existem diversas maneiras de aproveitarmos os benefícios da iluminação natural combinado com a artificial, seja por iluminação lateral, zenital, clarabóias, prateleiras de luz, etc. As Figuras 3.7 e 3.8 ilustram exemplos de iluminação natural.

Figura 3.7 | Exemplos de iluminação zenital



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2003, p. 159).

Figura 3.8 | Exemplos de iluminação lateral (prateleiras de luz)



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2003, p. 156).

Pesquise mais

Veja no vídeo um sistema de baixo custo, sustentável e ecológico para se obter iluminação natural e economizar energia elétrica em qualquer ambiente:

CASA CONCEITOS. Iluminação de garrafa pet | Faça você mesmo | Casa Conceitos | ep. 02. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=S8iV1NKK4Bw>>. Acesso em: 5 nov. 2017.

Para desenvolvermos algumas atividades visuais, nosso olho precisa de condições específicas, que dependem dessas mesmas atividades. Por exemplo: para ler e escrever é necessária certa quantidade de luz no plano de trabalho; para desenhar ou desenvolver atividades visuais de maior acuidade visual (atividades mais "finas" e com maior quantidade de menores detalhes), precisa-se de mais luz. Mas, a quantidade de luz não é a única condição necessária. Você percebeu que ambientes e tarefas diferentes têm necessidades lumínicas diferentes?



Qual a quantidade de luz, ou iluminação, necessária e confortável no seu dormitório? Esta quantidade é igual ao de uma biblioteca?

Quando vamos ao dentista embora a sala seja iluminada, o tipo específico de tarefa a ser executado demanda uma iluminação mais pontual. Em salas de aula e refeitórios de escolas o nível de iluminação é o mesmo?

Para essas e outras atividades, a boa distribuição destes níveis de iluminação pelo ambiente e a ausência de contrastes excessivos (como a incidência de sol direto no plano de trabalho e reflexos indesejáveis) também são fatores essenciais.

Os níveis de iluminação são tabelados em normas por atividade; na Seção 3.2 você vai conhecer exemplos dos níveis de iluminação recomendados pela literatura. No caso de habitações, o ingresso do sol diretamente pode não ser um problema, porque existe a flexibilidade de uso dos espaços. Em edifícios de escritório, escolas e fábricas, que são locais de trabalho frequentemente fixos, e onde são desempenhadas tarefas específicas, o problema deve ser equacionado. Em salas de exposição e museus, a luz direta do sol deve ser excluída, pois pode provocar danos em pinturas, telas, materiais orgânicos ou plásticos sintéticos. Mesmo a iluminação artificial deve ser rigorosamente escolhida, para não danificar as obras de arte.

Na iluminação natural, o formato dos ambientes e as aberturas (janelas) associados à iluminação natural são elementos importantes do projeto. Por essa razão, os aspectos sobre sua utilização desde as etapas iniciais são fundamentais para se conseguir bons resultados.

Diante de tudo que você aprendeu nessa seção, é importante não esquecer que a luz natural está disponível na maior parte das horas do dia mas, infelizmente, não é explorada de maneira adequada na maioria dos projetos. Isso acontece, geralmente, por causa da falta de conhecimento do profissional em relação aos conceitos necessários ao bom projeto de iluminação.

Sem medo de errar

Relembrando a situação problema, você e sua equipe precisam verificar o conforto lumínico das salas de aula e, caso seja necessário, propor alguma intervenção para melhorar a satisfação dos alunos em relação a iluminação.

É preciso verificar se os edifícios residenciais e comerciais do entorno da escola atrapalham as condições de iluminação nas salas de aula: se as salas de aula são bem iluminadas, se existe iluminação natural ou somente artificial, se os alunos conseguem enxergar a lousa perfeitamente.

Depois de ter aprendido os conceitos exibidos nessa seção, você pode observar, num primeiro momento, qual a condição do céu em alguns dias e horários específicos, pré-selecionados. Depois disso, analise o ingresso de iluminação natural nas salas de aula. Tente perceber em que horário existe mais entrada de luz e também se a iluminação artificial dentro da sala de aula fica operante o tempo todo. Observe se existe algum horário em que as luzes podem ser apagadas e os alunos consigam desempenhar bem suas funções, apenas com a iluminação natural. Anote tudo o que você puder perceber; a sensação de conforto lumínico do profissional é mais apurada. Sente-se no lugar dos alunos e veja como é a iluminação. Você consegue ver bem o que está escrito na lousa? A luz que entra pelas janelas atrapalha? Anote sua percepção e suas conclusões, pois elas servirão como base de dados para as próximas fases do trabalho. Dessa forma, você vai estar preparado para propor as intervenções necessárias no ambiente escolar, de forma a favorecer o conforto dos usuários.

Avançando na prática

Estudo e diagnóstico do sistema de iluminação em uma biblioteca

Descrição da situação-problema

Sua equipe multidisciplinar de trabalho foi contratada para avaliar as condições de iluminação numa biblioteca pública universitária em Santos, que tem as fachadas leste e oeste compostas por vidro cinza escuro. Os frequentadores dessa biblioteca relatam que a

iluminação não é adequada para um ambiente onde se permanece por um tempo maior do que uma hora, aproximadamente.

Como resolver esse problema? Existe iluminação natural? Ela está sendo funcional? O fato do projeto ser em Santos interfere no conforto visual dos usuários da biblioteca? Quais as condições do céu?

Resolução da situação-problema

Em um primeiro momento, você deve estudar sobre as condições climáticas da cidade onde foi desenvolvido o projeto. Tente verificar quais as condições do céu na maioria dos dias do ano: se o céu permanece claro, parcialmente encoberto ou totalmente encoberto.

Depois, observe o espaço destinado à leitura, ao estudo, à consulta ao acervo, etc. Tente perceber se esses ambientes são bem iluminados, se existe o uso de iluminação artificial durante o dia e em quais horários as lâmpadas permanecem acesas. Com atenção, verifique os materiais componentes das fachadas do edifício, e se esses materiais permitem o ingresso de iluminação natural. Observe a trajetória do sol nas fachadas. Você também pode fazer uma sondagem e verificar por quanto tempo, em média, os usuários permanecem no local.

Faça valer a pena

1. A luz age de forma vital sobre todas as ações do homem e permite que se tenha percepção das cores pela sensibilização dos componentes dos olhos. A retina é formada por dois tipos de receptores: bastonetes e cones. Faça a associação para cones e bastonetes, de acordo com a função de cada um, colocando número 1 (um) para cones e 2 (dois) para bastonetes.

- () Insensíveis à cor.
- () Atuam à noite.
- () Insensíveis à luz.
- () Percebem a claridade.
- () Apreciam as cores dos objetos.

Após a associação para cones e bastonetes nas afirmativas apresentadas, assinale a alternativa correta.

- a) 2 – 2 – 1 – 2 – 1.
- b) 1 – 1 – 2 – 1 – 2.
- c) 2 – 1 – 2 – 1 – 1.
- d) 1 – 1 – 2 – 2 – 2.
- e) 1 – 2 – 1 – 2 – 2.

2. As pessoas precisam de luz para desempenhar as atividades diárias. A maior parte das informações necessárias sobre o que acontece ao nosso redor é proporcionada pela luz captada pelo nosso sistema visual. A luz é transportada pelos nossos olhos para ser interpretada no nosso cérebro, guardando nossas memórias. Usamos a luz para discernir o tamanho e forma dos objetos e também para interpretar as cores. Além disso, a visão inclui o processo de comunicação com a identificação de informações visuais.

Qual é a parte do olho responsável por encaminhar as imagens para o nosso cérebro?

- a) Humor vítreo.
- b) Córnea.
- c) Pupila.
- d) Nervo ótico.
- e) Cristalino.

3. Existem três propriedades importantes que devem ser consideradas no estudo do sistema visual: acomodação, adaptação e acuidade visual.

I. A acomodação é a propriedade que o olho tem de se acomodar a diferentes condições de iluminação.

II. A adaptação ocorre através da abertura e fechamento da pupila.

III. A acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer a nitidez e os detalhes dos objetos.

IV. A acomodação diminui com a idade, devido ao endurecimento da córnea.

Verifique quais afirmações são verdadeiras ou falsas, e assinale a alternativa correta.

a) V, V, V, F.

b) V, F, V, V.

c) F, F, F, V.

d) F, V, V, F.

e) F, V, V, F.

Seção 3.2

Análise dos elementos lumínicos

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção você estudará o nível de iluminância recomendado para o ambiente, de acordo com a legislação pertinente. Será possível caracterizar a iluminação nos ambientes, pensando na qualidade e na quantidade de luz que seja confortável ao usuário. Você também vai conhecer instrumentos que te ajudem nessa tarefa.

Vamos agora voltar a pensar no nosso projeto para a FDE? Na Seção 3.1 você usou sua expertise em conforto luminoso para verificar se as salas de aula são bem iluminadas, se existe iluminação natural ou se somente artificial, e se os alunos conseguem enxergar a lousa perfeitamente.

Nesta seção, você e sua equipe de trabalho devem continuar a trabalhar no projeto proposto pela FDE, prestando consultoria, para verificação da qualidade e quantidade de conforto visual existente. Se necessário, vocês poderão propor intervenções. Já apreendemos na última seção os principais conceitos que envolve o conforto lumínico, e agora devem medir e quantificar a qualidade da iluminação das salas de aula. Para tanto, vocês podem utilizar alguns equipamentos para medir a quantidade de iluminação em algumas salas de aula.

A partir da análise da qualidade da iluminação nas salas de aula, onde foi relatado que os alunos não enxergam bem a lousa, você e sua equipe se reuniram para traçar a estratégias de desenvolvimento da consultoria. Esse foi o local que eles gostariam de usar mais iluminação natural, pois estão descontentes com o número de luminárias em cada ambiente. Qual o motivo de os alunos não enxergarem a lousa perfeitamente? Existem edifícios no entorno que podem atrapalhar a entrada de iluminação natural? Existem equipamentos específicos para quantificar e qualificar a iluminância? Diante da problemática apresentada, é possível realizar medições? As salas de aula podem estar ocupadas durante a realização das medições? Qual o nível de iluminação requerido na legislação para ambientes escolares?

Diante desse contexto e utilizando os conhecimentos que você vai adquirir ao estudar as normas aplicadas ao conforto lumínico, o método dos lúmens e o cálculo de luminárias, será capaz estimar a qualidade da iluminação nas salas de aula. É permitido o uso do luxímetro, equipamento que tem a função de medir a quantidade de luz (em lux), para realizar algumas medições iniciais em locais pré-determinados. Ao conhecer e utilizar a NBR, você vai conseguir verificar se os ambientes atendem à legislação. Use sua expertise no assunto!

Não pode faltar

Agora que você já conhece um pouco sobre conforto lumínico, o comportamento do nosso olho frente à luz e algumas necessidades básicas de iluminação, vamos estudar as normas aplicadas ao conforto visual e também aprender a calcular, de modo estimativo, o número de luminárias necessárias para um determinado ambiente.

Vamos começar falando sobre as normas? Existem normas relativas à iluminação natural e também à artificial. As principais normas relativas à iluminação são:

- NBR 5461 – 1991 – Iluminação: terminologia.
- NBR 15215 – 2004 – Iluminação natural – Parte 1: conceitos básicos e definições.
 - NBR 15215 – 2004 – Iluminação natural – Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.
 - NBR 15215 – 2004 – Iluminação natural – Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.
 - NBR 15215 – 2004 – Iluminação natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição.
- NBR 5413 – 1992 – Iluminância de interiores: procedimento (esta norma foi substituída pela NBR 8995 em 2013).
- NBR 5382 – 1985 – Verificação de iluminância de interiores: procedimento

Além dessas normas, existe também a nova norma de desempenho, NBR 15575, que entrou em vigor em 2013, composta por várias partes, sendo o desempenho lumínico abordado em uma delas. Nesta seção, vamos dar ênfase à NBR 8995 (ABNT, 2013b), a mais atual, que se refere à iluminação de ambientes de trabalho, e também à NBR 15575 (ABNT, 2013a), norma de desempenho, na parte que trata sobre desempenho lumínico.

Considerando apenas a iluminação artificial, a norma ABNT NBR 5413 estipula as iluminâncias requeridas para várias tarefas e atividades, para diferentes tipos de edificações (habitações, escolas, comércio, entre outros). A norma de desempenho NBR 15575 estipula níveis requeridos de iluminância natural e artificial nas habitações, reproduzindo, neste último caso, as próprias exigências da NBR 5413 (1992).

Ao se considerar somente a iluminação artificial, a norma ABNT NBR 5413 estabelece as iluminâncias necessárias para diversas tarefas e atividades, para vários tipos de edificações, como por exemplo habitações, comércio, escolas, dentre outros). A norma NBR 15575, conhecida como norma de desempenho, estabelece níveis requeridos de iluminância natural e artificial em habitações, e reproduz, neste caso, as próprias exigências da NBR 5413 (1992).

Deve-se ressaltar que a norma de desempenho NBR 15575 entrou em vigência em 2013 e, por isso, considerou a NBR 5413 como referência nos níveis de iluminância requeridos para as diversas atividades. Porém, no mesmo ano, a NBR 5413 foi substituída pela NBR 8995.

A NBR 15575 (ABNT, 2013a) estipula níveis mínimo, intermediário e superior de iluminamento geral para iluminação artificial, o que pode ser observado no Quadro 3.1, a seguir.

Quadro 3.1 | Níveis de iluminamento geral para iluminação artificial

Dependência	Iluminamento geral para os níveis de desempenho (Lux)		
	M ^a	I	S
Sala de estar, dormitório, banheiro, área de serviço, garagens/estacionamentos internos e cobertos	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Copa/cozinha	≥ 200	≥ 300	≥ 400
Corredor ou escada interna à unidade, corredor de uso comum (prédios), escadaria de uso comum (prédios)	≥ 100	≥ 150	≥ 200
Garagens/ estacionamentos descobertos	≥ 20	≥ 30	≥ 40
^a Valores mínimos obrigatórios			

Fonte: ABNT (2013a, p. 64).

A iluminância e sua distribuição nas áreas de trabalho e no entorno próximo têm um maior impacto em como uma pessoa consegue perceber e realizar a tarefa visual de forma eficaz, com conforto e segurança.

Todos os valores de iluminância especificados na NBR 8995-1 são iluminâncias médias recomendadas na área da tarefa e proporcionam a segurança visual no trabalho e as necessidades do desempenho visual, independentemente da idade e condições da instalação.



Pesquise mais

O item 5 da NBR 8995-1:2013 (Requisitos para o planejamento da iluminação) mostra uma tabela com 31 tipos de ambientes diferentes e suas respectivas iluminâncias médias.

Você pode acessar esse material na sua biblioteca virtual no link: <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>.

O método dos Lúmens é utilizado para cálculo de iluminação artificial, um dos mais empregados para o projeto e dimensionamento de sistemas de iluminação interna há mais de meio século. Para entender como funciona esse método, existem dois conceitos importantes que você precisa conhecer: fluxo luminoso e iluminância.



O **fluxo luminoso** é a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa, e sua unidade é o lúmen. A **iluminância** é a razão entre o fluxo luminoso e a área a ser iluminada. Sua unidade é o lux (VIANNA E GONÇALVES, 2007).

O equipamento usado para se medir a iluminância é chamado de Luxímetro.

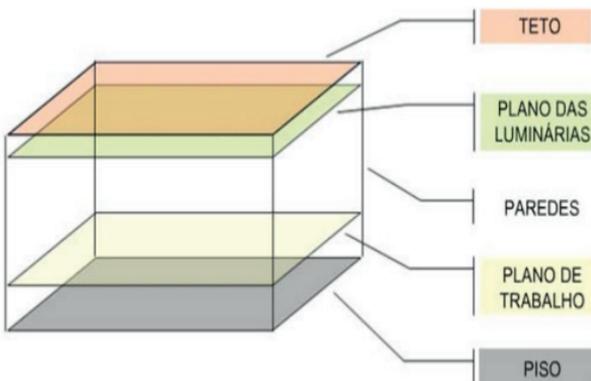
Uma iluminância de 1 lux ocorre quando o fluxo luminoso de 1 lúmen é distribuído uniformemente sobre uma área de 1 m².

O método dos Lúmens consiste em se definir valores médios (um nível homogêneo) do nível de iluminância desejado em determinado ambiente, levando em consideração os seguintes parâmetros:

- A luminária escolhida com seu rendimento e sua altura em relação ao plano de trabalho.
- A lâmpada utilizada com seu respectivo fluxo luminoso.
- As características do ambiente: dimensões, cores (coeficientes de reflexão) manutenção.

Com o emprego do método dos lúmens, obtém-se informações referentes à iluminação geral distribuída, para um plano de trabalho horizontal, que ocupa toda a área do ambiente. Veja um exemplo disso na Figura 3.9.

Figura 3.9 | Área de iluminação no ambiente



Fonte: Gonçalves (2012, p. 29).

Para você aprender a usar perfeitamente o Método dos Lúmens, vamos estabelecer um roteiro? Veja a seguir um passo a passo para te ajudar:

Passo 1: conhecer o uso/atividade do local e suas dimensões (área).

Passo 2: nível de iluminância (consultar ABNT/NBR 8995-1).

Passo 3: escolher luminária e lâmpada.

Passo 4: calcular o índice K (índice relativo ao ambiente). As dimensões dos ambientes são, geralmente, dadas em função de $C \times L \times PD$, onde C é o comprimento L é a largura e PD é o pé-direito.

Passo 5: verificar o coeficiente de utilização da luminária.

Passo 6: verificar o coeficiente de manutenção.

Passo 7: calcular o fluxo luminoso total (lúmens).

Passo 8: calcular o número de luminárias.

Para você entender melhor, vamos seguir esse roteiro por meio de um exemplo. Supondo que você precise estimar o número de luminárias de um escritório, considere os dados a seguir:

- Escritório com 25 m comprimento x 10 m de largura, 4 m de altura (pé-direito) e plano de trabalho a 0,80 m do piso.
- Considere paredes brancas e teto branco.
- A manutenção das luminárias é feita uma vez por ano (a cada 12 meses) e o ambiente é considerado como sendo de limpeza médio.
- As luminárias que serão utilizadas são compostas por 2 lâmpadas fluorescentes de 32 W cada uma, e estarão no mesmo plano do teto. Cada lâmpada produz 2800 lumens (fluxo luminoso). Essas informações você pode conseguir no catálogo do fabricante da lâmpada. Ex.: OSRAM, Philips, etc.
- O nível de iluminância recomendado para escritórios, pela NBR, é 500 lux.

Vamos aplicar o passo a passo?

Passo 1: conhecer o ambiente. Escritório: dimensões 25 x 10 x 4 m, altura do plano de trabalho a 0,80 m do piso.

Passo 2: foi consultada a ABNT e o nível de iluminância recomendado para escritório é 500 lux.

Passo 3: o seu cliente pediu para usar luminárias compostas por 2 lâmpadas fluorescentes, de 32 W cada uma, sendo que cada uma emite 2800 lumens.

Passo 4: calcular o índice relativo ao ambiente (índice K). Esse índice é dado pela fórmula:

$$K = \frac{C \times L}{h \times (C + L)}$$

Onde:

C = Comprimento (em metros).

L = Largura (em metros).

h = distância da luminária ao plano de trabalho (em metros).

No caso do escritório, podemos calcular esse índice:

$$K = \frac{25 \times 10}{3,2 \times (25 + 10)} \rightarrow K = 2,23$$

Obs.: Como as luminárias estão no mesmo plano do teto, o valor de **h** é $4,0 - 0,80 = 3,20$ m. Com esse valor calculado, você deve acessar o Quadro 3.1 para encontrar o valor mais próximo desse K.



Exemplificando

Vamos ver outro exemplo da altura da luminária até o plano de trabalho? Pense agora em uma biblioteca que tenha 6,0 m de pé-direito. Se as luminárias estão encostadas no teto e a altura da superfície de trabalho é 70 cm, o valor de **h** (distância da luminária ao plano de trabalho) seria 5,3 m. Você sempre tem que descontar a altura do plano de trabalho da altura do teto (pé-direito).

As tabelas para encontrar o índice K são aquelas que fornecem o fator de utilização para determinado tipo de lâmpada. Essas tabelas são, geralmente, encontradas em catálogos de fabricantes ou fornecedores.

Quadro 3.2 | Índice K e fator de utilização para lâmpadas fluorescentes

K	Teto	70			50			30	
	Parede	50	30	10	50	30	10	30	10
0,60		0,39	0,33	0,28	0,38	0,32	0,28	0,32	0,28
0,80		0,48	0,42	0,37	0,47	0,41	0,37	0,41	0,37
1,00		0,55	0,48	0,44	0,53	0,48	0,43	0,47	0,43
1,25		0,61	0,55	0,50	0,59	0,54	0,50	0,53	0,50
1,50		0,65	0,60	0,55	0,64	0,59	0,55	0,58	0,55
2,00		0,71	0,67	0,63	0,70	0,66	0,62	0,64	0,61
2,50		0,75	0,71	0,68	0,74	0,70	0,67	0,69	0,66
3,00		0,78	0,75	0,71	0,76	0,73	0,70	0,72	0,70
4,00		0,82	0,79	0,76	0,80	0,77	0,75	0,76	0,74
5,00		0,84	0,81	0,79	0,82	0,80	0,78	0,78	0,77

Fonte: adaptado de Pazzini (Is.d.), p. 6).

No nosso caso, o valor de K a ser adotado será de 2,0 (valor mais próximo de 2,23).

Passo 5: verificar o coeficiente de utilização da luminária.

Os coeficientes de utilização são fornecidos pelos fabricantes em tabelas (encartes fotométricos), como função do índice do ambiente (K) e das refletâncias das superfícies (teto e paredes). Esse coeficiente de utilização da luminária é dado pelo cruzamento do índice K (que acabamos de calcular), com os índices de reflexão das paredes e tetos. No exemplo, as paredes e o teto são brancos. O Quadro 3.3 nos diz quanto é o índice de reflexão de paredes e tetos:

Quadro 3.3 | Índices de reflexão de paredes e tetos

TETO	Branco	70%
	Claro	50%
	Médio	30%
PAREDE	Clara	50%
	Média	30%
	Escura	10%

Fonte: Pazzini (Is.d.), p. 6).

Neste caso, com o teto branco o índice de reflexão será de 70%. Para paredes brancas, o índice de reflexão será de 50%. Note que no caso das paredes, o branco pode ser considerado uma cor clara. Porém, se o seu cliente quiser pintar as paredes de amarelo, por exemplo, ele terá que decidir se será amarelo claro, médio ou escuro. Você, como profissional, deve saber encaixar na tabela a cor exigida pelo cliente.

Voltando ao exemplo:

Teto branco → reflexão de 70%

Parede branca (clara) → reflexão de 50%

Cruzando esses dados no Quadro 3.4, podemos encontrar o fator u (fator de utilização).

Quadro 3.4 | Fator de utilização (u) para lâmpadas fluorescentes

K	Teto	70			50			30	
	Parede	50	30	10	50	30	10	30	10
	Plano de trabalho	10			10			10	
0,60		0,39	0,33	0,28	0,38	0,32	0,28	0,32	0,28
0,80		0,48	0,42	0,37	0,47	0,41	0,37	0,41	0,37
1,00		0,55	0,48	0,44	0,53	0,48	0,43	0,47	0,43
1,25		0,61	0,55	0,50	0,59	0,54	0,50	0,53	0,50
1,50		0,65	0,60	0,55	0,64	0,59	0,55	0,58	0,55
2,00		0,71	0,67	0,63	0,70	0,66	0,62	0,64	0,61
2,50		0,75	0,71	0,68	0,74	0,70	0,67	0,69	0,66
3,00		0,78	0,75	0,71	0,76	0,73	0,70	0,72	0,70
4,00		0,82	0,79	0,76	0,80	0,77	0,75	0,76	0,74
5,00		0,84	0,81	0,79	0,82	0,80	0,78	0,78	0,77

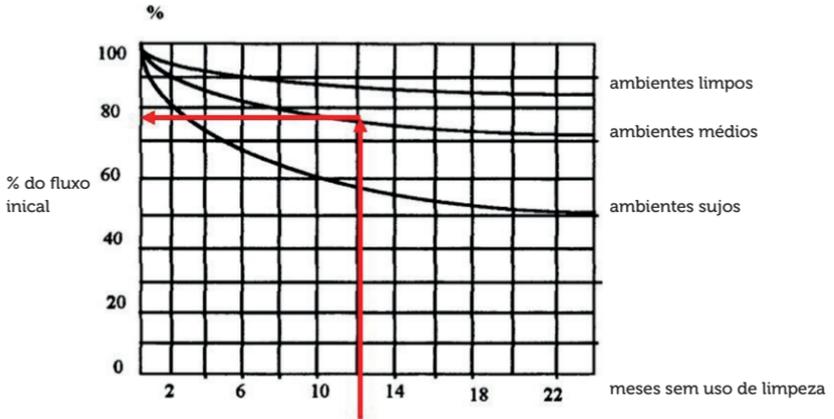
Fonte: adaptado de Pazzini ([s.d.], p. 6).

Portanto, nosso fator u será de **0,71**.

Passo 6: verificar o coeficiente de manutenção.

Com o tempo, paredes e tetos ficarão sujos, os equipamentos de iluminação acumularão poeira e as lâmpadas fornecerão menor quantidade de luz. Foi explicado no exemplo que a manutenção das luminárias é feita uma vez por ano e que o ambiente é considerado de limpeza média. Cruzando essas duas informações, conseguimos encontrar o coeficiente de manutenção, de acordo com a Figura 3.10:

Figura 3.10 | Determinação do coeficiente de manutenção



Fonte: adaptado de Pazzini (l.s.d.), p. 7).

Achamos que o coeficiente de manutenção (**d**) é **0,77**, aproximadamente.

Passo 7: calcular o fluxo luminoso total (lúmens). O fluxo luminoso total é calculado pela fórmula:

$$\varphi_{total} = \frac{E \times S}{u \times d}$$

Onde:

φ_{total} = fluxo luminoso (em lumens) total produzido pelas lâmpadas.

E = iluminância determinada pela NBR 8995-1.

S = área do recinto (m^2).

u = coeficiente de utilização.

d = coeficiente de manutenção.

No caso do nosso exemplo:

$$\varphi_{total} = \frac{500 \times 25 \times 10}{0,71 \times 0,77} \rightarrow \varphi_{total} = 228645 \text{ lúmens}$$

Passo 8: calcular o número de luminárias. Se cada lâmpada produz 2800 lúmens, e temos duas lâmpadas, o fluxo produzido será $2800 \times 2 = 5600$ lúmens.

Para calcular o número de luminárias, usamos a seguinte equação:

$$n = \frac{\varphi_{total}}{\varphi_{lum}} \quad \text{Onde:}$$

n = número de luminárias

φ_{total} = fluxo luminoso (em lúmens) total produzido pelas lâmpadas.

φ_{lum} = fluxo luminoso (em lúmens) produzido por cada luminária.

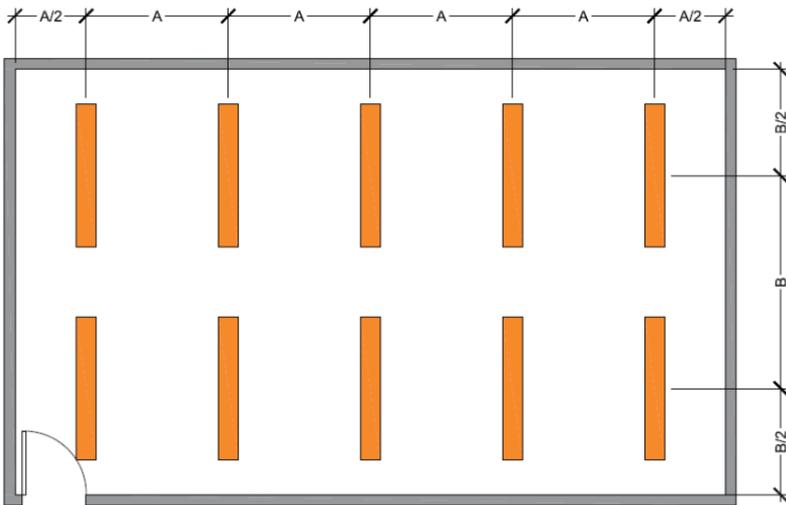
No nosso exemplo:

$$n = \frac{\varphi_{total}}{\varphi_{lum}} \rightarrow n = \frac{228645}{5600} \rightarrow n = 40,83 \rightarrow n = 41 \text{ luminárias}$$

Obs.: deve-se sempre arredondar o número de luminárias para o número inteiro maior (imediatamente superior).

Os pontos de iluminação devem ser distribuídos, de preferência, de forma uniforme pelo recinto, considerando-se o layout do mobiliário, o direcionamento da luz para a mesa de trabalho e o próprio tamanho da luminária. É recomendável que a distância "A" ou "B" entre as luminárias seja o dobro da distância entre estas e as paredes laterais.

Figura 3.11 | Distribuição dos pontos de iluminação



Fonte: elaborada pelo autor.



Quando você começa a pensar num projeto de iluminação, como você poderia escolher a luminária ideal?

O processo de escolha de uma luminária pode ser rápido ou bem complicado, dependendo da utilização a que ela se destina. Hoje em dia, procura-se explorar ao máximo o resultado da iluminação, e não a luminária por si só. Quanto menos notarmos a fonte de luz, melhor. O importante é a qualidade e a eficácia dos aparelhos escolhidos, assim como sua quantidade.

Sem medo de errar

Relembrando nossa situação-problema, sua equipe multidisciplinar deve continuar a trabalhar no projeto proposto pela FDE, prestando consultoria, para verificação da qualidade e quantidade de conforto visual existente. Neste momento, vocês podem utilizar o luxímetro e realizar algumas medições iniciais nas salas de aula, salas de música, salas de desenho, ou outras que acharem conveniente.

Vocês podem realizar as medições em períodos diferentes do dia, e também considerando as luzes acesas e, logo a seguir, apagadas. Também podem abrir e fechar as cortinas, para verificar se há diferença nos níveis de iluminância.

O sensor do luxímetro deve ficar paralelo à superfície de trabalho, no caso as carteiras. E você tem que tomar cuidado para não fazer sombra com o seu corpo, sobre o aparelho. Escolha alguns pontos específicos para realizar as medições.

A partir dos resultados medidos, você será capaz de verificar, na literatura, se os níveis de iluminância estão de acordo com o prescrito. Além disso, com os conhecimentos adquiridos a partir do método dos Lúmens, você e sua equipe podem verificar se a quantidade de luminárias nas salas estão satisfatórias.

Número de luminárias em uma lavanderia

Descrição da situação-problema

O proprietário de uma lavanderia, a ser instalada no seu bairro, contratou você e sua equipe de profissionais para propor um sistema de iluminação adequado, utilizando lâmpadas fluorescentes. A lavanderia tem 10 m x 6 m x 2,8 m e a altura da superfície de trabalho é 1,20 m. As luminárias serão instaladas no mesmo plano do teto. Ele prefere que as paredes e o teto sejam de cores claras, de preferência brancos. Será preciso que vocês estimem a quantidade de luminárias que será necessária para que os funcionários desempenhem as tarefas com segurança, eficácia e conforto visual. Dessa forma, qual o nível de iluminância recomendado para lavanderias? Quantas luminárias serão necessárias?

Resolução da situação-problema

Para começar a pensar no cálculo do número de luminárias, vocês deverão utilizar o método dos Lúmens da seguinte forma:

Passo 1: conhecer o uso/atividade do local e suas dimensões (área). A lavanderia possui 10 m x 6 m x 2,8 m. Portanto, a área é de 60 m² e o pé-direito é de 2,8 m.

Passo 2: nível de iluminância (consultar ABNT/NBR 8995-1). Consultando a NBR 8995-1, você constatou que o nível de iluminância recomendado para uma lavanderia é de 300 lux.

Passo 3: escolher luminária e lâmpada. Consultando o catálogo técnico de uma marca renomada, sua equipe decidiu utilizar luminárias compostas por 4 lâmpadas fluorescentes, de 16 W cada uma, sendo que cada uma emite 1800 lúmens.

Passo 4: calcular o índice K.

$$K = \frac{C \times L}{h \times (C + L)}$$

$$K = \frac{10 \times 6}{1,6 \times (10 + 6)}$$

$$K = 2,34$$

Utilizando o Quadro 3.1 para encontrar o índice K, você considerou $K = 2,50$.

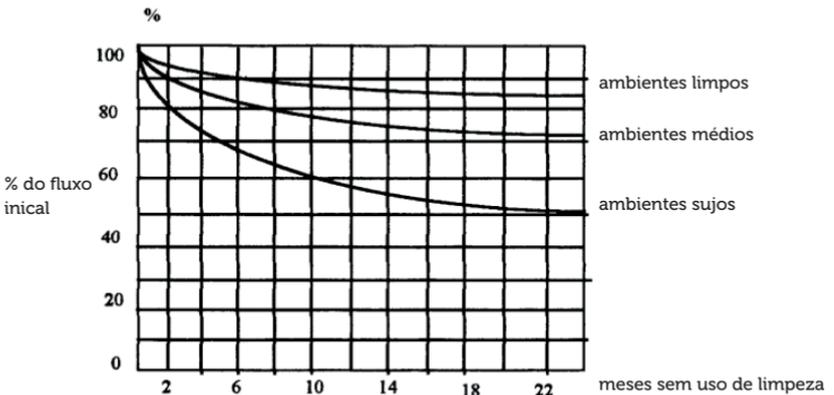
Passo 5: Verificar o coeficiente de utilização da luminária. Seu cliente pediu para pintar o teto de branco, portanto, o índice de reflexão será de 70%. As paredes também serão brancas, e o índice de reflexão será de 50%.

Consultando a tabela que fornece o fator de utilização para lâmpadas fluorescentes, você descobriu que o fator u é igual a 0,75.

Passo 6: Verificar o coeficiente de manutenção. Você vai considerar que a manutenção das luminárias é feita a cada oito meses e que o ambiente é considerado limpo.

Verificando o gráfico da Figura 3.12 a seguir, observe que o coeficiente de manutenção é 0,90.

Figura 3.12 | Curvas para determinação do coeficiente de manutenção



Fonte: Pazzini ([s.d.], p. 7).

Passo 7: Calcular o fluxo luminoso total (lumens). Aplicando a fórmula:

$$\varphi_{total} = \frac{E \times S}{u \times d}$$

$$\varphi_{total} = \frac{300 \times 10 \times 6}{0,75 \times 0,90} \rightarrow \varphi_{total} = 26667 \text{ lúmens}$$

Você calculou que o fluxo total será de 26667 lúmens.

Passo 8: Calcular o número de luminárias. Se cada lâmpada emite 1800 lúmens, e temos 4 lâmpadas, o fluxo produzido será $1800 \times 4 = 7200$ lúmens. Para calcular o número de luminárias, usamos a seguinte equação:

$$n = \frac{\varphi_{total}}{\varphi_{lum}} \rightarrow n = \frac{26667}{7200} \rightarrow n = 3,70 \rightarrow n = 4 \text{ luminárias}$$

Você pode responder ao seu cliente que apenas 4 luminárias serão necessárias para os funcionários desempenharem suas tarefas com eficácia, conforto visual e segurança.

Faça valer a pena

1. Leia atentamente as asserções a seguir:

- I. O método dos Lúmens é um dos métodos mais empregados para o projeto e dimensionamento de sistemas de iluminação natural, desenvolvido há mais de meio século.
- II. A NBR 5413 está em vigência desde 1992 e estabelece procedimentos para iluminância de interiores.
- III. Com o emprego do método dos lúmens, obtém-se informações referentes à iluminação geral distribuída.
- IV. Fluxo luminoso é a quantidade total de lux emitida por uma fonte luminosa, e sua unidade é o lúmen.
- V. A partir da quantidade de luminárias, é possível calcular o número de lâmpadas a ser utilizado em um ambiente por meio do método dos lúmens.

Assinale a alternativa que apresenta as asserções verdadeiras.

- a) Apenas as afirmativas III e V.
- b) Apenas as afirmativas II, III e V.
- c) Apenas as afirmativas I, IV e V.
- d) Apenas as afirmativas I e V.
- e) Apenas as afirmativas IV e V.

2. Considere o seguinte ambiente: sala de inspeção de cor de uma indústria química, de dimensões 7,50 m x 3,00 m x 3,40 m. As bancadas (plano de trabalho) estão a 1,20 m do piso. Para calcular o número de luminárias, é preciso em primeiro lugar, calcular o índice do ambiente, chamado índice K. Aplique a fórmula a seguir para encontrar o índice K dessa sala de inspeção de cor.

$$K = \frac{C \times L}{h \times (C + L)}$$

Assinale a alternativa com o índice L da sala de inspeção de cor correto.

- a) 1,77.
- b) 0,93.
- c) 4,09.
- d) 0,97.
- e) 0,63.

3. Você precisa calcular o número de luminárias de uma padaria, que tem 80 m² de área, e o índice de iluminância recomendado pela norma é de 500 lux. Você já sabe que o índice K vale 2,50. Serão usadas luminárias compostas por 2 lâmpadas fluorescentes de 16 W cada, sendo que cada uma emite 2.300 lúmens. O fator de utilização é 0,68 e o coeficiente de manutenção é 0,90.

Assinale a alternativa que expressa o número de luminárias a serem utilizadas na padaria.

- a) 28.
- b) 15.
- c) 29.
- d) 14.
- e) 6.

Seção 3.3

Medição de conforto lumínico

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção você vai poder observar se existe ofuscamento, penumbra ou excesso de claridade nos ambientes de trabalho e/ou estudo. Além disso, vai poder definir os pontos de iluminação na própria sala de aula, realizar algumas medições com o luxímetro e analisar se a sala de aula está de acordo com o requerido na NBR, em termos de iluminação.

Relembrando a proposta da FDE, você e sua equipe multidisciplinar precisam continuar a trabalhar no projeto proposto e, para isso, você precisa orientar seus companheiros de equipe sobre qual a melhor maneira de apresentar os resultados para o contratante, de forma convincente. Foram encontrados problemas de iluminação nas salas de aula? Esses problemas poderão ser resolvidos? É possível apresentar um relatório de medições? Os níveis de iluminância estão dentro dos limites prescritos na legislação? Quais as medidas necessárias para melhorar a qualidade luminosa das salas de aula e fornecer conforto aos alunos e professores?

Utilizando a metodologia proposta em legislação, sua equipe será capaz de dividir os ambientes nos pontos necessários para estimar os níveis de iluminância. Na sequência, vocês podem fazer as medições durante um, dois ou três dias, conforme a disponibilidade, e realizar uma análise geral dos ambientes. Ao final do diagnóstico, será possível propor alguma intervenção para melhoria do conforto luminoso nos ambientes. Vamos lá! Será muito gratificante!

Não pode faltar

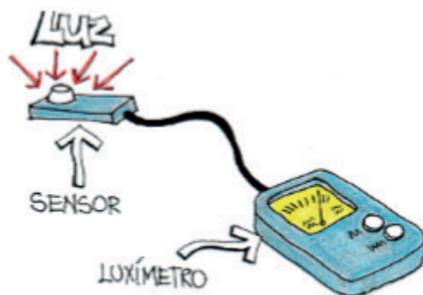
Vamos conhecer os conceitos de claridade, penumbra e ofuscamento, além de aprender como se definem e como se medem pontos diversos de iluminação. Além disso, você vai conseguir aplicar esses conhecimentos em medições lumínicas.

É muito importante saber balancear a quantidade e a qualidade de iluminação em um ambiente, e também como escolher de forma adequada a fonte de luz, seja natural ou artificial. Porém, é difícil estimar as preferências do ser humano, em relação à iluminação, já que este fator pode variar de acordo com a idade da pessoa, da hora do dia e do contexto do local. Em relação à variação do nível de iluminação, as pessoas têm maior tolerância quando se usa iluminação natural.

Podemos dizer também que, quanto mais complicada for a tarefa a ser desempenhada e quanto mais velha for a pessoa, maior deverá ser o nível de iluminação do local. A iluminação inadequada ou ineficiente pode causar fadiga visual, irritabilidade, dor de cabeça, além de provocar erros.

Uma verificação inicial do nível de iluminação que é necessário em um ambiente pode ser feita utilizando-se um luxímetro (Figura 3.13), de forma simplificada, medindo a iluminância e seguindo como diretriz os valores do Quadro 3.5, a seguir.

Figura 3.13 | Ilustração de um luxímetro



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2003, p. 58).

Quadro 3.5 | Nível de iluminação necessário em ambientes

Classificação	Nível de iluminação a ser obtido	Tarefa
BAIXA	100 a 200 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Circulação • Reconhecimento facial • Leitura casual • Armazenamento • Refeição • Terminais de vídeo

MÉDIA	300 a 500 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com alto contraste • Participação de conferências
ALTA	500 a 1000 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e baixo contraste • Desenho técnico

Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2003, p. 58).

Com relação à iluminação, os chamados efeitos psicofísicos são claridade, para grandes quantidades de luz incidindo na retina, e penumbra, para pouca luz incidente. Szabo (1995) estabelece alguns aspectos importantes de estruturação de uma análise sobre o uso da luz nas obras dos arquitetos do Modernismo, e um desses aspectos seria qual é a característica do espaço iluminado: se está em plena claridade, se está em penumbra, se ocorre um jogo de luz e sombra.

Conforme Santos (2008), é importante notar que os raios luminosos não são visíveis, a sensação de luminosidade é decorrente da reflexão desses raios por uma superfície. Essa luminosidade, então vista, é chamada de luminância. A luminância é a sensação de claridade provocada no olho por uma fonte de luz ou por uma superfície iluminada em uma dada direção. Esse conceito de luminância será mais detalhado na próxima unidade de ensino (Unidade 4).

A luz não é visível até ser refletida pelos corpos e, a maior ou menor claridade que um corpo manifesta ao ser iluminado, dá-se o nome de luminância. A luminância é normalmente abordada para explicar os fenômenos relacionados ao ofuscamento.

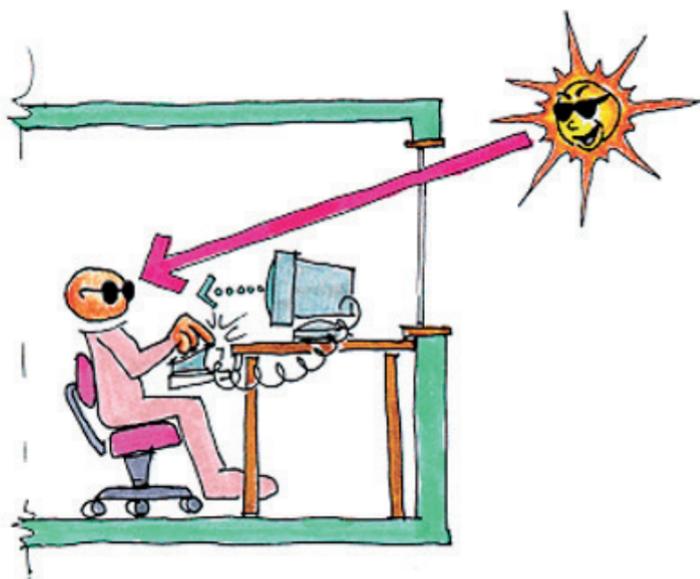
Quando o processo de adaptação não acontece normalmente, devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, pode-se experimentar uma perturbação, desconforto ou até perda na visibilidade, que é chamada de ofuscamento (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2003).

O ofuscamento é causado devido a contrastes excessivos de luminâncias. Esses contrastes excessivos tornam difícil o entendimento da mensagem visual, interferem na comunicação visual, inclusive fisiologicamente, à medida que causam a fadiga

muito rápida dos órgãos que compõem nosso olho. O ofuscamento pode ocorrer: diretamente, pela visão direta da fonte de luz; e indiretamente, por reflexão.

Ofuscamento direto: ocorre quando o observador olha diretamente para a fonte (o sol ou uma lâmpada). Quando uma fonte de luz está localizada mais próxima ao centro de visão, o ofuscamento é mais acentuado. Veja, na Figura 3.14, que a presença do sol ou mesmo da luz natural difusa no mesmo campo de visão de alguém que está trabalhando num computador, pode ofuscar a leitura do monitor.

Figura 3.14 | Ofuscamento direto



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2003, p. 60).

Ofuscamento indireto: ocorre pela reflexão da imagem da fonte em uma superfície polida. Observe um exemplo na Figura 3.15:

Figura 3.15 | Ofuscamento por reflexos indesejáveis



Fonte: Vianna e Gonçalves (2007, p. 103).



Assimile

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013b) define ofuscamento como sendo a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentada tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador.

No interior de locais de trabalho, o ofuscamento **desconfortável** geralmente surge diretamente de luminárias brilhantes ou janelas. Agora o ofuscamento inabilitador é mais comum na iluminação exterior.

Esses dois tipos de ofuscamento se diferenciam pelo grau de perturbação que provocam. É importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes. Mas como você pode tentar evitar o ofuscamento? O ofuscamento pode ser evitado, por exemplo, através da proteção contra a visão direta das lâmpadas ou por um escurecimento das janelas por anteparos.

Os pontos de iluminação devem ser distribuídos, de preferência, de modo uniforme no ambiente, considerando-se o layout do mobiliário, o direcionamento da luz para a mesa de trabalho e o próprio tamanho da luminária.



É importante o arquiteto conhecer o conceito de ofuscamento para prevenir erros, fadiga e acidentes, além de estar antenado com as tendências utilizadas no dia a dia. O ofuscamento pode (e deve) ser evitado.

Para saber mais e conhecer exemplos de ofuscamento, você pode ir até o link: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

Baixar o manual técnico da OSRAM, um fabricante importante no setor de iluminação. Esse manual também traz informações importantes sobre a definição dos pontos de iluminação.

Medições de iluminância

Vamos agora pensar em como fazer algumas medições de conforto lumínico, a partir dos níveis de iluminância. A ABNT NBR 15215-4 (2005) estabelece um procedimento de verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações e propõe uma metodologia de medição. As medidas de iluminância são realizadas com a ajuda de equipamentos do tipo fotômetros, denominados luxímetros. Esses equipamentos têm um sensor fotométrico (fotocélula, sensível à luz), geralmente de silício ou selênio, com um visor digital ou analógico.

Para garantir a precisão e a qualidade das medições, algumas recomendações devem ser seguidas, em relação aos instrumentos:

- Calibrar periodicamente.
- Evitar choques de qualquer natureza.
- Não expor o equipamento às intempéries e aos limites de temperatura e umidade, recomendados pelos fabricantes.
- Guardar os instrumentos em seus estojos, após a utilização, desligados e sem bateria.

As medições de iluminância podem ser realizadas em ambientes reais ou em modelos físicos executados em escala reduzida. Os modelos em escala são ferramentas de projeto que podem ser utilizados para avaliação de vários aspectos do projeto do edifício, como sua forma, orientação, fachadas e também para o estudo da iluminação natural nos espaços internos.

Como a luz não sofre distorções, as medições em modelos têm como objetivo avaliar as condições de iluminação do ambiente ainda em fase de projeto, através da execução de maquetes, permitindo a adoção de sistemas de aberturas mais eficientes e uma melhor orientação dos componentes construtivos (ABNT, 2005).

Para esse tipo de avaliação, devem-se tomar alguns cuidados em relação à dimensão dos sensores, os quais devem ter as menores dimensões possíveis. A norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005) recomenda que, para modelos arquitetônicos em escala reduzida, não se deve utilizar sensores maiores do que $0,03 \text{ m}^2$ na escala do modelo.



Pesquise mais

Como devem ser feitas as medições em modelos? Pesquise na ABNT NBR 15215-4 (2005, p. 1-5) as recomendações que devem ser seguidas para realizar as medições em modelos de escala reduzida, e como devem ser construídos esses modelos.

A NBR 15215-4 (ABNT, 2005) recomenda que as medições em ambientes reais (avaliação *in loco*) têm como objetivo avaliar a iluminação natural do ambiente construído, em condições reais de ocupação e utilização. O procedimento recomendado nessa norma para medições em ambientes reais pode ser descrito como:

1. Considerar a quantidade de luz no ponto e no plano onde a tarefa for executada, seja horizontal, vertical ou em qualquer outro ângulo.
2. Deixar o sensor sobre a superfície que está sendo avaliada, ou manter o sensor paralelo à superfície.
3. Cuidado com o nivelamento da fotocélula. Quando ela não for mantida sobre a superfície de trabalho e sim na mão da pessoa que está medindo, podem ocorrer pequenas diferenças na posição, causando grandes diferenças na medição.
4. O corpo da pessoa que está realizando as medições não pode fazer sombra sobre a fotocélula. Se outras pessoas estiverem acompanhando a medição, é recomendado que não estejam próximas da fotocélula, para evitar sombras.
5. Sempre que possível, verificar o nível de iluminação com e sem as pessoas que usam esses ambientes. Assim, é possível verificar alguma falha de layout.

6. Antes de começar a primeira leitura, a fotocélula deve ficar exposta à luz por aproximadamente cinco minutos, evitando sua exposição a fontes luminosas muito intensas, como por exemplo, os raios solares.

7. Quando a altura da superfície de trabalho não for conhecida, deve-se fazer as medições num plano horizontal a 75 cm do piso.

Como as condições do céu variam ao longo do dia e do ano, os valores dos níveis de iluminação devem ser verificados em diferentes horas do dia e também em diferentes épocas do ano. Nos levantamentos em que não seja possível o monitoramento ao longo do ano, é recomendável que se verifique a iluminância nas condições de céu mais representativas, nos seguintes períodos:

a) Em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro para o Hemisfério Sul).

b) Em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho para o Hemisfério Sul).

c) De 2 em 2 horas, a partir do início do expediente.

Para avaliar a iluminância nos postos de trabalho, é preciso fazer medições em uma quantidade de pontos que seja suficiente para caracterizar o plano de forma adequada. Mas como saber quantos pontos são necessários? Podemos dividir o ambiente igualmente? Existe uma metodologia apresentada na NBR 15215-4 (ABNT, 2005) que estipula uma quantidade certa de pontos a serem monitorados.

Para determinar o número mínimo de pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural, com erro inferior a 10%, deve-se, em primeiro lugar, determinar o índice do ambiente, chamado índice K, dado pela equação a seguir.

$$K = \frac{C \times L}{Hm \times (C + L)} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Onde:

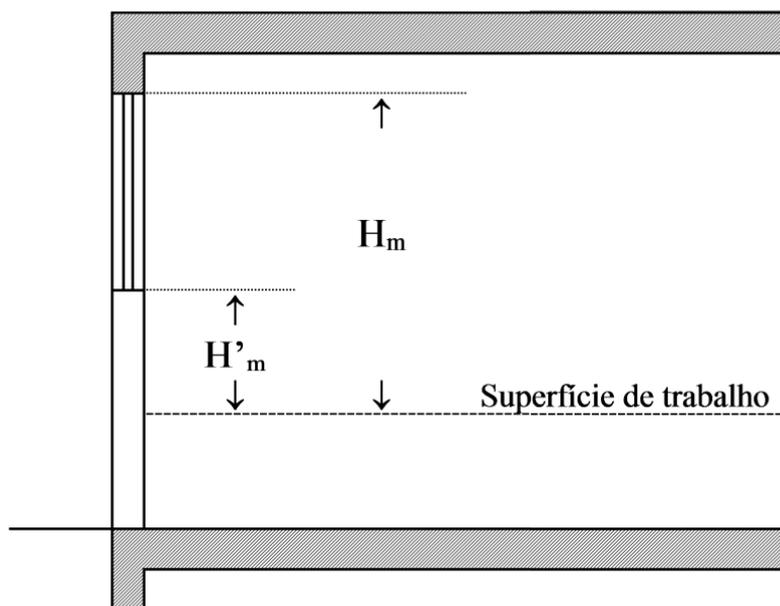
L = largura do ambiente, em metros.

C = comprimento do ambiente, em metros.

Hm = distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela, em metros.

A Figura 3.16 indica a determinação do Hm:

Figura 3.16 | Determinação de H_m



Fonte: ABNT (2005, p. 7).

Nota: Segundo a NBR 15215-4 (ABNT, 2005), quando o peitoril da janela estiver mais de 1 metro acima do plano de trabalho, deve-se usar H_m como sendo a distância vertical entre a superfície de trabalho e o peitoril (H'_m). Depois de calcular o índice K , você será capaz de estabelecer a quantidade mínima de pontos a serem medidos, observando o Quadro 3.6.

Quadro 3.6 | Quantidade mínima de pontos a serem medidos

K	nº de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: ABNT (2005, p. 7).

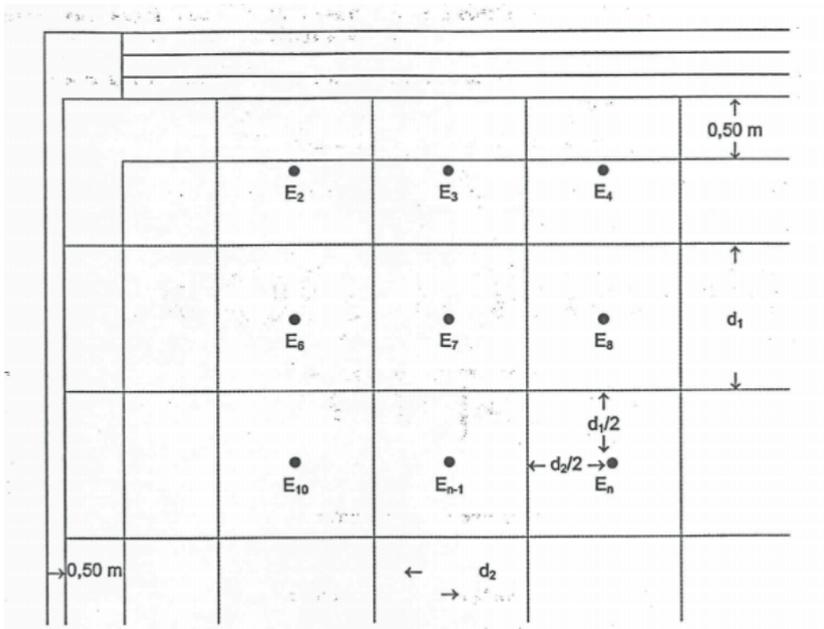


Exemplificando

Suponha que você calculou o índice K de um escritório e teve como resultado 1,8. Seguindo o Quadro 3.5, você terá que dividir o ambiente em pelo menos 16 pontos, para serem monitorados.

Mas como dividir o ambiente no número de pontos recomendado pelo quadro? Posso fazer de modo aleatório? A resposta é não. Por norma, o ambiente interno deve ser dividido em áreas iguais, com formato próximo ou igual a um quadrado, formando uma malha de pontos. A iluminância é medida no centro de cada área, conforme ilustra a Figura 3.17.

Figura 3.17 | Malha de pontos para medições



Fonte: ABNT (2005, p. 8).

Observe na Figura 3.17 que é preciso descontar 50 cm das laterais do ambiente e, a partir da área que sobrar, dividir os pontos em formato próximo ou igual a um quadrado, obedecendo a quantidade mínima de pontos. Os pontos de medição devem ficar no centro de cada quadrado.

Além das medições no ambiente interno, recomenda-se, também, a medição da iluminância externa horizontal, na condição mais desobstruída possível. Porém, tome cuidado para que o sensor não fique exposto à incidência direta da radiação solar.



Refleta

Depois de fazer todas as medições recomendadas, como você pode expressar os resultados?

Você pode determinar a iluminância média (\bar{E}) sobre a superfície de trabalho, para verificar se o ambiente atinge a especificação de projeto. A iluminância média é a média aritmética de todos os n pontos medidos, conforme você pode observar na equação a seguir.

$$\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Com base nos resultados, você pode abordar as seguintes análises:

- Comparar os resultados da iluminação média medida com o recomendado pela NBR 8995, e verificar se estão em conformidade.
- Verificar qual é a eficiência no emprego da luz composta (natural + artificial). Para isso, você pode comparar em termos do que é recomendado por norma, qual é a porcentagem de melhoria que se obtém quando se passa da luz natural para a luz composta. E também a partir de que momento é necessário acender as luzes para que os valores de iluminância fiquem dentro dos valores recomendados pela literatura.

Diante de tudo o que você aprendeu nessa unidade, é importante lembrar que o conforto visual é um fator imprescindível a ser considerado na determinação da necessidade de iluminação de um edifício. Conforme Rondon (2011), a boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento.

Sem medo de errar

Vamos lembrar nossa situação problema? Você e sua equipe de profissionais precisam continuar a trabalhar no projeto proposto pela FDE, solicitado o serviço de consultoria para verificação do conforto visual existente – em termos de quantidade e qualidade.

Você pode verificar se os níveis de iluminação estão em consonância com a legislação e também se o número de luminárias está adequado para os ambientes. Para isso, você já deve ter dividido os ambientes na malha de pontos proposta pela metodologia da norma, coletado os dados de iluminância nas salas, e agora precisa apresentar os resultados ao cliente, de forma adequada.

Verifique se existem problemas de iluminação nas salas de aula; caso afirmativo, como você sugere que sejam resolvidos? Caso seja constatado problema de ofuscamento, uma medida para correção seria proteger contra a visão direta das lâmpadas, ou ainda, escurecer as janelas fazendo uso de anteparos.

Caso os níveis de iluminância não estejam em conformidade com a legislação, vocês podem sugerir a troca das luminárias ou mesmo das lâmpadas, com base em informações de catálogos técnicos.

Dessa forma, ao final das análises, será possível melhorar a qualidade luminosa das salas de aula e fornecer conforto aos usuários, tanto alunos como professores.

Avançando na prática

Diagnóstico do sistema de iluminação em um museu

Descrição da situação-problema

Você foi contratado pela Prefeitura do Município para avaliar o sistema de iluminação do museu de artes da sua cidade. Existem reclamações dos usuários em relação a iluminação do espaço? E em relação ao ofuscamento? O nível de iluminação recomendado pela legislação está sendo atendido? O número de luminárias é suficiente?

Resolução da situação-problema

A primeira fase do trabalho é uma sondagem sobre o funcionamento do sistema de iluminação do museu. Em seguida é possível consultar o livro de reclamações e verificar o que os usuários percebem e solicitam, em relação a iluminação. Você deve lembrar que em museus a iluminação natural deve ser excluída, ou usada minimamente, devido a radiação solar incidente, que pode interferir na qualidade das peças expostas (pela ação do ultravioleta e também do próprio calor).

Depois de coletar as informações por meio de medições com o luxímetro, você pode verificar se o museu se encaixa nos níveis recomendados pela ABNT. Caso a resposta seja negativa, você pode propor, por exemplo, o aumento do número de luminárias ou a troca das lâmpadas. Faça um diagnóstico detalhado, com imagens, gráficos e entregue ao seu cliente. Não esqueça de tentar estimar o custo da intervenção, se possível.

Faça valer a pena

1. Para o arquiteto, é importante considerar a iluminação natural em seus projetos, bem como a interação da iluminação artificial com a natural. Para se avaliar as condições de iluminação de um certo ambiente, pode-se realizar algumas medições, utilizando um equipamento.

Assinale a alternativa que representa esse equipamento.

- a) Isolux.
- b) Luminancímetro.
- c) Psicrômetro.
- d) Luxímetro.
- e) Anemômetro.

2. Na avaliação da iluminância em postos de trabalho é preciso fazer medições em uma quantidade de pontos que seja suficiente para caracterizar o plano de forma adequada. A fim de determinar o número mínimo de pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural, deve-se determinar o índice do ambiente, chamado índice K.

Suponha um ambiente com 10,50 m de comprimento, 8,90 m de largura, e pé direito de 4,20 m. A altura do plano de trabalho é 75 cm a partir do nível do piso.

Calcule o índice K e assinale a alternativa correta.

- a) 0,28.
- b) 1,40.
- c) 4,08.
- d) 1,69.
- e) 2,46.

3. Nos levantamentos em que não seja possível o monitoramento dos níveis de iluminação ao longo do ano, é recomendável que se verifique a iluminância nas condições de céu mais representativas, em alguns momentos específicos. Observe as asserções a seguir:

1. Em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro para o Hemisfério Norte).
2. De 4 em 4 horas, a partir do início do expediente.
3. Nos dias do equinócio (primavera e outono).
4. Em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho para o Hemisfério Sul).

Com base nas asserções apresentadas acima, assinale a alternativa correta.

- a) As asserções 1, 2 e 4 estão corretas.
- b) As asserções 1 e 3 estão corretas.
- c) As asserções 2 e 3 estão corretas.
- d) As asserções 1 e 4 estão corretas.
- e) Somente a asserção 4 está correta.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5461. **Iluminação:** terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. NBR 15215. **Iluminação natural** – Parte 1: conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. NBR 15215. **Iluminação natural** – Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. NBR 15215. **Iluminação natural** – Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. NBR 15215. **Iluminação natural** – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. NBR 5382. **Verificação de iluminância de interiores:** procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

_____. NBR 15215-4. **Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações** – método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 5413. **Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. NBR 15575. **Edificações habitacionais** – desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_____. NBR 8995-1. **Iluminação de ambientes de trabalho.** Parte 1: interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

GONÇALVES, L. F. **Instalações elétricas prediais** (notas de aula). Porto Alegre, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** Rio de Janeiro: Eletrobrás Procel, 2003.

MASCARÓ, L. R. et al. **Luz, clima e arquitetura.** São Paulo: EDUSP, 1983.

NOGUEIRA, F. E. A. **Avaliação das janelas em edifícios escolares considerando parâmetros de conforto luminoso:** o caso de escolas da rede municipal de Campinas. 2007. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2007.

PAZZINI, L. H. A. **Cálculos de iluminação.** São Paulo: Faculdades Integradas de São Paulo, [s.d.].

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B.de. **Iluminação.** Apostila da disciplina de Higiene do Trabalho II do Curso de Pós-Graduação da Fundação Universidade do Contestado. Florianópolis, 2000.

PÉREN, J. I. M. **Ventilação e iluminação natural na obra de João Filgueiras Lima "Lelé"**: estudo dos hospitais da rede Sara Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. 2006. 262 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2006.

RONDON, C. E. **Variabilidade espacial de medidas de iluminância em habitações populares em Cuiabá-MT**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, UFMT. Cuiabá, 2011.

SANTOS, F. M. M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT**: estudo de caso. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, UFMT. Cuiabá, 2008.

SZABO, L. **Visões de luz - o pensamento de arquitetos modernistas sobre o uso da luz na Arquitetura**. 1995. 220 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Mackenzie, São Paulo, 1995.

TAVARES, S. G. **Simulação computacional para projeto de iluminação em arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, UFRGS. Porto Alegre, 2007.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Geros, 2007.

Tratamento e projeto lumínico

Convite ao estudo

Nesta seção, você aprenderá que existem softwares que facilitam o trabalho e contribuem na apresentação de projetos de iluminação artificial. Também verá alguns exemplos de como a iluminação artificial pode e deve complementar a iluminação natural, que é tão abundante no nosso país. Dentro desta complementação, você vai conhecer vários tipos de lâmpadas e como escolher a mais eficiente, energeticamente.

Dentro deste contexto você e sua equipe de trabalho estão partindo para a próxima etapa da consultoria de iluminação na escola para a qual foram contratados pela FDE. E agora você deve avançar no projeto de conforto lumínico da escola definindo a iluminação adequada para cada ambiente, considerando a legislação específica da área, aprender o cálculo da iluminação dirigida e por fim realizar o detalhamento do projeto lumínico para a entrega final do projeto.

Então, como encontrar a iluminação adequada para cada ambiente? Como realizar o cálculo da iluminação dirigida? E quais itens devem ser considerados para apresentação e detalhamento final do projeto lumínico?

Aprender sobre novas ferramentas de projeto e como elas podem ajudar o arquiteto neste processo, escolher lâmpadas que além de proporcionar conforto ainda contribuem na diminuição do consumo de energia, todo este conteúdo vai deixar você empolgado com os benefícios da tecnologia.

Seção 4.1

Características da iluminação artificial

Diálogo aberto

Você e sua equipe já conhecem a influência dos edifícios no entorno da escola em relação à iluminação das salas, também já sabem qual o tipo de lâmpada e luminária estão atualmente instaladas nas salas. Com essas informações vocês discutem os próximos passos do projeto lumínico na escola.

Como é possível determinar se a iluminação atual é adequada? Caso ela não seja adequada, qual seria a proposta para intervir de acordo com a legislação vigente? Você consegue verificar se a iluminação atual é eficiente energeticamente? É possível propor uma iluminação que atenda à norma vigente, sendo confortável para a atividade e também eficiente energeticamente?

Não pode faltar

O mundo todo sofreu alterações com o avanço da tecnologia e da era digital. Há cinquenta anos todos os desenhos e projetos que um arquiteto fazia eram à mão. O envio desses trabalhos era feito pelo correio, não havia um software para copiar e não era possível enviar por e-mail! Você consegue imaginar sua vida hoje sem e-mail, telefone celular e um aplicativo de mensagens?

A tecnologia é sem dúvida muito útil e facilita várias tarefas e trabalhos. Na arquitetura não é diferente, quando falamos em desenho, logo pensamos nos softwares que nos auxiliam neste processo: AutoCAD e Revit são dois dos mais famosos e comumente utilizados. Não é diferente quando falamos em projetos de iluminação artificial, mas vale lembrar que nenhum software é capaz de desenvolver o projeto por você, são apenas ferramentas que nos auxiliam, ou seja; não substituem a fase criativa do projeto. De que forma então esses softwares podem nos beneficiar em projetos de iluminação artificial? Vamos ver 3 aspectos importantes:

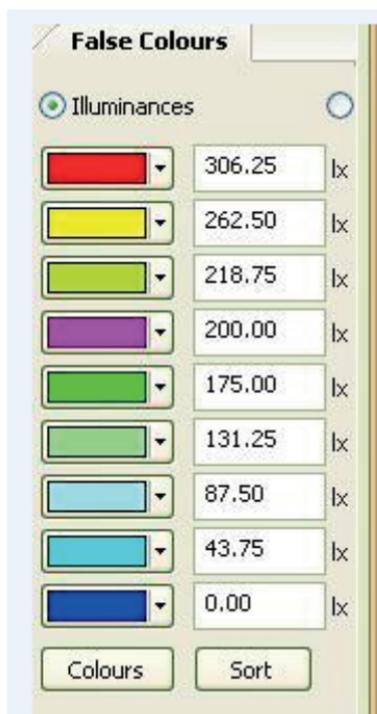
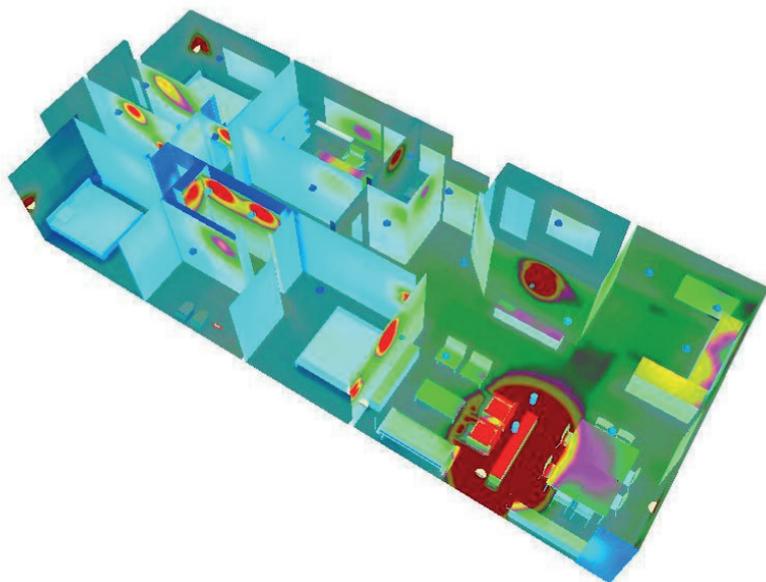
- Simulação: um software pode ajudar na validação dos cálculos do seu projeto. Pode simular a distribuição da luz que você apenas imaginou. Essa simulação pode ser útil na localização de pontos mal iluminados ou pontos de ofuscamento. Pode efetuar cálculos de eficiência energética e outros fluxos de energia atrelados.
- Visualização: a produção de imagens em 3D e a possibilidade de ver vários ângulos ajuda bastante na verificação do projeto, na distribuição do conjunto lâmpada e luminária dentro do ambiente.
- Apresentação para o cliente: as possibilidades de renderização realística são muitas! É possível ver na tela de um computador como ficará o projeto finalizado, com cores, luzes e sombras, o que facilita bastante a compreensão do cliente, que nem sempre tem conhecimento em desenho técnico.

No mercado temos muitas opções de softwares, pagos ou gratuitos. Podemos destacar o DIALUX, que foi desenvolvido pela GmbH em 1994 na Alemanha. Tanto o software quanto seu manual são livres para baixar. Este software tem uma versão mais atual, chamada DIALux evo (evo = evolução) de 2013, que também é livre para baixar. Você pode ter acesso ao programa através do link: <<http://www.dia.de/DIAL/es/dialux/download.html>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

O EnergyPlus é um programa de simulação energética em edificações, condicionamento ambiental, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia. É mais técnico, valida cálculos, possui uma interface despojada, é livre, mas seu idioma é o inglês. Você pode ter acesso ao programa através do link: <<https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

Nas Figuras 4.1 e 4.2 podemos ver o exemplo de simulação de um projeto de iluminação artificial de uma residência feito no DIALUX. A Figura 4.1 mostra nas manchas coloridas a quantidade de iluminância em lux.

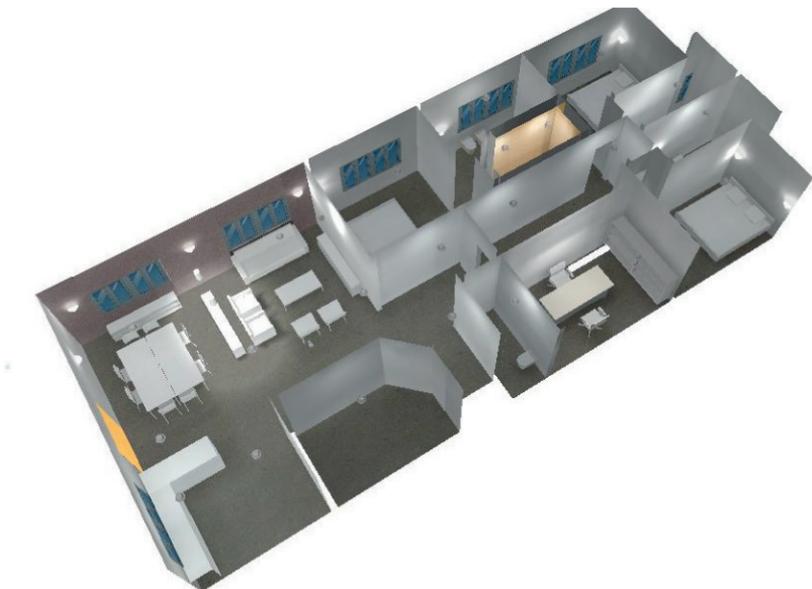
Figura 4.1 | Simulação DIALUX – projeto iluminação



Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 4.2 demonstra a simulação do projeto com layout, mais adequada para apresentação para o cliente.

Figura 4.2 | Simulação DIALUX - projeto iluminação



Fonte: elaborada pela autora.

O uso da iluminação artificial proporcionou mais conforto e facilidade no desenvolvimento das tarefas desenvolvidas pelo homem. Atividades que somente poderiam ser executadas durante o dia, com a luz natural, podem ser executadas a qualquer momento. Contudo, percebeu-se após muitos anos de pesquisa que a luz natural tem qualidade superior à artificial, além de seu uso conjugado com a artificial promover ambientes mais agradáveis, podendo também economizar energia elétrica. Pensar em um sistema conjugado de iluminação que seja eficiente implica que se tenha uma boa distribuição da iluminação natural em um projeto, para tanto, é preciso observar alguns itens importantes como entorno, localização e implantação. O entorno pode contribuir de forma negativa quando promove muita sombra, evitando muitas vezes que o edifício receba iluminação direta em qualquer época do ano. A localização, a latitude, influencia no tempo de insolação que as fachadas podem receber. A implantação está relacionada com a orientação das fachadas. Um estudo criterioso sobre estes pontos

implica ter mais ou menos acesso à quantidade de iluminação natural que vai entrar na edificação.

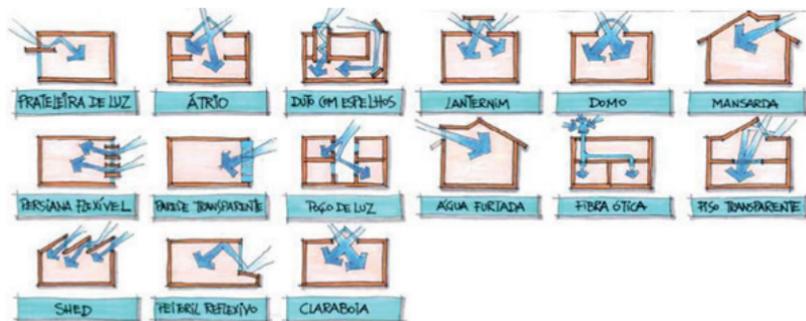
Baker, Fanchiotti e Steemers (1993) apud Toledo (2008) classificam as estratégias de iluminação natural em componentes de condução, componentes de passagem e elementos de proteção. Vamos ver o que são estes componentes e como funcionam!

Os componentes de condução são elementos que conduzem a luz natural ao interior dos ambientes. Podem estar conectados entre si, dando a ideia de “espaço contínuo” como pátio, átrio e domo de luz. A principal diferença entre pátio e átrio está na cobertura, o pátio é aberto e o átrio é coberto.

Os componentes de passagem são aberturas laterais ou zenitais, os mais comuns são as janelas, ou estratégias como a prateleira de luz ou a persiana flexível. A Figura 4.3 ilustra vários exemplos de componentes de condução e passagem.

Os elementos de proteção são os beirais e os brises; fazem parte das estratégias de iluminação de forma a proteger ou filtrar a entrada da luz e não conduzi-la ao interior da edificação como as outras estratégias.

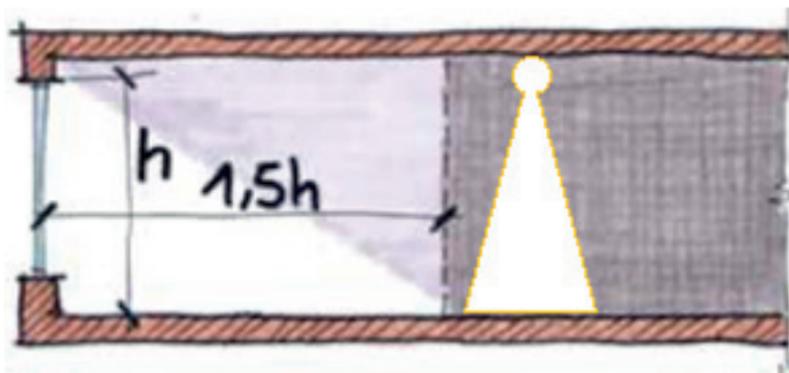
Figura 4.3 | Exemplos de componentes de passagem



Fonte: Lamberts et al. (2013, p. 147).

Para ter uma referência sobre qual a profundidade atingida pela luz natural que entra por uma janela, a fim de um pré-dimensionamento, podemos admitir que esta profundidade seja de 1,5 vezes a altura da janela, e a partir deste ponto você deve trabalhar mais efetivamente a iluminação artificial, como pode ser observado na Figura 4.4.

Figura 4.4 | Estimativa da profundidade da entrada da luz



Fonte: adaptado de Lamberts et al. (2013, p. 156).

Para ter um sistema eficiente de iluminação artificial, que complemente a iluminação natural, este deve ser passivo de dimerização, que permita o controle da intensidade, que deve apenas complementar o natural e em sua máxima eficiência ser adequado ao período noturno.

Muitos são os benefícios do uso conjugado entre iluminação natural e artificial, além de poder reduzir o consumo de energia com iluminação também é possível reduzir o consumo de energia com o condicionamento térmico do ambiente, uma vez que a iluminação artificial agrega calor quando acesa.

Você aprendeu na unidade anterior quais são os níveis de iluminância recomendados para cada atividade e como calcular de forma a ter índices adequados. Aprendeu também sobre o ofuscamento, que é uma situação prejudicial no conforto lumínico. Devemos explorar da melhor forma possível a entrada da iluminação natural, com equilíbrio e desde que o ambiente permita.



Exemplificando

A quantidade de iluminação natural desejada em uma sala de aula é diferente quando comparada a um ambiente como uma farmácia, por exemplo. Na farmácia temos produtos sensíveis à luz do sol e à temperatura.

O excesso de iluminação natural pode provocar ofuscamento e causar danos a produtos químicos como cosméticos e fármacos, não se esqueça de que a luz natural também é uma onda que transmite calor. O grande desafio do arquiteto nos projetos de iluminação é equilibrar a luz natural e a artificial.

O arquiteto brasileiro João Filgueiras de Lima, conhecido como Lelé, trabalhou de forma primorosa com a iluminação natural conjugada à iluminação artificial em suas obras. Veja as Figuras 4.5 (a) e (b), elas retratam um projeto residencial, perceba que não há necessidade de acender as lâmpadas no ambiente, com uma iluminação confortável e adequada ao uso.

Figura 4.5 | Residência RB

(a)



(b)



Fonte: <<https://www.archdaily.com.br/br/603479/obras-do-lele-por-joana-franca>>. Acesso em: 15 dez. 2017.



Pesquise mais

Você pode conhecer mais sobre o arquiteto Lelé, ele desenvolveu vários projetos para os hospitais da rede Sarah Kubitschek. Seu trabalho é reconhecido como um dos maiores exemplos do uso eficiente da iluminação natural e artificial juntas. Vários livros foram publicados além de dissertações de mestrado e teses de doutorado. Uma sugestão é a dissertação de mestrado 'Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: estudo dos hospitais da rede Sara Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro', de Jorge Isaac Perén Montero. 12032007.../dissertacaoPerenJI.pdf

A crise do petróleo, que aconteceu nos anos 1970 avivou principalmente na arquitetura a necessidade do uso conjugado entre iluminação natural e artificial. Esta necessidade foi reforçada em 2001 na crise energética sofrida pelo Brasil, despertando nos

profissionais ligados a áreas de projeto, conservação de energia e eficiência energética, ainda mais interesse pela iluminação. Souza (2003) afirma que a utilização eficiente da iluminação natural e artificial, além de proporcionar ao usuário ambientes agradáveis e prazerosos, evitam o desperdício de energia.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2012), 23,3% da energia produzida no Brasil em 2011 foi destinada ao setor residencial. A maior parte do consumo de energia elétrica em uma residência é em geladeiras, chuveiros e lâmpadas. Existe todo um esforço conjunto por parte da Eletrobrás, com programas de eficiência energética, um exemplo dele é o Selo Procel de eficiência de eletrodomésticos. Para aquecimento de água nos chuveiros uma alternativa é o aquecimento solar, muito eficiente no nosso país, onde há grande disponibilidade de insolação. Quanto à iluminação, esta pode ser reduzida com uma proposta de uso complementar da iluminação natural com artificial. Você percebeu como as decisões tomadas ainda no nível de projeto influenciam na eficiência energética total de uma edificação?

Quanto aos sistemas de iluminação artificial, você aprendeu na U3S2 que o fluxo luminoso é a quantidade total de luz emitida por uma fonte, sua unidade é o lúmen (lm), e também o quanto uma lâmpada é mais eficiente energeticamente, estando relacionado com a quantidade de lúmens de uma lâmpada por Watt.



Assimile

A eficiência energética (luminosa) de uma lâmpada é o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lúmens, pela potência consumida em Watts. Isso quer dizer o quanto de "luz" uma lâmpada pode gerar com 1 Watt.

Você se lembra da lâmpada incandescente? Ela não é mais fabricada e deixou de ser comercializada a partir de 2014 no Brasil. O principal motivo foi a baixa eficiência energética dela juntamente com sua vida útil. Enquanto uma lâmpada incandescente produzia 15 lm/W, uma lâmpada fluorescente comum produz 55 lm/W, neste caso isso quer dizer que com 1 Watt a lâmpada fluorescente consegue "iluminar" aproximadamente 3 vezes mais do que a incandescente, isso representa uma grande economia!



A eficiência energética atualmente é um dos pontos mais discutidos na construção civil, tendo em vista que precisamos projetar prédios que consumam menos energia e recursos. Neste cenário, qual é o papel do arquiteto no processo de projeto de uma edificação que almeja eficiência energética?

O mercado da iluminação cresce dia a dia e muitas novidades aparecem quando se fala em lâmpadas. Há uma busca constante dos fabricantes por um número que você acabou de conhecer, que é a eficiência energética, ou luminosa, de uma lâmpada. Quanto eu vou gastar para iluminar mais? Dentro deste assunto é importante que você conheça os principais tipos de lâmpadas, que têm aplicação muito diversa: doméstico, comercial, decorativa, industrial, iluminação pública.

As lâmpadas mais utilizadas no meio doméstico são as lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares, Diodo Emissor de Luz (LED) e halógenas. Para grandes espaços, no uso industrial e público são utilizadas lâmpadas de vapor de sódio, mercúrio e iodetos metálicos.

O LED vem ganhando cada vez mais espaço em várias aplicações, sua principal vantagem é a eficiência luminosa e vida útil.

A Tabela 4.1 ilustra alguns tipos de lâmpadas, aplicação, vantagens e desvantagens.

Tabela 4.1 | Lâmpadas/aplicações/vantagens x desvantagens

NOME	APLICAÇÃO	VANTAGEM	DESvantAGEM
LED (imagem LEDdicroica e PAR 30) 	Pode ser aplicada em qualquer ambiente.	Pode ser aplicada em qualquer ambiente.	Por vezes qualidade da luz e restituição da cor.

<p>FLUORESCENTE (imagem Flúor. Circular e tubular)</p> 	<p>Geral</p>	<p>Eficiência luminosa média. Boa durabilidade</p>	<p>Tamanho, às vezes qualidade de iluminação.</p>
<p>LÂMPADA DE DESCARGA: VAPOR DE MERCÚRIO</p> 	<p>Iluminação pública, ambientes industriais de amplo serviço.</p>	<p>Eficiência luminosa, vida longa.</p>	<p>Qualidade de iluminação, restituição de cor, tempo de aquecimento.</p>
<p>LÂMPADA DE DESCARGA: VAPOR DE SÓDIO</p> 	<p>Iluminação pública, espaços exteriores.</p>	<p>Eficiência luminosa, vida longa.</p>	<p>Qualidade de iluminação, restituição de cor, tempo de aquecimento.</p>
<p>LÂMPADA HALÓGENA</p> 	<p>Iluminação de realce/destaque</p>	<p>Qualidade da iluminação, restituição de cor.</p>	<p>Eficiência luminosa, durabilidade</p>
<p>FIBRA ÓTICA</p> 	<p>Iluminação de efeito, jardins, piscina, forro de gesso.</p>	<p>Econômica, baixa manutenção, não emite calor, segura (pode ser usada em piscinas).</p>	<p>Muito frágeis, alto custo de instalação e manutenção.</p>

Fonte: elaborada pelo autor.

A lâmpada halógena listada é comumente utilizada na decoração, requer cuidados especiais no manuseio e emite grande quantidade de calor quando acessa; por este motivo não deve estar ao alcance dos usuários.

Existe uma grande variedade de tipos de lâmpadas para a várias funções, a Tabela 4.1 lista apenas alguns modelos. Cabe ao profissional estudar com rigor e cuidado o uso e aplicação da lâmpada em um projeto.

A luminotécnica é uma área bastante ampla e dinâmica, surgiu dentro dela o profissional *lightindesign*, especialista em iluminação, se você gostou do que aprendeu sobre iluminação artificial até agora, esta área pode ser uma boa recomendação profissional para você!

Sem medo de errar

A arquitetura escolar é uma área bastante requisitada para o arquiteto por ser um edifício que vai abrigar pessoas com diversas necessidades e por ter um programa extenso, com um uso definido; aprender. É preciso garantir que desde o início da alfabetização esse processo seja tranquilo, confortável e estimulante, a arquitetura pode contribuir com esses requisitos! E é justamente na consultoria de um edifício escolar que vocês estão trabalhando agora, que grande oportunidade de colocar em prática tudo o que você aprendeu!

Como é possível determinar se a iluminação atual é adequada? Caso ela não seja adequada, qual seria a proposta para intervir de acordo com a legislação vigente? Você consegue verificar se a iluminação atual é eficiente energeticamente? É possível propor uma iluminação que atenda à norma vigente, sendo confortável para a atividade e também eficiente energeticamente?

Visitando o local e observando as características de iluminação, tipo, tamanho e a profundidade da sala você já terá algumas referências. Efetuar uma medição com o luxímetro lhe dará certeza sobre a efetividade da iluminação. Caso ela não seja adequada, menor ou maior do que o indicado pela NBR 8995, você fará a adequação através do cálculo do método de lúmens, que foi aprendido na U3S2.

Na oportunidade da visita verifique qual o tipo de lâmpada está sendo utilizado, desta forma você pode conferir a eficiência energética da lâmpada, e propor uma mais eficiente, que tenha um maior número de lúmen/Watt. Por exemplo, se o local utilizar lâmpadas fluorescentes de 600 lm/W, poderá substituir por lâmpadas de 1200 lm/W, gerando economia de energia.

Avançando na prática

Iluminação de uma confecção

Descrição da situação-problema

O proprietário de uma pequena confecção lhe procurou para uma consultoria em sua empresa. Ele alega que embora tenha uma grande quantidade de lâmpadas na área de produção, seus funcionários reclamam que a iluminação é ruim. Agregado a este fato, a conta de energia da empresa é bastante alta.

Quais itens você deve verificar? O que é preciso alterar para que os usuários/funcionários tenham maior conforto e a empresa gaste menos com energia elétrica?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, você deve fazer uma visita ao local e conhecer as suas características. Avalie se existe iluminação natural e se pode ser utilizada. Caso não tenha, verifique a possibilidade de ter janelas mais altas que mantêm a privacidade do local, permitindo a entrada de iluminação e colaborando para a ventilação. Faça uma medição do fluxo luminoso com o luxímetro e consulte a NBR 8995 para saber quais valores a norma recomenda. Com estas informações você vai fazer o cálculo do método de lúmens para determinar a quantidade de lâmpadas, verifique com os fornecedores quais modelos estão disponíveis para escolha e qual tem a melhor eficiência, a quantidade de lúmen/Watt. Desta forma é possível promover conforto lumínico para os usuários e economizar energia.

Faça valer a pena

1. Na atual rotina dos escritórios de arquitetura, vários softwares são utilizados como ferramentas de trabalho. Alguns auxiliam no desenho, outros validam cálculos e outros ainda são ótimos para fazer apresentações em 3 dimensões com imagens reais da proposta.

- I. O software pode substituir todo o processo de projeto.
- II. O processo criativo do projeto não pode ser substituído por um software.
- III. A apresentação é melhor para o entendimento do cliente quando feita somente em planta baixa.
- IV. Não existem softwares que validam cálculos e fluxos de energia ao mesmo tempo na iluminação.
- V. O AutoCAD é um software específico para desenho, não é possível fazer simulação e validação de cálculos.

Com base na análise das afirmativas apresentadas, assinale a alternativa correta.

- a) I, II e V.
- b) II e V.
- c) I, III e IV.
- d) III e V.
- e) I, II e IV.

2. A iluminação artificial pode e deve ser complementar à iluminação natural, que além de ser mais agradável ao olho humano ainda colabora para a economia de energia. Alcançar o equilíbrio entre a iluminação natural e a artificial é um grande desafio para arquitetos nos projetos de iluminação.

- I. Pátio e átrio podem ser considerados elementos de condução da luz, a única diferença entre eles é o tamanho.
- II. Beirais e brises são componentes de passagem da iluminação natural.
- III. Uma referência para pré-dimensionamento da iluminação artificial em conjunto com a natural é a de que ela adentra a edificação em torno de 1,5 vez a altura da janela.
- IV. Não há restrição para a entrada da iluminação natural no ambiente, quanto mais, melhor.
- V. O arquiteto Lelé foi um grande exemplo de que é possível trabalhar com sistemas conjuntos de iluminação natural e artificial de forma muito eficiente e confortável para o usuário.

Com base na análise das afirmativas apresentadas, assinale a alternativa correta.

- a) II, IV e V.
- b) I e III.
- c) III e V.
- d) I, III e IV.
- e) IV e V.

3. A eficiência energética ou luminosa de uma lâmpada está associada à razão entre o fluxo luminoso e o seu consumo de energia, em lúmen/Watt. No projeto de uma área de trabalho onde não haverá nenhum item decorativo devo especificar a lâmpada mais eficiente possível.

Com base na análise das afirmativas apresentadas, assinale a alternativa correta.

- a) Lâmpada fluorescente tubular – 1200 lm/W.
- b) Lâmpada fluorescente compacta – 2100 lm/W.
- c) Lâmpada de LED – 810 lm/W.
- d) Lâmpada de LED – 4200 lm/W.
- e) Lâmpada halógena – 3300 lm/W.

Seção 4.2

Conceitos e grandezas

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção você vai aprender mais sobre conceitos e grandezas da iluminação, características decisórias na escolha da melhor lâmpada para um projeto luminico! Você também vai aprender sobre as funções da iluminação e a trabalhar com os diferentes tipos de orientação de fecho da lâmpada. Como na seção anterior você aprendeu sobre tipos de lâmpadas, esta unidade vai enriquecer ainda mais seu conhecimento no mundo da iluminação artificial.

Sua equipe está desenvolvendo o trabalho de consultoria para uma escola, contratada pelo FDE, e a cada unidade vocês desenvolveram habilidades em busca da melhor solução para o projeto. Trabalhando na proposta para melhorar a iluminação, para que promova conforto e para que o edifício seja eficiente energeticamente, você e sua equipe estão discutindo quais tipos de lâmpadas e luminárias são mais adequadas. Pensando na função da luz e orientação do fecho, o que seria mais indicado para as salas de aula? A biblioteca foi incluída posteriormente na consultoria, ela vai receber mesas de leitura, qual a orientação de fecho mais indicada para essas mesas? Na sua opinião, quais critérios poderiam nortear essa escolha?

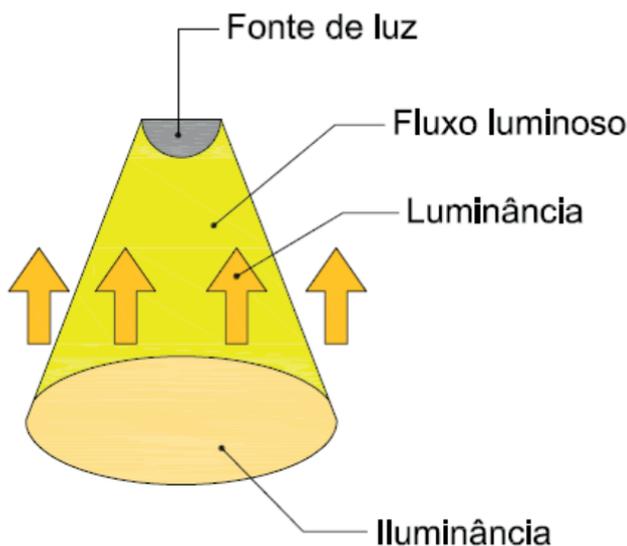
Conhecer sobre temperatura de cor e índice de reprodução de cor vai agregar conhecimento e permitir o melhor discernimento na escolha da lâmpada. A luz segundo sua função vai permitir que vocês escolham qual delas atende à sala de aula. A iluminação é essencial para o desenvolvimento das tarefas do homem, saber trabalhar com a luz a favor dessas tarefas representa um grande ganho de qualidade e conforto para um ambiente.

Não pode faltar

Agora que você já conhece quais os tipos de lâmpadas mais comuns que podemos encontrar no mercado, é importante que conheça sobre os conceitos e grandezas da iluminação. São critérios que podem e devem ser aplicados na escolha de uma lâmpada. Primeiro vamos conhecer um pouco mais sobre iluminância e luminância.

A iluminância é o fluxo luminoso (lúmen) que incide sobre uma dada superfície, em um metro quadrado, sua unidade é o lux (lx). A luminância é a luz que passa ou é refletida a partir da luz incidente, por metro quadrado, cuja unidade no Sistema Internacional é a candela por metro quadrado (cd/m^2). A luz percebida pelo olho humano é sempre a refletida das superfícies e objetos. Isso quer dizer que a iluminância é 'invisível' e o que percebemos é a luminância. A Figura 4.6 ilustra a iluminância e a luminância, observe que para que se tenha luminância, eu preciso ter antes a iluminância, a 'luz incidente'.

Figura 4.6 | Iluminância e luminância



Fonte: elaborada pela autora.

Outros conceitos fundamentais que diferem as lâmpadas e orientam sua escolha são o Índice de Reprodução de Cor (IRC) e a Temperatura de Cor (TC).

A percepção da cor dos objetos e tudo que nos circunda depende da luz incidente, o quão real é esta cor, ou o mais próximo do real são expressos pela capacidade que uma determinada luz possui de transmitir esta cor. A luz mais perfeita na expressão das cores é a luz do sol, ela possui 100% de IRC, ou seja; quando você vê um determinado objeto ou superfície sob a luz do sol, a cor expressa ali é a cor real do objeto.

A capacidade de expressar a real cor dos objetos varia de uma lâmpada para outra e onde se aplicam lâmpadas com altos índices de reprodução de cor? Nas quitandas, nos supermercados, nas vitrines das lojas, no departamento de controle de qualidade, ou em qualquer outro local onde a "cor" do produto é muito importante! Inclusive no açougue. Qual é a cor da carne que lhe parece mais saudável, o vermelho vivo ou um vermelho mais escuro, levemente marrom? É importante ressaltar que não se trata de uma "maquiagem" do produto, mas uma verdadeira expressão de sua cor. A Figura 4.7 ilustra a mesma imagem com IRC diferentes, você consegue perceber a diferença?

Figura 4.7 | Reprodução de cor



Fonte: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2018.



Em um shopping center as lâmpadas das vitrines das lojas são diferentes das lâmpadas dos corredores, praça de alimentação e outras áreas. É importante que na vitrine o consumidor tenha a percepção real das cores dos produtos que estão expostos, realçados! Fazer com que sejam atrativos aos olhos. Esta não é uma necessidade nos corredores, cuja função é permitir o fluxo tranquilo de pessoas.

Já a Temperatura de Cor (TC) representa a “aparência” da cor da luz, se é mais branca ou mais amarelada, sua unidade é o Kelvin (K). Uma lâmpada com TC de 2000 K é considerada “quente”, sua luz é mais amarelada. Já uma lâmpada com TC de 6000 K é considerada “fria”, pois sua luz é branco azulado. As lâmpadas de baixa temperatura de cor, amareladas, são recomendadas para ambientes de descanso, aconchego, são associadas ao conforto. Já as lâmpadas mais brancas despertam atenção, são recomendadas para atividades laborais e de precisão. Você pode usar como referência:

- fria: acima de 6.000 K
- neutra: entre 4.000 K e 6.000 K
- quente: abaixo de 4.000 K

É importante destacar que a temperatura de cor em nada altera a eficiência energética da lâmpada. A Figura 4.8 ilustra uma escala de temperatura de cor, da esquerda para a direita começando com mais quente para a fria.

Figura 4.8 | Escala de temperatura de cor



Fonte: Istock.



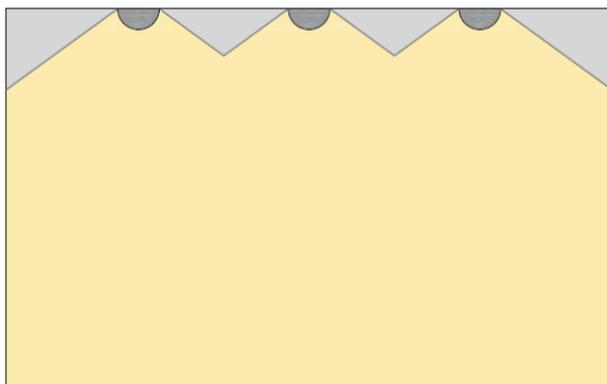
O Índice de Reprodução de Cor (IRC) indica a porcentagem de “fidelidade” com que uma lâmpada é capaz de representar a cor dos objetos.

A Temperatura de Cor (TC) indica a cor de uma luz, amarelada ou branca. Não está associada à temperatura enquanto transmissão de calor.

As informações de temperatura de cor e índice de reprodução de cor podem ser encontradas na embalagem do produto ou no catálogo, físico ou virtual.

A luz segundo a sua função em um ambiente pode ser de fundo, que é aquela que nos permite caminhar e circular em um ambiente sem dificuldade. É a luz base, ou seja, o mínimo que você precisa para permitir a execução de tarefas simples, sem muita precisão. A Figura 4.9 representa a distribuição de uma luz geral, ou de fundo.

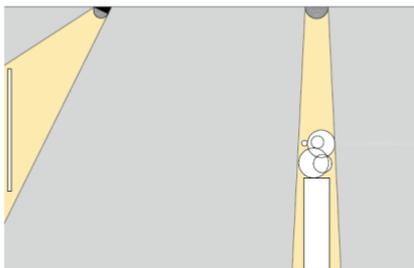
Figura 4.9 | Iluminação geral ou de fundo



Fonte: elaborada pela autora.

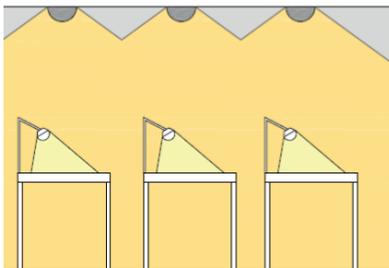
A luz pode ser também de destaque, é a que dirige o nosso olhar para um ponto específico, como um quadro na parede, uma determinada joia em uma joalheria, em uma peça em um museu, e outros fins. E finalmente a função tarefa, com fecho de luz concentrado, direcionado para o desenvolvimento de atividades específicas (GURGEL, 2005). As Figuras 4.10 e 4.11 ilustram a iluminação de destaque e tarefa, respectivamente.

Figura 4.10 | Iluminação de destaque



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.11 | Iluminação de tarefa



Fonte: elaborada pela autora.

Dentro das funções da luz, elas podem ser utilizadas de forma isolada ou com funções combinadas. Em um ambiente de trabalho por exemplo, o resultado final é mais confortável quando utilizada a luz de fundo para iluminação geral, complementada por iluminação de tarefa (funções combinadas = ilum. Geral + ilum. tarefa), para bancadas, mesas, etc. Desta forma é possível alcançar melhor distribuição da luz, inclusive na sua intensidade. Se ao contrário disto, tivermos somente iluminação de tarefa, esta poderá ser muito intensa e gerar pontos de ofuscamento, o que será muito desconfortável. Para funções como destaque ou tarefa, normalmente o melhor resultado implica combinação de uma luz de fundo. Mas nem todo o ambiente de “tarefa” ou trabalho demanda uma iluminação de tarefa. Em uma sala de aula por exemplo, é possível alcançar iluminação adequada, confortável, somente com a iluminação geral, diferente do trabalho de uma pessoa que conserta relógios, este dificilmente conseguiria executar bem seu trabalho sem uma luz de tarefa, focando uma área específica. Você pode consultar a NBR 8995 (2013), ela vai lhe auxiliar neste processo de escolha, indicando as necessidades do ambiente.



Reflita

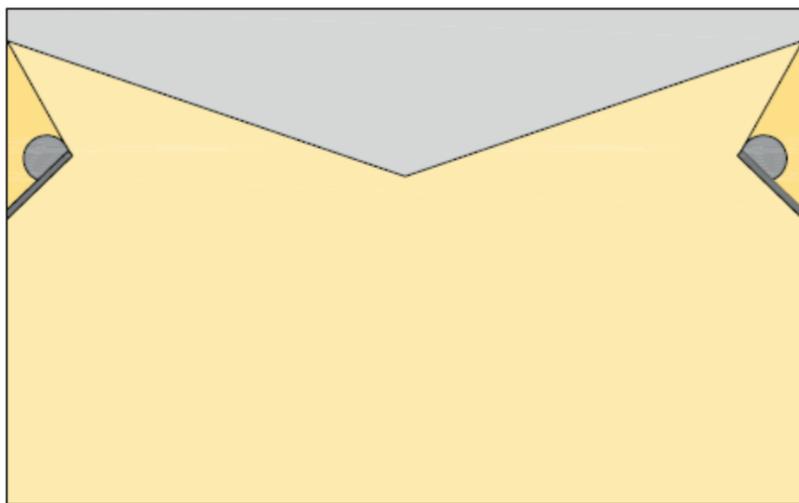
Qual é o tipo de iluminação com o qual nos deparamos no dia a dia? De modo geral nosso contato é com a iluminação de tarefa? Em que difere a iluminação dos nossos ambientes de descanso ou repouso para os ambientes de tarefa?

Além da luz segundo sua função, é possível trabalhar ainda a orientação do fecho, a direção do foco da luz. Neste aspecto temos a luz direta, luz indireta, luz difusa, *up light* e *wall-wash*.

A luz direta é aquela que sai da lâmpada ou luminária diretamente para o ambiente, seu fecho de luz se apresenta de forma distinta no ambiente, e quanto mais fechado, maior o contraste entre luz e sombra. É ideal para ressaltar texturas, objetos e focos de interesse. A figura 4.4 é um exemplo de iluminação direta.

A luz indireta é a luz direta que incide sobre uma superfície e depois volta de forma indireta para o ambiente, de forma mais distribuída, homogênea. Normalmente a parede ou o teto são utilizados como refletores para a iluminação indireta, gerando uma iluminação de fundo. A Figura 4.12 ilustra um exemplo de iluminação indireta, onde o fecho incide na parede e depois é refletido para o ambiente.

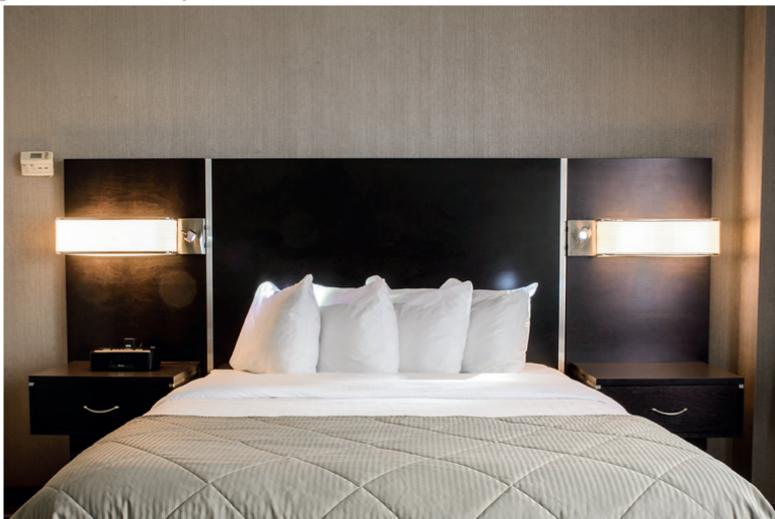
Figura 4.12 | Iluminação indireta



Fonte: elaborada pela autora.

A luz difusa é a luz mais homogênea, é uma iluminação direta em que não é possível identificar um fecho definido. Lâmpadas fluorescentes e luminárias leitosas possibilitam este efeito, é ideal para iluminação geral ou de fundo, como você pode observar na Figura 4.13.

Figura 4.13 | Iluminação difusa



Fonte: Istock.

A iluminação *up light*, como o termo em inglês indica, faz uma iluminação de baixo para cima, de forma pontual, com fecho definido. Bastante utilizada para destacar coberturas e no paisagismo. A Figura 4.14 demonstra a iluminação *up light*.

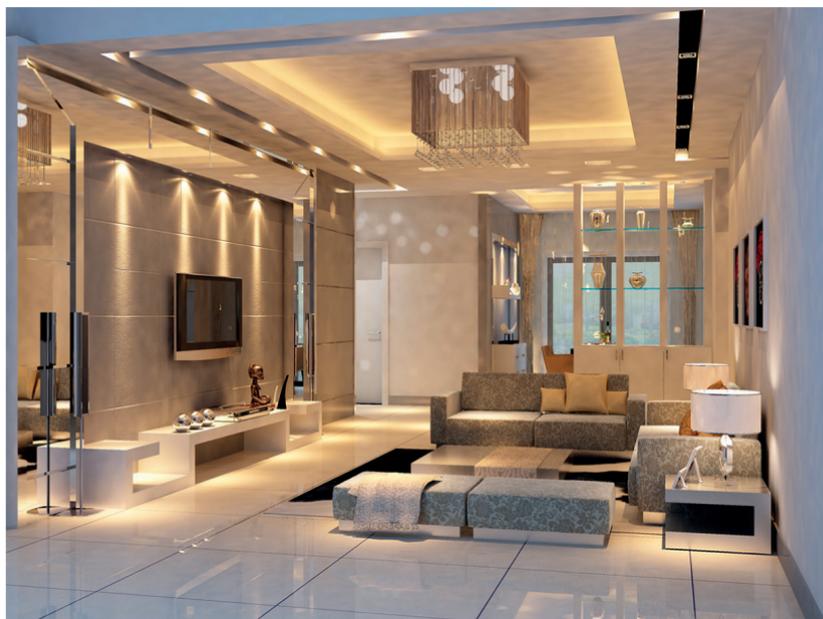
Figura 4.14 | Iluminação *up light*



Fonte: Istock.

A *wall-wash*, também um termo em inglês, se refere a um “banho de luz” ou uma “parede lavada” de forma uniforme, mantendo os limites entre o teto e o piso. Muito utilizada para destacar texturas ou objetos na parede. Reduz a visibilidade de defeitos na parede e suaviza o material. A figura 4.10 demonstra um exemplo de iluminação *wall-wash* sobre a televisão.

Figura 4.15 | Iluminação *wall-wash*



Fonte: Istock.



Pesquise mais

A revista LUME é uma conceituada publicação bimestral na área da iluminação artificial. Nela você encontra novidades de lançamentos, projetos, entrevistas com profissionais, opiniões e muitas outras informações importantes! Na edição de nº 88 de out./nov. 2017 tem uma matéria especial sobre a profissão Lighting Designer, você pode acessar através do site também. É uma opção de especialização dentro da arquitetura! Disponível em: <<https://www.lumearquitetura.com.br/lume/>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

O ângulo do fecho de uma iluminação direta, que pode ser de tarefa ou destaque, é calculado da seguinte forma:

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \frac{r}{d}$$

Onde:

α = ângulo de abertura do fecho

r = raio da superfície que será iluminada

d = distância entre a lâmpada e a superfície a ser iluminada

arc tg = arco-tangente (inverso de tangente)



Exemplificando

Por exemplo: qual será o ângulo de fecho de luz de uma lâmpada "X" para que eu consiga iluminar uma área de 1,00 m de diâmetro a 2,50 m de altura?

Transferindo as informações para a fórmula, temos o seguinte:

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \frac{0,50}{2,50} \Rightarrow 22^\circ$$

O ângulo de abertura do fecho para iluminar uma superfície de 1,00 m de diâmetro é de 22°.

É importante ressaltar que a projeção da iluminação de lâmpadas focais, com fecho definido, é sempre um círculo, então sempre será inserido o valor do raio desta projeção.

Nesta seção você aprendeu conceitos essenciais para um bom projeto luminotécnico, e como a luz é capaz de produzir sensações e percepções diferentes nos usuários de acordo com o seu tipo e função, dependendo da intenção do profissional.

Sem medo de errar

Retomando o seu desafio profissional, você deverá responder qual seria o facho mais indicado para as salas de aula e para a biblioteca. Para a escola, quais critérios deveriam nortear essas escolhas.

O ideal de luz segundo a função para as salas de aula é a difusa, pois ilumina de modo geral sem que possa identificar o facho da luz, que no caso é luz direta. Este efeito pode ser alcançado com lâmpadas fluorescentes e luminárias de acrílico ou vidro leitoso. Para as mesas de leitura da biblioteca, o recomendado segundo o facho é a luz direcional para a tarefa. A biblioteca vai receber uma iluminação geral e as mesas uma luz específica para leitura.

Os critérios adotados são baseados na função do ambiente e necessidades do usuário, nas salas a função é o bom iluminamento geral, de modo a não causar ofuscamento, que podem ser alcançados com a iluminação geral, difusa, e luz direta sem identificação do facho. Os mesmos critérios se aplicam às mesas de leitura da biblioteca, com a especial necessidade do usuário em ver bem; então se aplica iluminação focal, de tarefa, com luminárias pontuais em cada mesa. Estes critérios vão favorecer o conforto visual e lumínico do ambiente, além de permitir bom iluminamento.

Avançando na prática

Laboratório de controle de qualidade de uma indústria de tintas

Descrição da situação-problema

O chefe do laboratório de uma Indústria fabricante de tintas procurou seu escritório para o projeto de um laboratório de controle de qualidade da cor das tintas fabricadas pela empresa. A sala tem 6,00 x 5,00 m e pé direito de 3,00 m, é refrigerada artificialmente e possui uma bancada para análise cromatográfica de cor que mede 2,00 x 0,60 m com 1,00 m de altura, onde vão trabalhar 3 técnicos sem pé. As paredes têm revestimento em azulejo branco e o teto é branco. Em se tratando de um ambiente de trabalho de acuidade visual, escolha uma das lâmpadas propostas abaixo e calcule o

ângulo de abertura do fecho para iluminar 0,80 m de diâmetro sobre as bancadas de trabalho. Considere que a lâmpada ficará a 1,50 m de altura da área de trabalho.

Lâmpada A – TC 2.700 K – IRC 80%

Lâmpada B – TC 5.000 K – IRC 90%

Lâmpada C – TC 5.000 K – IRC 97%

Resolução da situação-problema

A situação-problema descreve um ambiente de trabalho, isso quer dizer que a lâmpada deve ter temperatura de cor neutra para branco, ou seja, entre 4.000 e 6.000 K. Estas lâmpadas devem ter IRC excelente, entre 90 e 100%, para ver a cor tal como realmente é, o que neste caso é essencial. A lâmpada mais indicada é a C, com TC 5.000 K e IRC 97%.

O ângulo de abertura do fecho será 30° conforme o cálculo abaixo.

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \frac{0,40}{1,50} \Rightarrow 30^\circ$$

Faça valer a pena

1. A iluminância e a luminância estão relacionadas com a incidência e a reflexão/passagem do fluxo luminoso. A luminância tem especial relevância, pois é a luz percebida pelo olho humano. A temperatura de cor e o índice de reprodução de cor também são características muito importantes na escolha de uma lâmpada para um determinado ambiente.

I. A iluminância é a luz incidente a partir do fluxo luminoso.

II. A luminância é dada em metro cúbico e sua unidade no Sistema Internacional é o lux.

III. A temperatura de cor de uma lâmpada indica o calor produzido por ela quando acesa.

IV. O índice de reprodução de cor indica o quanto uma determinada luz é capaz de reproduzir com fidelidade a cor do objeto ou superfície sobre o qual incide.

V. Uma lâmpada cuja luz é considerada “quente” tem temperatura de cor superior a 5.000 K.

Com base na análise das afirmações apresentadas anteriormente, verifique quais afirmativas são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) I, II e V
- b) II e IV
- c) I, III e V
- d) I e IV
- e) II, IV e V

2. A temperatura de cor de uma lâmpada indica a “cor” da luz, se quente ou fria. Esta temperatura pode ser associada de forma que entre 4.000 e 6.000 K é considerada neutra, acima de 6.000 K é considerada fria e abaixo de 4.000 K é considerada quente. Se é quente ou fria, elas são mais indicadas para diferentes ambientes e provocam diferentes sensações.

Considerando que você está fazendo o projeto de iluminação de um dormitório, qual a temperatura de cor mais indicada para promover aconchego e conforto?

- a) 10.000 K
- b) 6.000 K
- c) 3.500 K
- d) 7.000 K
- e) 5.500 K

3. Você está fazendo um projeto de iluminação para uma nova ala de um museu. Esta ala vai receber peças que ficarão dispostas sobre pedestais. São peças pequenas e você precisa de uma iluminação focal, pontual, que dê destaque para cada peça individualmente.

Qual o ângulo de abertura do fecho de uma lâmpada “Y” para um diâmetro de 70 cm a 4,00 m de altura da peça?

- a) 50°
- b) 35°
- c) 20°
- d) 10°
- e) 7°

Seção 4.3

Projeto lumínico

Diálogo aberto

Caro aluno, estamos finalizando a unidade sobre iluminação artificial, você aprendeu até aqui conceitos e grandezas importantes em um projeto de iluminação, nesta unidade você vai aprender mais sobre o projeto luminotécnico, como começar e como finalizá-lo. A luminotécnica é uma área bastante ampla, recheada de novidades tecnológicas; você estará bem preparado para um trabalho nesta área, que é uma das muitas opções no leque de atuação profissional do arquiteto!

Finalizando a consultoria solicitada pela FDE para verificar o conforto lumínico das salas de aula de uma escola, você e sua equipe vão agora encaminhar todas as informações coletadas para o projeto. De posse dos dados, cálculos, feita a escolha das lâmpadas e luminárias, você e sua equipe estão discutindo agora a melhor forma de apresentar o projeto para o contratante. Foi possível adequar o uso das salas para se obter uma iluminação confortável? Qual a temperatura de cor (TC) e índice de reprodução de cor (IRC) seriam os mais recomendados para as salas de aula? Estes índices podem ser igualmente aplicados em toda escola? Como descrever esta informação de forma clara para o cliente? A proposta é eficiente energeticamente? É possível confirmar esta afirmação de alguma forma? Quais informações são importantes constar no projeto que será entregue para o cliente?

Não pode faltar

Você já aprendeu os conceitos principais de iluminação artificial, sua importância e influência no conforto do usuário, aprendeu o quanto um bom projeto, conjugando iluminação natural e artificial, podem influenciar na eficiência energética de uma edificação com conceitos e características de lâmpadas. Você tem agora todas as ferramentas necessárias para desenvolver um bom projeto

lumínico. É importante lembrar que não existe uma metodologia projetual padrão, todo projeto é novo, exige pesquisa uma vez que será aplicado para pessoas diferentes, com necessidades diferentes, sempre! É o arquiteto o profissional mais habilitado para inferir e atuar nesta tarefa.

No desenvolvimento de um projeto lumínico a necessidade de efetuar o levantamento de dados é essencial. Caso o projeto arquitetônico não tenha sido desenvolvido por você, é preciso primeiro averiguar se houve o pensamento da iluminação no desenvolvimento dele. Você precisa das plantas e cortes, todo o detalhamento do projeto, e caso a edificação já tenha sido construída, será de grande valia uma visita. Ter o projeto em mãos é importante, mas conhecer a necessidade do cliente é indispensável! Que projeto ele espera? Simples, sofisticado, funcional, confortável? A iluminação é capaz de transmitir sentimentos, criar cenários; você tem em mãos um grande desafio, mas fique tranquilo, ao término desta seção você verá que estará preparado!

Se o projeto arquitetônico tiver sido desenvolvido por você, sua tarefa será mais fácil, pois saberá o que imaginou e criou desde o princípio. Faz parte do levantamento de dados conhecer também qual tipo de luz será empregado no projeto, uma luz branca, amarela, com alto índice de reprodução de cor, quais lâmpadas proporcionam o efeito que você quer expressar.

Não se esqueça de que a iluminação artificial é pautada em normas, para lhe auxiliar na quantidade de iluminação, você deve consultar a NBR 8995. Como é uma área em constante avanço, é recomendável também consultar catálogos de fornecedores.

Se tivermos que elencar os passos de uma sugestão de roteiro para projeto lumínico, estes poderiam ser:

1º Passo: Identificar o ambiente

Há grande diferença de iluminação entre um ambiente de trabalho e de descanso, e ainda diversas funções desempenhadas pela iluminação mesmo em um ambiente de trabalho. Por exemplo, dentro da função trabalho na iluminação, podemos ter um laboratório e uma vitrine, ambas são classificadas como trabalho, mas vão cumprir funções diferentes. Conhecer o uso e a intenção da iluminação é a primeira informação que você deve ter.

2º Passo: Condições do usuário

É importante conhecer o perfil do usuário do espaço do projeto. São jovens ou idosos? A acuidade visual diminui com o avanço da idade, o que pode elevar a necessidade de iluminação de um ambiente específico, por isso, o perfil do usuário vai influenciar no projeto lumínico.

3º Passo: Escolha da(s) luminária(s) e da lâmpada(s)

Este passo é extremamente importante, não pode ser guiado somente por uma questão estética, afinal, o conjunto luminária + lâmpada é o responsável pelo efeito e conforto do usuário do ambiente. Podemos incluir aqui também a segurança do usuário, tendo em vista que existem lâmpadas que devem ficar protegidas do alcance dos usuários para evitar acidentes (?).

4º Passo: Cálculos

Existem vários métodos para determinação do número de luminárias de um ambiente, na Seção 3.2 deste livro você aprendeu o Método de Lúmens, que é bastante eficiente e muito utilizado.

5º Passo: Projeto

O projeto é normalmente composto por Estudo preliminar, Anteprojeto e Projeto executivo.



Assimile

No desenvolvimento de um projeto lumínico podemos elencar várias etapas importantes, mas duas delas são vitais para o sucesso dele: a identificação do ambiente e condições do usuário.

A NBR 6492/1992 – Representação de projetos de arquitetura – nos dá definições sobre o que contempla cada uma destas etapas projetuais. De forma sucinta, o estudo preliminar é um estudo de viabilidade de um programa e de partido arquitetônico, sua escala é de acordo com o porte do programa. O anteprojeto apresenta uma definição do partido arquitetônico e dos elementos construtivos, cuja escala recomendada é igual ou superior a 1:100. O projeto executivo apresenta de forma clara e ordenada todas as informações necessárias para a execução da obra ou serviço, a escala indicada é igual ou superior a 1:100. A norma citada é para

projetos de arquitetura, mas podemos usá-la como referência para projetos lumínicos. Vamos aprender um pouco mais sobre o que deve ser apresentado em cada etapa do projeto lumínico.

O estudo preliminar, como o próprio nome indica, é um estudo, você vai testar opções e possibilidades de projeto sobre o layout. Conhecer a disposição do layout do ambiente para o qual você está projetando é essencial! Não faça um projeto lumínico sem esta informação. Se o projeto arquitetônico é seu, você já deve ter em mente a disposição dos móveis, e ela é importante porque se você não sabe onde eles estão, não sabe qual caminho o usuário vai percorrer, a dinâmica dos fluxos depende do mobiliário, se haverá objetos de destaque, revestimentos diferentes e até plantas! Você consegue perceber o quanto esta informação é importante?

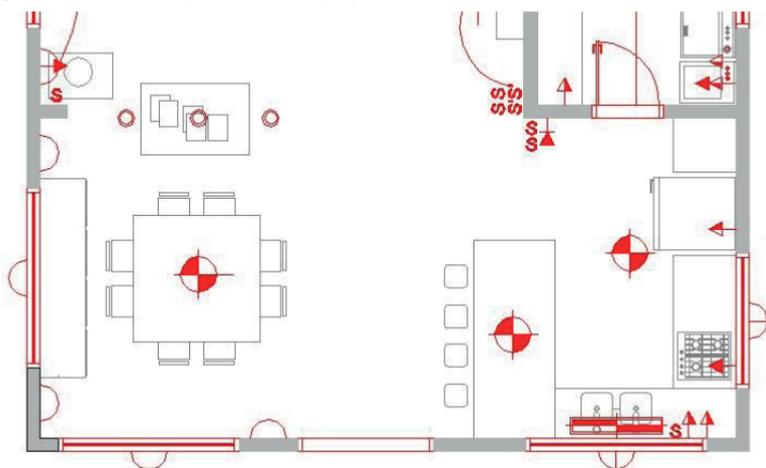


Exemplificando

Imagine que você fez um projeto lumínico de um dormitório sem a informação do layout. Colocou arandelas na parede e posicionou os interruptores baseado no que você imaginou. Quando o proprietário colocar o mobiliário pode perceber que não há espaço de circulação ou outro problema, e terá que mudar a cama de lugar! Isso significa que você perdeu seu trabalho, pois as arandelas não serão úteis onde você colocou, o proprietário perdeu tempo e dinheiro e haverá agora a necessidade de uma reforma!

A Figura 4.16 ilustra uma parte de um projeto na fase do estudo preliminar. Observe a colocação de pontos de iluminação no centro das mesas, bancada e dos ambientes, sob as janelas, observe também que estes pontos são representados por símbolos diferentes, expressa intenção do arquiteto em utilizar luminárias e lâmpadas diferentes. Por tratar-se de um estudo, pode ser alterado quantas vezes forem necessárias. Este estudo não é apresentado ainda para o cliente!

Figura 4.16 | Estudo preliminar de projeto luminico



PLANTA BAIXA -LAYOUT

Esc: S/ESC

Fonte: elaborada pela autora.



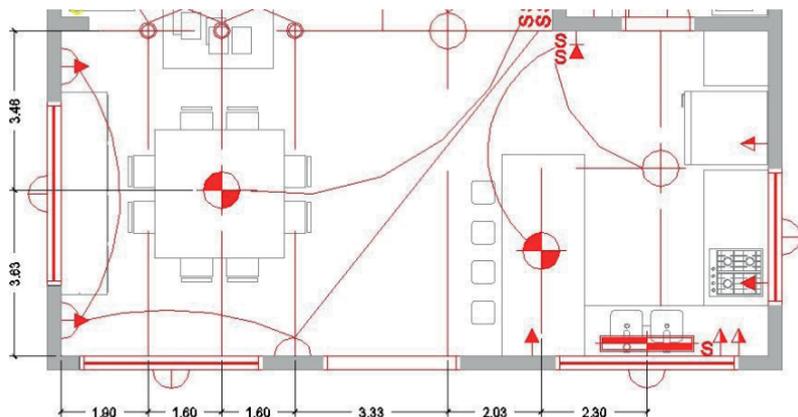
Refleta

Desenvolver um projeto luminoso sem conhecer o layout pode ter um resultado desastroso! Por que o layout é tão importante? Como ele pode interferir no resultado? Qual é a responsabilidade do profissional arquiteto quando projeta sem esta informação?

A próxima etapa é o anteprojeto, ele manifesta uma ideia mais elaborada do estudo preliminar, por exemplo, já existem pontos de acendimento de cada lâmpada ou conjunto, existe uma lógica do caminho do usuário e cotas, dimensionamento. Neste momento você deve se imaginar caminhando dentro do ambiente, acendendo uma lâmpada e seguindo o caminho. A Figura 4.17 ilustra uma parte de um anteprojeto. Observe que as cotas são colocadas nos eixos, e que estas muitas vezes são iguais para mais de um tipo de iluminação. Observe que neste exemplo a entrada no ambiente acontece na seta vermelha, à direita da seta estão localizados os interruptores (S) onde as lâmpadas serão acesas. Veja que no caminho natural da iluminação o usuário acende a lâmpada antes

de entrar no ambiente. Nesta fase a simulação computacional pode ser bastante interessante, pois possibilita ao profissional materializar seu pensamento projetual e averiguar se representa a proposta. Ainda na apresentação para o cliente, você pode apresentar os cálculos, justificando suas escolhas e demonstrando por exemplo a preocupação com a eficiência energética.

Figura 4.17 | Anteprojeto lumínico



PLANTA BAIXA -LAYOUT Esc: S/ESC

Fonte: elaborada pela autora.

Outro item de extrema importância é certificar-se da aplicação de gesso no ambiente, para sancas e paredes falsas, nichos ou molduras. Eles podem contribuir de forma bastante agradável com o projeto, agregando beleza e elegância, mas devem ser pensados com antecedência para evitar reformas que não estavam previstas.

O projeto executivo só é feito depois de revisado o anteprojeto e aprovado pelo cliente. Nele constam cotas, eixos e uma legenda especificando o tipo de luminária e lâmpada, que são conteúdo mínimo que deve constar em um projeto executivo, a Figura 4.17 ilustra um modelo de legenda e projeto executivo lumínico. Não existe um modelo de legenda padrão, alguns projetistas inserem uma imagem da luminária escolhida, outros ainda a quantidade de cada item, os itens que compõem a legenda são definidos pelo profissional que elaborou o projeto.

Figura 4.18 | Projeto luminoso executivo



PLANTA BAIXA -LAYOUT

Esc: S/ESC



Fonte: elaborada pela autora.

Nesta fase a simulação computacional, de forma ilustrativa, pode ser interessante no que se refere a facilitar a compreensão do cliente sobre seu projeto.

Uma observação importante que deve ser feita é de que muitas vezes o arquiteto faz o projeto luminotécnico junto com a determinação dos pontos de elétrica, isso significa que ele vai locar as tomadas e outros pontos relativos como antena, telefone, caixa de disjuntores, como você pode observar na legenda na Figura 4.19. No projeto luminotécnico e elétrico estes símbolos não são desenhados de acordo com a criatividade do profissional, existem normas pertinentes que orientam a simbologia, é importante que o arquiteto conheça estas normas, mesmo que não seja ele o profissional responsável pelo dimensionamento da rede e sua capacidade, circuitos, que é atribuição do engenheiro elétrico, é importante conhecer estas informações.

Vale ressaltar que nesta etapa não há obrigatoriedade de layout no projeto, fica a critério do projetista.



Pesquise mais

Você pode conferir mais informações sobre a representação gráfica e outras informações nas normas NBR 5444/1989 – Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais e NBR 12519/1992 – Símbolos gráficos de elementos de símbolos, símbolos qualificativos e outros símbolos de aplicação geral.

Raros profissionais também acrescentam na legenda a potência total instalada (Pt) de cada ambiente, que representa a somatória da potência de todos os aparelhos instalados na iluminação, que é um indicador de consumo de energia. Este item não é obrigatório.

Ainda referente ao projeto, algumas observações podem ser feitas. A cozinha é uma área de tarefas, é necessário projetar uma iluminação que mantenha o usuário atento, recomenda-se então que seja uma luz mais fria, com Temperatura de Cor (TC) por volta de 4000 K e Índice de Reprodução de Cor (IRC) em torno de 80%. É interessante colocar um ponto de iluminação no balcão onde os alimentos serão higienizados, exatamente sob a torneira, para que não haja sombra do usuário. Ainda, não se recomenda lâmpadas halógenas para a cozinha.

A área de serviços e o escritório também podem ter TC em torno de 4000 K, são ambientes de tarefa e estudo. O cuidado

no escritório deve ser observado com relação a pontos de ofuscamento, iluminação sob superfícies brilhantes ou pontos escuros contrastando com a iluminação.

Dormitório, closets, banheiros e sala de estar podem ter TC em torno de 2700 K, que é uma luz mais amarelada, aconchegante. Nestes ambientes você pode trabalhar com uma iluminação geral e complementar com outros pontos. No dormitório você pode ter um ponto de iluminação geral sobre a cama e arandelas sobre a cabeceira ou laterais da cama, com uma luz bem suave. Para leitura, pode ter um abajur ou uma luminária com uma luz um pouco mais forte. Este princípio se aplica à sala de TV ou estar, onde você pode trabalhar com uma iluminação geral e pontos complementares, luzes de destaque, abajures. Lembre-se que é muito importante que cada conjunto lâmpada/luminária tenha acendimento individual, de modo que o usuário deve poder escolher qual tipo de iluminação ele vai acender.

Sem medo de errar

Você e sua equipe estão finalizando a consultoria contratada pela FDE para a escola; muitas informações foram levantadas e contribuíram para o bom andamento da proposta. Considerando o entorno da implantação, vocês devem ter chegado a uma conclusão sobre a influência dele na iluminação natural recebida pela edificação e desenvolvido uma proposta, baseada na NBR 8995/2013 para uma iluminação adequada e confortável. Com referência à eficiência energética, a escolha de lâmpadas baseada na relação fluxo luminoso x consumo de energia indica e confirma a melhor escolha, a mais eficiente. É importante que o cliente tenha conhecimento de todos estes fatos e critérios observados no anteprojeto; no projeto executivo estas informações são desnecessárias.

Quanto à Temperatura de Cor (TC), é importante recordar que as salas de aula são classificadas como ambiente de tarefa, na qual o usuário deve manter-se atento, a melhor escolha seria temperaturas neutras (4.000 a 6.000 K), nem muito próximo do mínimo, para que a luz amarelada não provoque sonolência, nem tampouco muito fria, para que as salas sejam agradáveis sem prejudicar a boa visualização, algo em torno de 5.000 K.

Quanto ao IRC, não há necessidade que seja excelente (acima de 90%), algo em torno de 80% é satisfatório. Vale lembrar que a boa visualização de cores nas salas não é o mais importante, mas deve ser considerado na utilização de atividades didáticas. Os mesmos valores não podem ser aplicados igualmente em todas os ambientes da escola, os banheiros não necessitam de TC ou IRC consideráveis, somente o iluminamento recomendado pela NBR 8995/2013. Para as salas administrativas recomenda-se TC neutra (5.000 K) e IRC acima de 70%, o que é comum para a grande maioria das lâmpadas empregadas em ambientes administrativos. Pátio e cantina seguem as considerações dos banheiros.

Constam em um projeto executivo cotas, linhas de eixo, pontos de acendimento e legenda com especificações técnicas de lâmpadas e luminárias.

Avançando na prática

Reforma de apartamento com novo projeto lumínico

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para fazer um projeto lumínico para um apartamento que está sendo reformado e você não é o autor do projeto. O proprietário lhe informa que haverá alterações significativas nos espaços e que também contratou um designer de interiores para reformular o ambiente, o layout. Todo o processo ainda está em fase de projeto, mas o proprietário lhe pediu para iniciar o mais breve possível o projeto lumínico. É possível desenvolver o projeto sem que a reforma e a decoração estejam definitivamente resolvidas? Quais passos da concepção do projeto lumínico você pode iniciar neste momento?

Resolução da situação-problema

Não é possível executar um projeto lumínico sem o exato conhecimento das dimensões dos ambientes e do seu respectivo layout, estas são informações mínimas que um projeto requer. Os passos que podem ser dados neste momento são:

- Identificação do local, que envolve uma noção de dimensão e influência do entorno.

- As condições do usuário.
- As necessidades e intenções, sem ainda início do projeto propriamente.

Faça valer a pena

1. A NBR 6492/1992 é referência para projetos de arquitetura; contudo, pode ser observada na aplicação de outros projetos, como no caso o lumínico. A sequência das etapas: estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo é uma forma de organizar o processo projetual e estabelecer requisitos mínimos de desenho e detalhes que devem ser apresentados para o bom desenvolvimento e execução do trabalho.

I. No estudo preliminar de um projeto lumínico, não é necessário conhecer as dimensões do ambiente, nem tampouco seu layout, pois se trata de um estudo.

II. O estudo preliminar não pode ser alterado, pois sua fase seguinte, o projeto executivo, não permite mais alterações.

III. O anteprojeto lumínico é uma ideia lapidada do estudo preliminar, nele constam cotas e pontos de acendimento das lâmpadas.

IV. A representação de elementos e símbolos de projeto lumínico pode ser feita de acordo com a criatividade do profissional, não há norma que estabeleça critérios.

V. O projeto executivo só é feito após o término das revisões e aprovação final do cliente. Este projeto será encaminhado para a obra ou para os profissionais que executarão o trabalho/serviço, portanto, deve conter cotas e todas as informações técnicas detalhadas.

Depois de analisar as asserções, verifique quais são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) II, III e IV
- b) III e V
- c) I, II e V
- d) II e IV
- e) I, III e V

2. O levantamento de dados para um projeto é sempre uma das etapas mais importantes na definição do partido do projeto. Na entrevista com o cliente é possível levantar informações que serão determinantes para ele, por exemplo a idade dos usuários. Ter posse dos projetos também é essencial, uma vez que não se pode projetar sem referências de dimensionamento.

I. O levantamento de dados é uma etapa do processo de projeto que deve ser feita no estudo preliminar.

II. Para iniciar o estudo preliminar é necessário somente uma planta baixa, sem cotas, escala ou layout.

III. As condições do usuário são importantes para um bom projeto, pois influenciam nas decisões projetuais que serão tomadas, nunca devem ser excluídas.

IV. A escolha do conjunto lâmpada+luminária é feita somente de acordo com as características estéticas do produto.

V. O layout é um item de extrema importância, pois dita fluxos de passagem e espaços no ambiente, não é aconselhável desenvolver um projeto luminotécnico sem esta informação.

Depois de analisar as asserções, verifique quais são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) I e IV
- b) II, III e V
- c) II e IV
- d) I, III e V
- e) I, II e III

3. O projeto lumínico é baseado nas necessidades e perfil do usuário/uso e também em normas, como a NBR 8995. A criatividade do arquiteto está na melhor forma de atender o cliente e as especificações normativas com conforto e eficiência energética. Aliada a esses itens, está a tecnologia e inovação do setor de iluminação. Dentro deste contexto, algumas observações são importantes e devem ser consideradas.

I. A cozinha é uma área de tarefa, o balcão onde os alimentos são higienizados deve ter luz fria e um nível de iluminamento de aproximadamente 4000 K.

II. Dormitórios são ambientes de descanso para conseguir criar este ambiente propício, lâmpadas com temperatura de cor de aproximadamente 6000 K são as ideais.

- III. É indicado que as lâmpadas de closets tenham IRC em torno de 40%.
- IV. Recomenda-se que a sala de estar/TV tenha mais de um sistema de iluminação, sendo um geral e os demais secundários, que podem ser pontuais, destaque, abajures.
- V. O mais econômico é que todos os sistemas de iluminação sejam acesos de uma única vez em um único ponto.

Depois de analisar as asserções, verifique quais são verdadeiras e assinale a alternativa correta.

- a) I, II e IV
- b) I, III e V
- c) II, IV e V
- d) II e V
- e) I e IV

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5444: NBR 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho** – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 12519: **Símbolos gráficos de elementos de símbolos, símbolos qualitativos e outros símbolos de aplicação geral**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. NBR 6492: Representação de projetos de arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. London: James & James, 1993.

ELETROBRÁS. **Avaliação de mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005 – classe residencial**, Eletrobrás, 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B05070313-120A-45FD-964D-5641D6083F80%7D>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético nacional 2012: ano base 2011**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf>. f Acesso em: 3 abr. 2018.

GURGEL, M. **Projetando espaços: guia de arquitetura de interiores para áreas comerciais**. São Paulo: Editora Senac, São Paulo, 2005.

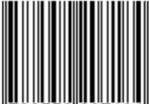
LUMEARQUITETURA. Disponível em: <<https://www.lumearquitetura.com.br/lume/>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Eletrobrás Procel, 2003.

SOUZA, M. B. de. **Potencialidades de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003. 208f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

TOLEDO, B. G. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico**. 2008. 165f. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

ISBN 978-85-522-0718-4



9 788552 207184 >