Conforto Ambiental

Conforto ambiental

Elisangela Cristina Sorano Gonçalves

© 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
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
Estela Regina de Almeida
Sabrina Assmann Lücke

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)

Gonçalves, Elisangela Cristina Sorano
G635c Conforto ambiental / Elisangela Cristina Sorano Gonçalves. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
200 p.

ISBN 978-85-522-0665-1

1. Arquitetura. I. Gonçalves, Elisangela Cristina Sorano. II. 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 | Fundamentos do conforto ambiental e do conforto térmico 7

Seção 1.1 - Introdução ao conforto ambiental 9

Seção 1.2 - Conforto térmico humano e índices de conforto térmico 25

Seção 1.3 - Ferramentas de análise de conforto e estresse térmico 41

Unidade 2 | A bioclimatologia como fator determinante do conforto ambiental e da eficiência energética 57

Seção 2.1 - Bioclimatologia e o ambiente construído 59

Seção 2.2 - Ventilação natural como elemento bioclimático: conceito e aplicações 73

Seção 2.3 - Análises bioclimáticas e uso de estratégias bioclimáticas 90

Unidade 3 | Insolação e o comportamento térmico dos ambientes 111

Seção 3.1 - Geometria da insolação 114

Seção 3.2 - Determinação e análise da insolação – cartas solares 132

Seção 3.3 - Ferramentas de avaliação e análise da insolação – heliodon 151

Unidade 4 | Conceitos de acústica aplicados ao design de interiores 171

Seção 4.1 - Fundamentos do som 173

Seção 4.2 - Isolando o ambiente interno dos ruídos 190

Seção 4.3 - Bom desempenho acústico do ambiente interno 210

Palavras do autor

Seja bem-vindo ao material didático da disciplina *Conforto ambiental*. Nele, estudaremos como projetar espaços adequados aos usuários e adaptados ao clima e à natureza local. O objetivo dessa disciplina é conhecer os fundamentos teóricos e práticos do conforto ambiental (luminoso, térmico e acústico) e da eficiência energética que instrumentalizam as intervenções no espaço interno das edificações, de acordo com as necessidades humanas.

O conteúdo desenvolvido para este livro o ajudará a compreender e a aplicar conceitos sobre diagnóstico de conforto ambiental em ambientes internos. Você também conhecerá os conceitos e fundamentos para a elaboração de projetos bioclimáticos que aumentam a eficiência energética do local. Para isso, você conhecerá a geometria da insolação, podendo, assim, fazer o melhor aproveitamento do sol de acordo com o clima local. Ainda em relação à adequação do ambiente construído ao ser humano, você aprenderá como utilizar os fundamentos da acústica aplicados no espaço construído.

O conteúdo didático deste material está dividido em quatro unidades. **Na Unidade 1**, cujo tema é "*Fundamentos do conforto ambiental e do conforto térmico*", você estudará as seções: 1.1 – Introdução ao conforto ambiental; 1.2 – Conforto térmico humano e índices de conforto térmico; 1.3 Ferramentas de análise de conforto e estresse térmico. Na **Unidade 2**, que tem o tema "*A bioclimatologia como fator determinante do conforto ambiental e da eficiência energética*", você aprenderá sobre: Seção 2.1 – Bioclimatologia e o ambiente construído; Seção 2.2 – Ventilação natural como elemento bioclimático: conceito e aplicações; Seção 2.3 – Análises bioclimáticas e uso de estratégias bioclimáticas. Na **Unidade 3**, cujo tema é "*Insolação e o comportamento térmico dos ambientes*", você estudará as seções: 3.1 – Geometria da insolação; 3.2 – Determinação e análise da insolação – cartas solares; 3.3 – Ferramentas de avaliação e análise da insolação – Heliodon. Na **Unidade 4**, com o tema é "Conceitos de acústica aplicados ao design de interiores", você estudará as seções: 4.1 – Fundamentos do som; 4.2 – Isolando o ambiente interno dos ruídos; 4.3 – Bom desempenho acústico do ambiente interno.

Para obter o melhor aproveitamento possível da disciplina, será essencial que você se prepare antes das aulas, estudando os conteúdos disponibilizados e realizando os exercícios e pesquisas propostos pelo material.

Bons estudos!

Fundamentos do conforto ambiental e do conforto térmico

Convite ao estudo

Esta primeira unidade conceituará o conforto ambiental, mostrando a abrangência dessa área de estudo e experiências projetuais bem-sucedidas nesse sentido. Você aprenderá como elaborar o diagnóstico de conforto ambiental de ambientes construídos. A Seção 1.1 fundamentará o conforto ambiental no design de interiores, demonstrando a importância do planejamento de espaços adequados às necessidades humanas e adaptados ao local. Na Seção 1.2, estudaremos as necessidades ambientais do ser humano e como o atendimento a elas contribui para o bem-estar, saúde e performance humanas. Entenderemos também como ocorrem as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio. Na Seção 1.3, você conhecerá variáveis ambientais a serem coletadas e como determinar o comportamento térmico de um ambiente com o uso de ferramentas de análise de conforto e estresse térmico.

Para colocarmos em prática os conceitos aprendidos, iremos nos basear em uma situação fictícia que será o nosso contexto de aprendizagem. Imagine que você foi procurado pelo diretor de uma universidade para fazer o projeto de design de interiores para a secretaria do campus de sua cidade. O objetivo é que o projeto proporcione maior bem-estar aos seus funcionários durante as horas que ali permanecem. Segundo ele, alguns colaboradores se queixam de sentirem frio durante o expediente, enquanto outros pedem para que sejam instalados ares-condicionados.

Antes de elaborar a proposta de projeto, você fará um levantamento das condições térmicas do ambiente a fim de justificar as intervenções propostas e desenvolver um projeto que realmente contemple as necessidades dos usuários.

Para atingir seu objetivo, você fará o seguinte: na Seção 1.1, você elaborará um pequeno texto abordando a importância de ambientes com condições adequadas de conforto ambiental, justificando a necessidade do estudo do comportamento térmico do local. Na Seção 1.2, será dada continuidade ao texto da seção anterior. Dessa vez serão abordadas questões diretamente ligadas ao conforto térmico humano. Na Seção 1.3, você usará instrumentos de medição de temperatura de ambientes internos.

Após essas etapas, você apresentará ao cliente um relatório com os resultados gerados pela coletada dos dados realizados com os instrumentos de medição de temperatura, a análise e o diagnóstico de conforto térmico elaborado a respeito do local estudado. Você apontará ao cliente a necessidade ou não de intervenção sobre as condições térmicas do ambiente, portanto, deverá elaborar esse relatório de forma organizada, seguindo as instruções dadas ao longo dessa unidade e as etapas solicitadas em cada seção.

Para que desenvolva os conhecimentos abordados nesta unidade, você deverá se comprometer com as atividades propostas nos três momentos didáticos: pré-aula, aula e pós-aula.

Seção 1.1

Introdução ao conforto ambiental

Diálogo aberto

Conforme visto em nosso *Convite ao estudo*, nesta seção você aprenderá os conceitos básicos do conforto ambiental, conhecerá um pouco da história dessa área e poderá compreender a importância dos projetos adaptados aos seres humanos e à natureza.

Vamos relembrar o nosso contexto de aprendizagem. Você foi procurado pelo diretor de uma universidade para fazer o projeto de design de interiores para a secretaria do campus de sua cidade. O objetivo é que o projeto proporcione bem-estar aos seus funcionários durante o expediente. Segundo ele, alguns colaboradores têm se queixado de sentirem frio, enquanto outros pedem para que sejam instalados ares-condicionados.

Antes de elaborar a proposta de projeto, você fará um levantamento das condições térmicas do ambiente a fim de justificar as intervenções propostas e desenvolver um projeto que realmente contemple as necessidades dos usuários. Você deve justificar ao seu cliente a necessidade do estudo do comportamento térmico do local e do bem-estar dos seus funcionários. Para isso, você deverá elaborar um pequeno texto como introdução do seu relatório final. Crie esse texto introdutório respondendo às seguintes questões:

- Quais são as necessidades ambientais do ser humano atendidas pelo conforto ambiental?
- Qual importância do conforto ambiental em um ambiente interno?
- A prática das técnicas projetuais de conforto ambiental são recentes? Como elas têm sido aplicadas ao longo da história?
- Quais são as aplicações do conforto ambiental no design de interiores?

Nesta seção, você encontrará informações que servirão de base para você responder às perguntas apresentadas e, assim, escrever a introdução do seu relatório justificativo.

Vamos conhecer o conforto ambiental e como ele pode ajudá-lo na elaboração de projeto de design de interiores?

Não pode faltar

Introdução ao conforto ambiental para design de interiores

Um dos princípios do design de interiores é o planejamento de espaços que permitam a melhor relação do homem com o espaço. Para que um ambiente seja adequado para as pessoas, é preciso que ele proporcione a elas, além de funcionalidade e beleza, condições de conforto ambiental. Isso significa que os usuários estarão satisfeitos em relação às condições do ambiente, como a temperatura, a umidade, a luminosidade, a ventilação e a acústica.

Os edifícios são projetados para pessoas e elas irão passar a maior parte de suas vidas no seu interior, realizando tarefas. Essas atividades incluem criar uma família, trabalhar, estudar ou divertir-se. A edificação precisa oferecer conforto aos usuários, ao mesmo tempo em que deve ser eficiente, saudável e segura. A arquitetura e o design devem servir ao ser humano e ao seu conforto, o que inclui o conforto térmico, luminoso e acústico.

O design passivo busca criar ambientes que mantenham as pessoas confortáveis, minimizando os impactos ambientais negativos.

Assimile

O que é design passivo? Refere-se ao uso de tecnologias passivas de resfriamento, aquecimento, ventilação, iluminação, a fim de promover um bom desempenho ambiental do edifício. Aplica conhecimentos relacionados ao clima local, aos ventos predominantes, à função dos ambientes, aos materiais construtivos e de acabamentos, entre outros fatores que podem contribuir para o conforto do usuário e para a eficiência energética do ambiente.

Para projetar ambientes que ofereçam essas características, é preciso que você conheça as principais necessidades ambientais do ser humano. Dessa forma, estará apto a oferecer aos seus clientes soluções que priorizem o bem-estar, a saúde e a produtividade dos usuários, além de poupar o meio ambiente em relação ao uso

excessivo de fontes não renováveis de energia, materiais poluentes e tecnologias ativas para regular a temperatura, luminosidade e acústica do espaço projetado.

Exemplifican

Em lugares de clima quente, a edificação permite que haja sombreamento das aberturas para que não haja o superaquecimento dos ambientes em decorrência da captação excessiva de radiação solar, além de facilitar a ventilação e a dissipação do calor em excesso. Enquanto isso, nos locais de clima frio, a construção deve promover a captação da radiação solar, a fim de aquecer os ambientes, e os materiais construtivos adequados irão promover o armazenamento dessa energia. Dessa forma, a necessidade de tecnologias ativas, ou seja, aquelas que utilizam princípios mecânicos, será minimizada ou até descartada, diminuindo o uso de energia elétrica para obter o conforto no ambiente.

Necessidades ambientais do ser humano

O ser humano vive de maneira mais satisfatória quando seu organismo não é submetido ao estresse, inclusive ambiental. Existem muitos fatores que afetam o conforto humano no ambiente interno construído, dentre eles estão os fatores térmicos, físicos, visuais, sonoros e pessoais.

Lembre-

As condições ambientais causam impactos físicos e psicológicos no ser humano. Por isso é tão importante conhecer as necessidades ambientais do homem.

Durante o processo projetual de um ambiente interno, é preciso estar atento às necessidades humanas para que o espaço proporcione satisfação aos usuários. É importante incluir os fatores ambientais desde o princípio do projeto. A seguir, estão detalhados os fatores que afetam o conforto humano em ambiente interno construído.

Para que uma pessoa esteja em **conforto térmico**, ela não pode estar sentindo calor ou frio, o que significa que ela está perdendo

para o meio a mesma quantidade de calor que seu metabolismo está gerando, sem maiores esforços.

Outro fato importante é que precisamos da luz para enxergar e realizar nossos afazeres com eficiência e segurança. A **iluminação natural** também nos ajuda a nos mantermos alertas, saudáveis e motivados, pois ela é mais adequada aos nossos olhos, oferecendo maior **conforto visual**, além de ajudar a regular nosso relógio biológico.

Reflita

Será que, mesmo com tecnologias ativas de última geração, eficazes no controle da temperatura, da luminosidade e da acústica do ambiente construído, o ser humano ainda se sente mais satisfeito em espaços que respeitem a natureza, o clima e as necessidades humanas?

Estar em **conforto acústico** significa poder desenvolver suas tarefas sem ser distraído por ruídos, tanto externos como internos. Além disso, algumas atividades envolvem a produção e compreensão de sons e esses devem alcançar a intensidade adequada e ter as qualidades desejadas.

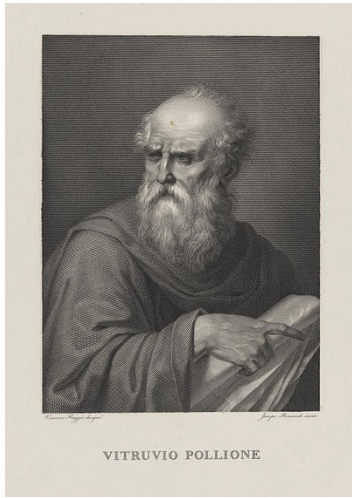
Aplicações do conforto ambiental em alguns períodos da história

Desde o período pré-histórico, o homem tem modificado o ambiente natural para torná-lo habitável. Ao longo de muitos séculos, as condições naturais do espaço vêm desempenhando um papel importante na determinação da arquitetura, especialmente para as civilizações que procuram construir em harmonia com a natureza.

As culturas antigas valorizavam a construção de espaços que captassem o espírito do lugar e era isso que dava sentido e significado aos lugares. Os greco-romanos destacaram-se nesse sentido.

Vitrúvio, arquiteto romano que viveu no século I a.C., em seu tratado *De arquitetura*, demonstrou sua preocupação com o clima e a orientação das construções, defendendo que a adequação das edificações e dos assentamentos em relação a esses quesitos proporcionaria melhores condições de habitabilidade, tanto do edifício, quando da cidade como um todo.

Figura 1.1 | Arquiteto Vitrúvio



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vitruvio_Pollione_portrait.jpg>. Acesso em: 11 out. 2017.

Os primeiros projetos com conceito ambiental que se tem conhecimento focavam, principalmente, no uso do sol para aquecimento das construções na Grécia antiga, em torno de 500 a.C. Naquela época, na maior parte da Grécia havia escassez de madeira para combustível, levando os arquitetos a projetar casas que capturassem a energia solar. As casas eram construídas com fachadas voltadas para o sul para receberem pouco sol no verão, mantendo o ambiente fresco, e pleno sol no inverno, aquecendo a construção. Além disso, a orientação sul também protegeu a casa dos ventos frios do norte. Esse arranjo inteligente de edifícios influenciou o uso do padrão de grade das cidades antigas. Com a orientação norte-sul das casas, as ruas das cidades gregas eram implantadas no sentido leste-oeste.

A prática da arquitetura solar continuou com os romanos, que também haviam desmatado grande parte da sua península italiana nativa no primeiro século a.C. O direito ao aquecimento solar era garantido aos romanos por meio de leis, como o código de Justiniano. Os arquitetos romanos passaram a usar vidro nas janelas para permitir a passagem de luz e conservar o calor no interior da edificação. Os inúmeros banhos públicos eram orientados para o sul.

Exemplificando

Além da questão da orientação solar, tanto os gregos quanto os romanos apresentaram diversas soluções construtivas aproveitando as características da natureza. Por exemplo, os **teatros gregos** eram construídos ao ar livre, na direção do mar ou das montanhas, e os cenários das peças teatrais se integravam com a paisagem. A planta era em forma de meia lua, aproveitando a topografia das colinas para acomodar os degraus nos quais a plateia se sentava. Essas características resultavam na aproximação do público ao palco e, consequentemente, permitia ao público maior captação do som e maior visibilidade em todas as fileiras.

Figura 1.2 | Teatro grego: Acrópole, Província de Siracusa, Grécia

Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/teatro-grego-de-syracuse-sic%C3%ADlia-gm618858788-107807839>. Acesso em: 4 dez. 2017.

Exemplificando

Figura 1.3 | Teatro romano: Coliseu – Roma, Itália

Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/coliseu-em-roma-e-o-sol-da-manh%C3%A3-it%C3%A1lia-gm539115110-96048731 >. Acesso em: 19 out. 2017.

Durante o Império Romano, foram construídos os teatros romanos, que seguiam basicamente o modelo grego. Porém, a estrutura costumava ser independente e não estava vinculada à topografia do local. Por serem construções a céu aberto, suas implantações consideravam a direção dos ventos predominantes. Dessa forma, o palco era implantado de modo que o fluxo de ar passava por ele e seguia em direção aos degraus, direcionando o som para a plateia. As apresentações aconteciam nos horários em que a temperatura do ar e das pedras naturais aumentavam a propagação do som.

Figura 1.4 | Vista interna do Coliseu – Roma, Itália

Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/coliseu-em-roma-e-o-sol-da-manh%C3%A3-it%C3%A1lia-gm539115110-96048731>. Acesso em: 10 out. 2017.

Na Idade Média, as cidades apresentavam vários elementos que as tornavam adaptadas ao clima e à região. No Oriente Médio, por exemplo, onde o clima é quente e seco, as ruas eram estreitas e irregulares para quebrar a força do vento. As edificações eram predominantemente de vários andares, o que proporcionava o sombreamento necessário para essa situação climática.

As construções antigas em regiões de diferentes climas mostram que, desde a época remota, eram conhecidas e exploradas as possibilidades de controle térmico, luminoso e acústico. Antes do surgimento dos métodos modernos de climatização artificial, os problemas térmicos costumavam ser resolvidos por meio da escolha correta da orientação, da localização, das formas e dos materiais das edificações.

Ao analisarmos as técnicas e soluções construtivas e a forma de assentamento de diversos povos, podemos perceber que existe uma linguagem própria em cada local e, normalmente, essas características estão intimamente ligadas às condições climáticas da região e às atividades socioculturais. Esse tipo de arquitetura utiliza conhecimentos empíricos transmitidos de geração para geração, apresenta harmonia em relação ao meio e ao homem e pode ser chamada de arquitetura vernácula ou arquitetura vernacular.

Assimile

A arquitetura vernacular é considerada sustentável por integrar-se com o ambiente natural, empregar materiais orgânicos e regionais e pelas soluções arquitetônicas que possibilitam o bom isolamento térmico e acústico. Atualmente alguns pesquisadores estudam as práticas desse tipo de arquitetura empírica e milenar, a fim de utilizá-las em projetos que visem, por exemplo, a diminuição do uso de energia.

Conforto ambiental como elemento determinante do projeto de interiores

Frequentemente, fatores como temperatura do ar, fluxo de ar, luminosidade natural, presença de ruídos e qualidade acústica são ignorados em um projeto, levando à insatisfação dos usuários. Muitas vezes, torna-se necessário o uso de tecnologias ativas para minimizar os efeitos negativos gerados pela falta de atenção a esses fatores durante o processo projetual. Tais soluções acabam sendo as grandes responsáveis pelo alto consumo de energia elétrica em edificações.

Para que o ambiente proporcione condições de **conforto térmico**, alguns fatores ambientais, como temperatura do ar, umidade, fluxo de ar e as fontes radiantes, devem ser mantidos em equilíbrio, dentro de um nível aceitável às necessidades humanas. O ambiente construído precisa facilitar as trocas térmicas para que os usuários estejam em conforto térmico.

Em relação ao **conforto luminoso**, cabe destacar que a iluminação deve ser suficiente e adequada para que as tarefas visuais possam ser realizadas com conforto e segurança. Manter o **conforto visual ou conforto luminoso** significa garantir que as pessoas tenham iluminação adequada para realizar suas atividades. A luminosidade contribui para a criação de ambientes produtivos

e felizes. A luz natural faz isso muito melhor do que a iluminação artificial, pois, além de ter maior qualidade, ela ainda proporciona o acesso visual ao ambiente externo, dando às pessoas a sensação de controle de seu ambiente. Desta forma, percebemos a importância de priorizar a iluminação natural nos ambientes interiores.

Para que haja **conforto acústico**, o ambiente deve estar protegido de ruídos internos e externos e, quando for o caso, deve proporcionar a propagação adequada do som. Assim, pode-se usar o espaço conforme o previsto, sem interferências de sons indesejáveis e com qualidade sonora, quando for o caso. O conforto acústico é especialmente importante em escolas, edifícios residenciais, ambientes de trabalho, auditórios, teatros, dentre outros.

Estudo direcionado de projetos de interiores com conforto ambiental

Arquitetura bioclimática consiste na relação adequada entre o ambiente construído, o clima e seus processos de troca de energia, tendo como objetivo o conforto térmico humano. É o tipo de arquitetura adaptada ao clima e ao ser humano, proporcionando condições de conforto térmico a partir da realidade climática do local.

Oferecer condições de conforto aos usuários é uma questão de bem-estar, saúde e produtividade. Atualmente, muitos arquitetos e designers de interiores têm se preocupado em proporcionar aos seus clientes espaços que os façam se sentirem mais satisfeitos e que minimizem o uso de energia elétrica para obter alto desempenho do ambiente.

Um excelente exemplo de arquitetura bioclimática são os hospitais da rede Sarah, projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé). Utilizando soluções diferenciadas de conforto, ele unifica princípios ambientais, funcionais e econômicos, diminuindo gastos com a energia elétrica e criando os espaços menos fechados, mais agradáveis e humanizados.

O uso da iluminação natural também é um fator de extrema importância em hospitais, pois traz benefícios para a saúde, economia e sensação de conforto para os pacientes. Lelé sempre priorizou a luz natural, especialmente pela humanização dos espaços internos. A luz difusa é a melhor qualidade da iluminação natural, por proporcionar homogeneidade ao ambiente.

Assimile

O termo *shed* origina-se do inglês, e seu significado é alpendre, marquise, telheiro. No Brasil, refere-se a aberturas no telhado que funcionam como captores ou extratores de ar, dependendo de sua localização em relação aos ventos dominantes. Os *sheds* também atuam como entradas de iluminação natural, sendo mais eficientes do que as janelas laterais em ambientes de grandes proporções.

Ele utilizou *sheds* nas coberturas, elementos que caracterizam a sua arquitetura e permitem a entrada de iluminação natural. Por existirem venezianas nas aberturas dos *sheds*, elas atuam como filtros do excesso de radiação solar direta dentro dos ambientes. Essa solução também facilita a ventilação natural, pois promove a saída de ar. Nesses hospitais, uma das principais características é a ventilação natural, que proporciona o conforto térmico aos usuários e diminui a utilização do ar-condicionado.

Figura 1.5 | Shed do Hospital da rede Sarah Kubitschek, Salvador, BA

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/gaf/3590225507>. Acesso em: 11 out. 2017.

Outro fator importante que contribui para a humanização do ambiente hospitalar é a presença de jardins internos, que permitem a visão do ambiente externo, da vegetação e da iluminação natural. Eles ajudam na diminuição da ansiedade e do estresse dos pacientes e, consequentemente, contribuem para a redução do tempo de

internação. Lelé soube usá-los de maneira eficiente nos hospitais da rede Sarah, sempre priorizando o bem-estar do paciente e a descaracterização do ambiente hospitalar, costumeiramente hermético, monocromático e com aspecto artificial.

Tanto a climatização natural como a iluminação natural dos hospitais da rede Sarah, contribuem para a integração do ambiente interno com a natureza presente no ambiente externo, o que traz maior bem-estar aos pacientes.

Pesquise mais

GUERRA, A.; MARQUES, A. João Filgueiras Lima, ecologia e racionalização. **Arquitextos**, [S.l.], 181.03 projeto, ano 16, jun. 2015. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.181/5592>. Acesso em: 11 out. 2017.

Sem medo de errar

Ao chegar aqui, você já deve ter estudado o conteúdo apresentado por esta seção e pôde assimilar os principais fundamentos do conforto ambiental, conhecer um pouco da história das construções adaptadas ao clima e aos seres humanos desde a antiguidade até os dias atuais. Neste momento você já está apto a resolver a situação-problema desta seção (SP1). Vamos relembrá-la?

Você foi procurado pelo diretor de uma universidade para fazer um projeto de design de interiores para a secretaria do campus de sua cidade. O objetivo é que o projeto proporcione maior bem-estar aos funcionários durante as horas que ali permanecem. Segundo ele, alguns colaboradores se queixam de sentirem frio durante o expediente, enquanto outros pedem para que sejam instalados ares-condicionados.

Para fazer esse projeto, você deverá fazer um levantamento das condições térmicas do ambiente a fim de justificar as intervenções propostas e desenvolver um projeto que realmente contemple as necessidades dos usuários. Na SP1 você deve justificar ao seu cliente a necessidade do estudo do comportamento térmico do local e do bem-estar dos seus funcionários. Essa justificativa pode ser redigida no formato da introdução do seu relatório final. Para ajudá-lo a escrever esse texto, você pode fazê-lo respondendo às seguintes questões:

• Quais são as necessidades ambientais do ser humano atendidas pelo conforto ambiental?

O projeto que leva em consideração as necessidades ambientais dos seres humanos procura atender às necessidades térmicas, luminosas e acústicas do homem. Em relação às **necessidades térmicas**, a pessoa não pode sentir calor ou frio, ou seja, ela deve perder para o meio a mesma quantidade de calor que seu metabolismo gera, sem maiores esforços. No que diz respeito às **necessidades luminosas**, precisamos da luz para realizar nossas atividades com eficiência e segurança. Por isso, é necessário que tenhamos acesso à iluminação natural sempre que possível, pois ela nos ajuda a nos mantermos alertas, saudáveis e motivados e, por ser mais adequada aos nossos olhos, oferece maior **conforto visual/ luminoso**. Em relação às **necessidades acústicas**, é necessário que se possa desenvolver tarefas sem ser distraído por ruídos, tanto externos como internos. Além disso, algumas atividades envolvem a produção e compreensão de sons, que devem alcançar a intensidade adequada e ter as qualidades desejadas para que o homem esteja em conforto acústico.

• Qual importância do conforto ambiental em um ambiente interno?

O conforto ambiental em um ambiente interno determinará a eficiência desse ambiente em relação à sua adequação às necessidades humanas e isso significará que as atividades que serão realizadas ali serão desempenhadas com maior eficácia e satisfação do usuário.

• A prática das técnicas projetuais de conforto ambiental são recentes? Como elas têm sido aplicadas ao longo da história?

De acordo com os registros que se tem conhecimento, as práticas projetuais que buscam o conforto ambiental, ou seja, a satisfação dos usuários, vêm sendo desenvolvidas e aplicadas desde a Antiguidade. Os greco-romanos se destacaram pela produção de espaços criados a partir das necessidades humanas e das características do local. O arquiteto Vitrúvio, que viveu no século I a.C., escreveu um tratado chamado *De arquitetura* e, nele, destacou a necessidade da orientação adequada das construções em relação ao sol e à ventilação predominante. Na cidade Medieval também havia vários elementos de adaptação ao clima e ao lugar. Desde então, até os dias atuais se tem estudado e desenvolvido novas técnicas de aproveitamento das

características climáticas físicas do local, em busca da adequação da arquitetura ao homem e à natureza.

- Quais são as aplicações do conforto ambiental no design de interiores?

O projeto de interiores deve ser pensado para que proporcione condições de conforto ambiental aos usuários. Por isso, o ambiente projetado deve manter a temperatura adequada, facilitar a ventilação cruzada quando necessário e diminuir a entrada de ar em climas frios ou muito secos, regular a entrada de radiação solar em função das características climáticas do local, captar a iluminação natural, barrar a entrada de ruídos externos, melhorar a distribuição do som em ambientes cuja atividade principal está relacionada à acústica, como salas de aula, teatro, *home theaters* etc.

Avançando na prática

Importância do ambiente adaptado às condições climáticas e ao ser humano

Descrição da situação-problema

Uma antiga cliente entrou em contato e solicitou que você fizesse a conversão de um espaço de sua residência em uma pequena academia para uso dela e da família. Ao visitar o local, você se deparou com um sótão pouco iluminado, com apenas uma pequena abertura para entrada de ar e sem nenhum tipo de isolamento térmico. Preocupado, disse a ela que o ambiente não é o mais adequado para abrigar uma academia, devido às condições térmicas e luminosas. Porém, você se propôs a fazer um projeto para adequar as condições ambientais às necessidades de conforto humano. A cliente, preocupada, questionou se realmente é necessária essa adaptação, visto que o ambiente será utilizado por poucas horas durante o dia. Ela também explicou que não pretende gastar muito com a adaptação do ambiente e que não deseja que sua conta de energia elétrica aumente muito em decorrência da nova função do espaço.

Com o objetivo de convencê-la de que as técnicas passivas de condicionamento do ar e iluminação são eficientes em ambientes construídos e garantem eficiência energética, você deverá preparar

uma apresentação para sua próxima reunião com a cliente. Essa apresentação deve conter um pequeno texto, organizado em tópicos, dividido entre imagens ilustrativas que justifiquem a intervenção no ambiente, buscando maior conforto térmico e iluminação natural, sem aumentar o consumo de energia e implicar grandes gastos na reforma.

Resolução da situação-problema

Para elaborar a apresentação, responda às seguintes perguntas:

• O que é design passivo?

O termo design passivo refere-se ao uso de tecnologias passivas de resfriamento, aquecimento, ventilação e iluminação, a fim de promover um bom desempenho ambiental do edifício. Aplica conhecimentos relacionados ao clima local, aos ventos predominantes, às funções dos ambientes, aos materiais construtivos e de acabamento e outros fatores que podem contribuir para o conforto do usuário e para a eficiência energética do ambiente.

• Quais são os objetivos da arquitetura bioclimática?

Arquitetura bioclimática consiste na relação adequada entre o ambiente construído, o clima e seus processos de troca de energia, tendo como objetivo o conforto térmico humano. É o tipo de arquitetura adaptada ao clima e ao ser humano, proporcionando condições de conforto térmico a partir da realidade climática do local. Seus objetivos são a adaptação da arquitetura às condições climáticas do local, a satisfação dos usuários do ambiente e, consequentemente, maior eficiência energética das edificações.

• Quais os benefícios proporcionados por ambientes que oferecem condições de conforto térmico, luminoso e acústico?

Os ambientes com conforto ambiental contribuem para o maior bem-estar, saúde e performance dos seus usuários, pois o ser humano vive de maneira mais satisfatória e realiza suas atividades com maior êxito quando seu organismo não é submetido ao estresse, inclusive no campo térmico, acústico e luminoso.

• O que são tecnologias passivas de condicionamento de ar e de iluminação natural?

São aquelas que se valem das condições climáticas e luminosas do ambiente natural para atender às necessidades humanas de conforto ambiental. Por exemplo, ventilação cruzada para amenizar

as altas temperaturas, insolação direta para aquecimento dos ambientes, uso de espelhos d'água para aumentar a umidade em climas secos, aberturas de tamanho e configuração adequadas para a captação da iluminação natural.

• Qual projeto contemporâneo com conceito de arquitetura bioclimática pode ser usado como exemplo?

Escolher algum projeto nos livros da bibliografia ou em sites confiáveis, que foram elaborados levando em consideração as condições climáticas do local onde foi implantado e as necessidades humanas de conforto térmico. Caso não encontre nenhum projeto, você poderá falar de algum dos seguintes projetos: Pavilhão Britânico da Expo 92, em Sevilha; Instituto Mundo Árabe (IMA), em Paris; Hospital Sarah Kubitschek, no Rio de Janeiro, Casa Eficiente, em Florianópolis.

Faça valer a pena

1. A arquitetura bioclimática é aquela que, por meio do projeto, otimiza a relação entre o ambiente construído e o clima, visando ao conforto térmico do usuário. Seu desenho promove o uso do sol no inverno e a minimização do seu acesso ao ambiente interno no verão, a ventilação natural como estratégia para extrair o ar quente dos ambientes e diminuir umidade em climas quente e úmidos e a redução de trocas térmicas com o ambiente externo devido à escolha correta de materiais.

De acordo com os princípios da arquitetura bioclimática, quais aspectos climáticos podem ser controlados para adequação do ambiente construído ao meio?

a) Altitude, ventos, chuva e radiação solar.
b) Umidade, latitude, radiação, precipitações.
c) Temperatura, ventos, umidade e radiação solar.
d) Radiação solar, correntes marítimas, relevo e ventos.
e) Temperatura, nebulosidade, radiação solar e umidade.

2. Quando dizemos que uma pessoa está em conforto ambiental, é preciso que ela esteja em estado de satisfação em determinado ambiente, ou seja, o espaço deve oferecer condições adequadas para que ela possa trabalhar, estudar, descansar ou divertir-se sem que os fatores ambientais diminuam seu desempenho. Oferecer condições de conforto aos usuários é uma questão de bem-estar, saúde e produtividade.

Dentre os fatores ambientais que influenciam o bem-estar e a satisfação humana, quais são abordados pela disciplina *Conforto ambiental*?

a) Conforto estético, térmico e visual.
b) Conforto térmico, acústico e espacial.
c) Conforto luminoso, térmico e acústico.
d) Conforto acústico, espacial e econômico.
e) Conforto visual, econômico sustentável.

3. Uma tendência mundial, crescente nos últimos anos, é projetar considerando o conforto dos usuários e a economia de energia elétrica. O responsável pelo projeto de ambientes (arquiteto ou designer de interiores) deve conceber espaços mais eficientes que reduzam os impactos ambientais, melhorando a integração do edifício com o entorno e a obtenção de conforto por meio de sistemas passivos de condicionamento.

Em relação a esse tipo de projeto, que considera como prioridade o conforto do usuário e a eficiência energética, escolha a alternativa em que a afirmação está correta.

a) Durante muitos séculos, desde a antiguidade, os arquitetos e engenheiros costumavam projetar e construir espaços usando todos os recursos da natureza ao seu limite, desconsiderando o meio ambiente e sua renovação.
b) A preocupação com o conforto dos usuários de ambientes internos e externos é algo recente, que passou a ser difundido a partir do início do século XXI.
c) O uso de tecnologias passivas na construção civil tem sido motivo de grandes discussões, visto que esse tipo de solução, embora seja eficiente energeticamente, ainda expõe os usuários do ambiente a condições ambientais de extremo desconforto.
d) Desde a pré-história o ser humano cria condições de habitabilidade, modificando o ambiente natural. Construir em harmonia com a natureza foi algo que a humanidade também praticou. Historicamente, as culturas greco-romanas destacaram-se pelo uso do sol como fonte de energia e aquecimento das construções.
e) Com o desenvolvimento de novas tecnologias ativas de resfriamento e iluminação artificiais, tornou-se desnecessária a preocupação com a harmonia entre o edifício e as condições ambientais naturais do ambiente, pois agora o homem pode sentir-se muito mais confortável com o uso do ar-condicionado ou dos sistemas de calefação, além de a iluminação artificial ser mais eficiente do que a natural.

Seção 1.2

Conforto térmico humano e índices de conforto térmico

Diálogo aberto

Bem-vindo à segunda seção desta unidade. Para aprendermos a projetar ambientes adequados aos seres humanos, precisamos saber quais são as suas necessidades em relação ao espaço construído. Nesta seção, aprenderemos sobre as necessidades do ser humano em relação às condições térmicas dos ambientes e entenderemos como o nosso organismo reage automaticamente quando experimentamos condições ambientais inadequadas. Conheceremos, também, alguns índices de conforto térmico que foram criados a partir de estudos relacionando as variáveis ambientais e as necessidades humanas, a fim de auxiliar-nos na avaliação e no projeto de ambientes que proporcionem conforto térmico e, consequentemente, satisfação aos usuários.

Vamos começar a trabalhar nesse processo de criação de ambientes adaptados ao ser humano?

Imagine que você foi procurado pelo diretor de uma universidade para fazer o projeto de design de interiores da secretaria do campus de sua cidade. O objetivo é que o projeto proporcione maior bem-estar aos seus funcionários durante as horas que ali permanecem. Segundo ele, alguns colaboradores se queixam de sentirem frio durante o expediente, enquanto outros pedem para que sejam instalados ares-condicionados.

Antes de elaborar a proposta de projeto, você fará um levantamento das condições térmicas do ambiente a fim de justificar as intervenções propostas e desenvolver um projeto que realmente contemple as necessidades dos usuários.

Na Seção 1.2, você continuará a elaborar um texto, como na seção anterior. Esse texto fará parte do relatório das condições térmicas do ambiente em que será realizada a intervenção que estará proposta no documento entregue para o seu cliente. Dessa vez, serão abordadas questões diretamente ligadas ao conforto térmico humano.

Elabore um texto explicativo abordando questões relacionadas ao conforto térmico humano, respondendo aos seguintes questionamentos:

- Quais trocas térmicas ocorrem entre o corpo humano e o meio?
- Como funcionam os mecanismos termorreguladores e qual a relação deles com a sensação de conforto térmico?
- De quais variáveis depende o conforto térmico?
- Qual a finalidade dos índices de conforto térmico? Explique a escala de Fanger.

Nesta seção, você vai adquirir conhecimentos que darão suporte à resolução dessa situação-problema. Por isso, fique atento a todo o conteúdo do *Não pode faltar*, pois assim você escreverá com facilidade o texto explicando ao seu cliente as condições ambientais e fisiológicas necessárias para que o ser humano esteja em conforto e esclarecendo sobre os índices de conforto térmico que servirão como base para a sua análise do ambiente em questão.

Vamos aprender mais sobre as nossas necessidades térmicas e conhecer os índices de conforto térmico que podem nos ajudar a descobrir como as pessoas se sentem em determinadas situações ambientais?

Não pode faltar

Conforto térmico humano

Segundo a ASHRAE (2005), conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Nesse contexto, estão envolvidos aspectos tanto fisiológicos quanto psicológicos do ser humano. Nesta seção, trataremos principalmente das questões fisiológicas que se relacionam ao conforto térmico humano. Você aprenderá o que envolve o conforto térmico humano, conhecerá quais as variáveis humanas e ambientais que estão relacionadas à satisfação com o ambiente térmico e compreenderá como o corpo humano reage ao desconforto térmico.

As pessoas têm melhores condições de vida e saúde quando seus organismos funcionam sem serem submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico.

O corpo humano deve manter uma temperatura interna constante, por volta dos 37 °C, isso ocorre porque o homem é um animal homeotérmico. O organismo dos seres homeotérmicos é como uma máquina que gera energia interna por meio de processos térmicos. Esse método de geração de energia para manutenção da vida é chamado de metabolismo. Uma pequena parte dessa energia gerada, aproximadamente 20% dela, é transformada em energia útil; e o restante, cerca de 80%, transforma-se em calor, que deve ser eliminado para que haja equilíbrio térmico e o organismo continue funcionando corretamente.

Trocas térmicas entre o corpo e o meio

O estabelecimento do equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente ocorre por meio de trocas térmicas. Para compreensão desse processo, é necessário o conhecimento dos fenômenos de trocas de calor entre o organismo e o ambiente.

Como vimos anteriormente, para se manter em correto funcionamento, o corpo humano gera energia por meio do metabolismo. Uma parte dessa energia transforma-se em calor. As trocas térmicas que acontecem entre o corpo e o meio servem para eliminar esse calor excedente e manter a homeotermia. Essas trocas ocorrem por **radiação**, **condução**, **convecção** ou **evaporação**. Para que elas ocorram, é preciso que exista uma diferença entre a temperatura de dois corpos ou que ocorra mudança de estado de agregação da água.

As trocas térmicas que envolvem variação de temperatura são chamadas de trocas secas: convecção, radiação e condução.

A convecção envolve a troca de calor entre dois elementos, um sólido e outro fluido (líquido ou gás), e são ativadas pelo movimento e velocidade do ar.

A troca por radiação acontece entre dois elementos distantes entre si, um deles emite energia eletromagnética que, ao ser absorvida pelo outro, provoca efeitos térmicos, ou seja, aquece o elemento que a absorveu.

A condução é a troca de calor que ocorre quando dois elementos que estão em temperaturas diferentes entram em contato direto e se equilibram por meio da transmissão de calor, sendo esse fluxo sempre do mais quente para o mais frio.

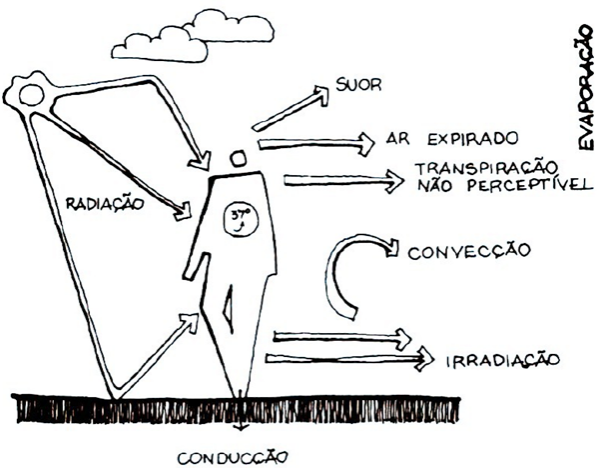
Figura 1.6 | Exemplo de troca térmica por convecção

Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/refresco-gm484711504-71795025>. Acesso em: 22 out. 2017.

As trocas térmicas que advêm da mudança do estado de agregação da água são chamadas de trocas úmidas. A **evaporação é a troca térmica** úmida proveniente da **mudança** do **estado líquido** para o **gasoso**. Para que haja evaporação, a água necessita de um gasto de energia. A velocidade de evaporação é função da umidade relativa do ar.

A Figura 1.7 traz um desenho esquemático das trocas térmicas que ocorrem entre o corpo humano e um ambiente externo para que haja manutenção da temperatura corporal.

Figura 1.7 | Equilíbrio térmico humano



Fonte: Romero (1988)

Na Figura 1.7 podemos notar que ocorrem as seguintes trocas:

1. A troca por radiação acontece quando o corpo ganha calor por meio da radiação solar. Também ocorre a irradiação da energia térmica (calor) do corpo para o meio.

2. A troca por condução acontece pelo contato entre os pés do indivíduo e o piso.

3. A troca por convecção advém do ar que está em movimento em contato direto com o corpo do indivíduo, removendo um pouco do seu calor.

4. As trocas por evaporação ocorrem pela dissipação do calor pela expiração e pela transpiração e também pelo suor.

Pesquise mais

Saiba mais sobre as trocas de calor acessando os links a seguir, nos quais estão disponíveis dois artigos e um vídeo:

TEIXEIRA, Mariana Mendes. Radiação, condução e convecção: a transferência de calor de um corpo para outro pode ocorrer por meio de três formas: radiação, condução e convecção. **Mundo Educação**. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/radiacao-conducao-conveccao.htm>. Acesso em: 22 out. 2017.

DOS ANJOS, Tatiana Alves. Trocas de calor: as trocas de calor acontecem porque o calor é um tipo de energia que transita entre os corpos para ocasionar o equilíbrio térmico entre ambos. **Mundo Educação**. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/trocas-calor.htm>. Acesso em: 22 out. 2017.

VIDEOAULAS DESIGN DE INTERIORES. Conforto Ambiental - videoaula 2 - conforto térmico - trocas de calor - Dodora Matos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lixlDOrwoLo>. Acesso em: 22 out. 2017.

É importante que haja equilíbrio entre as perdas e os ganhos de calor para que nosso corpo se mantenha em equilíbrio interno. No entanto, em algumas situações, as trocas térmicas naturais não são suficientes para isso e nosso organismo usa alguns mecanismos para aumentar ou diminuir a troca de calor.

Mecanismos termorreguladores

A sustentação constante da temperatura do corpo humano acontece por meio do sistema termorregulador que, espontaneamente, faz com que o organismo aumente ou diminua as trocas de calor por intermédio de alguns mecanismos.

Nós temos a sensação de conforto térmico quando nosso corpo troca com o meio o calor gerado pelo metabolismo sem fazer uso do sistema termorregulador, ou seja, quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem esforços por parte do nosso organismo.

Assimile

O nosso sistema termorregulador funciona da seguinte maneira: quando nosso corpo está perdendo menos calor do que o gerado pelo metabolismo, nós sentimos calor e nosso organismo reagirá involuntariamente, buscando aumentar as trocas térmicas com o meio, para atingir o equilíbrio térmico. Acontece o inverso quando estamos perdendo mais calor para o meio do que o nosso metabolismo está gerando, fazendo-nos sentir frio, e nosso organismo passa a poupar calor por meio de reações que dificultarão as trocas térmicas com o meio.

Existem dois tipos de mecanismos de regulação térmica: o fisiológico e o comportamental. O fisiológico envolve variações de fluxo sanguíneo que percorrem a pele, suor, aumento ou diminuição das batidas cardíacas, dilatação dos vasos, contração dos músculos e arrepio. O comportamental envolve prostração, sono e redução da capacidade de trabalho.

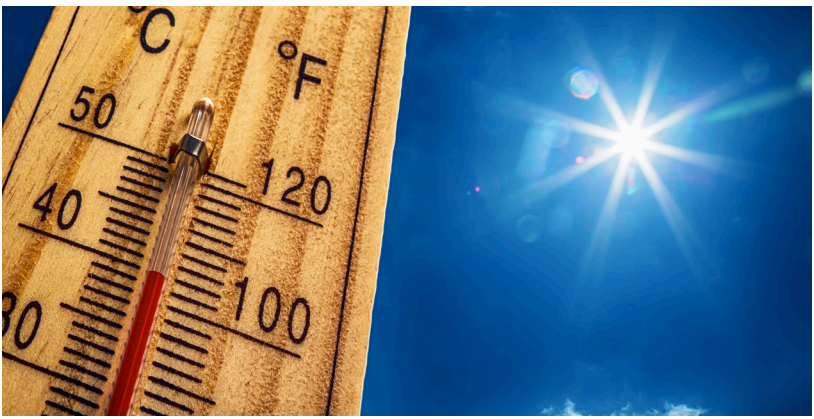
Mesmo sendo uma forma natural de controle das trocas de calor pelo organismo, a termorregulação acarreta um esforço além do normal por parte do nosso corpo e isso acaba diminuindo nossa capacidade de trabalho. Portanto, a sensação de conforto térmico é inversamente proporcional ao trabalho do sistema termorregulador. Isso quer dizer que, quanto maior o trabalho para manter a temperatura interna do corpo, maior o desconforto sentido.

As trocas térmicas, naturais ou ativadas pelo mecanismo termorregulador, acontecem constantemente e o ganho ou perda de calor acontece de acordo com algumas variáveis humanas e ambientais.

Variáveis do conforto térmico

As condições de conforto térmico dependem de algumas variáveis. As **variáveis ambientais** que influenciam a sensação de conforto térmico são: a temperatura, a radiação, a umidade e o movimento do ar.

Figura 1.8 | A temperatura do ar e a radiação solar são algumas das variáveis ambientais de conforto térmico



Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/thermometer-sun-40-degres-hot-summer-day-high-summer-temperatures-gm540761642-96631017>. Acesso em: 22 out. 2017.

Existe também a influência das **variáveis humanas**, que ocorre em função da atividade desenvolvida e da vestimenta usada.

Reflita

Você já observou que as roupas que usamos no verão são leves e mais abertas e as que usamos no inverno são mais pesadas e fechadas? Será que essas escolhas são apenas uma questão de estilo ou estão relacionadas ao conforto térmico?

Durante a realização de atividades físicas ocorre um trabalho mecânico por parte dos músculos que produzem calor. Quanto mais intensa for a atividade, maior será o calor (watts) gerado pelo metabolismo e, consequentemente, haverá necessidade de maiores trocas de calor para manter a temperatura corporal constante.

Figura 1.9 | Atividades mais intensas geram maior calor metabólico (W)

Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/homens-corrida-e-carregando-garrafas-de-%C3%A1gua-mineral-gm88621518-24374906>. Acesso em: 22 out. 2017

A vestimenta é uma forma de resistência entre o corpo humano e o seu meio e tem a função de manter o corpo num estado térmico aceitável em vários ambientes. Ela funciona como uma barreira para as trocas de calor, mantendo uma camada de ar parada, o que dificulta as trocas por convecção e radiação. Cada tipo de roupa tem um índice de resistência térmica, expresso em "clo", do inglês *clothing* (vestuário), equivalente a 0,155 m2°C/W.

Além das variáveis ambientais e das variáveis humanas, ainda existem outros fatores que influenciam o conforto térmico das pessoas. Esses fatores são a idade, o gênero, o biotipo e os hábitos alimentares.

Exemplificando

Por exemplo, os idosos costumam sentir mais frio por terem metabolismo basal mais lento e menos massa muscular. As mulheres também tendem a sentir mais frio do que os homens, por sua taxa metabólica ser mais baixa, enquanto os obesos acabam sentindo mais calor, pois a gordura é um isolante térmico. Os hábitos alimentares interferirão no conforto térmico, pois alimentos mais gordurosos e mais pesados exigem um trabalho maior por parte do organismo para que haja a sua digestão e isso gera calor. Podemos perceber isso pelas nossas preferências alimentares no verão (saladas, frutas, sucos etc.) e no inverno (chocolate, carnes, feijoada etc.).

Efeitos conjugados de todas essas variáveis ambientais aliadas a fatores pessoais definirão o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelo ser humano.

Índices de conforto térmico

Os primeiros estudos importantes sobre a influência das condições térmicas sobre o rendimento humano aconteceram no início do século XX, com o objetivo de determinar a influência das condições higrotérmicas no rendimento do trabalho. Tais pesquisas ocorreram visando principalmente aos interesses no aumento de produção, surgidos a partir da Revolução Industrial, e nas condições de guerra, pois as tropas precisavam se deslocar para locais de diversos tipos de clima (FROTA; SCHIFFER, 2003). A partir de então, foram realizados diversos estudos de conforto térmico que, atualmente, têm sua importância baseada em três fatores: a satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; a performance humana, porque o desconforto causado por calor ou frio reduz o desempenho humano; e a conservação de energia, pois conhecendo as condições e os parâmetros de conforto térmico humano, evita-se desperdícios com calefação e refrigeração.

Com base nos estudos e pesquisas na área de conforto térmico, foram desenvolvidos os índices de conforto térmico que têm por objetivo analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, estabelecendo métodos e princípios para uma detalhada análise térmica do ambiente.

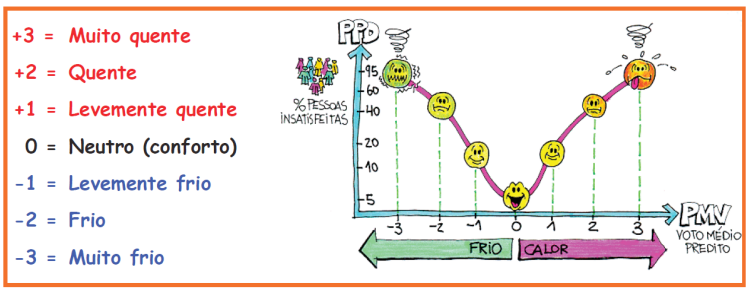
Como já vimos, as condições de conforto térmico se modificam em função das variáveis do ambiente, da atividade desenvolvida, da vestimenta e de outros fatores como gênero, idade, biótipo, hábitos alimentares etc. Os índices de conforto térmico procuram englobar num parâmetro o efeito conjunto dessas varáveis. Geralmente fixa-se um tipo de atividade e de vestimenta utilizada pelas pessoas e, a partir daí, relacionam-se as variáveis do ambiente, para depois serem apresentadas, em forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Entre os principais índices de conforto térmico está o Voto Médio Predito (PMV). Fanger (1972) desenvolveu uma equação para calcular a combinação das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, vestimenta e atividade desenvolvida). Por meio de um experimento, ele avaliou pessoas de diversas nacionalidades, gêneros e idades,

obtendo o Voto Médio Predito (PMV) para determinadas condições térmicas. O PMV é expresso por um valor numérico que demonstra a sensibilidade ao frio e ao calor. Os valores negativos, (entre -1 e -3) traduzem a sensação de frio; o zero significa estar em conforto térmico; e os valores positivos (entre 1 e 3) expressam a sensação de calor. A partir do PMV se instituiu o PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas). A norma ISO 7730 (2005) adotou as pesquisas de Fanger e recomenda que o PPD em espaços termicamente moderados seja menor do que 10%, que no PMV corresponde aos valores de -0,5 a 0,5. Isso significa que, em ambientes que proporcionam condições de conforto térmico, menos de 10% das pessoas estarão insatisfeitas com o ambiente térmico e, aqueles que estiverem, estarão sentindo um pouco de frio ou um pouco de calor.

Na Figura 1.10 observamos a Escala de Fanger do lado esquerdo, que corresponde à variação da sensação térmica dos indivíduos; e do lado direito vemos a curva resultante da relação entre o PMV e o PPD.

Figura 1.10 | Escala de Fanger e gráfico que relaciona o PMV ao PPD



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2014, p. 50)

Na próxima seção, conheceremos uma maneira simples de obtermos o PMV e o PPD por meio do uso de softwares de análise de conforto ambiental.

Sem medo de errar

Nesta seção, você aprendeu sobre as reações do organismo humano frente às condições térmicas dos ambientes; também conheceu um pouco sobre os índices de conforto térmico e sua importância para a avaliação das condições térmicas de ambientes internos e para a criação de espaços que proporcionem conforto

térmico para a maioria dos usuários. Agora, você já poderá resolver a situação-problema apresentada nesta seção com tranquilidade. Antes disso, vamos relembrá-la?

Você foi procurado pelo diretor de uma universidade para fazer um projeto de design de interiores para a secretaria do campus de sua cidade. O objetivo é que o projeto proporcione maior bem-estar aos funcionários durante as horas que ali permanecem. Segundo ele, alguns colaboradores se queixam de sentirem frio durante o expediente, enquanto outros pedem para que sejam instalados aparelhos de ar-condicionado.

Você fará um levantamento das condições térmicas do ambiente a fim de justificar as intervenções propostas e desenvolver um projeto que realmente contemple as necessidades dos usuários. Na situação-problema desta seção será dada continuidade ao texto apresentado na seção anterior. Dessa vez, serão abordadas questões diretamente ligadas ao conforto térmico humano. Você deve escrever um texto explicando as seguintes questões: quais trocas térmicas ocorrem entre o corpo humano e o meio? Como funcionam os mecanismos termorreguladores e qual a relação deles com a sensação de conforto térmico? De quais variáveis depende o conforto térmico? Qual a finalidade dos índices de conforto térmico? Explique o PMV de Fanger.

As respostas às questões são as seguintes:

• Quais trocas térmicas ocorrem entre o corpo humano e o meio?

As trocas térmicas secas: convecção, radiação e convecção.

• Como funcionam os mecanismos termorreguladores e qual a relação deles com a sensação de conforto térmico?

O nosso sistema termorregulador funciona da seguinte maneira: quando nosso corpo está perdendo menos calor do que o gerado pelo metabolismo, nós nos sentimos com calor e nosso organismo reagirá involuntariamente, buscando aumentar as trocas térmicas com o meio, para atingir o equilíbrio térmico. Acontece o inverso quando estamos perdendo mais calor para o meio do que o nosso metabolismo está gerando, nós sentimos frio e nosso organismo passa a poupar calor por meio de reações que dificultarão as trocas térmicas com o meio.

Mesmo sendo uma forma natural de controle das trocas de calor pelo organismo, a termorregulação acarreta um esforço além do normal por parte do nosso corpo e isso acaba diminuindo nossa capacidade de trabalho. Portanto, a sensação de conforto térmico é inversamente proporcional ao trabalho do sistema termorregulador, isso quer dizer que quanto maior o trabalho para manter a temperatura interna do corpo, maior o desconforto sentido.

• De quais variáveis depende o conforto térmico?

O conforto térmico depende das seguintes variáveis ambientais: temperatura, radiação, umidade e movimento do ar. As variáveis humanas ocorrem em função da atividade desenvolvida e da vestimenta usada. Existem outros fatores que influenciam o conforto térmico das pessoas. Esses fatores são: a idade, o gênero, o biótipo e os hábitos alimentares.

• Qual a finalidade dos índices de conforto térmico? Explique a escala de Fanger.

Os índices de conforto térmico têm por objetivo analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, estabelecendo métodos e princípios para uma detalhada análise térmica do ambiente.

A escala de Fanger está vinculada ao PMV e ao PPD. Fanger (1972) desenvolveu uma equação para calcular a combinação das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, vestimenta e atividade desenvolvida). Por meio de um experimento, ele avaliou pessoas de diversas nacionalidades, gêneros e idades, obtendo o Voto Médio Predito (PMV) para certas condições térmicas. O PMV é expresso por um valor numérico que demonstra a sensibilidade ao frio e ao calor. Os valores negativos (entre -1 e -3) traduzem a sensação de frio; o zero significa estar em conforto térmico; e os valores positivos (entre 1 e 3) expressam a sensação de frio. A partir do PMV se instituiu o PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas).

Avançando na prática

A importância do ambiente adaptado às condições climáticas e ao ser humano

Descrição da situação-problema

Retomaremos a situação-problema apresentada no *Avançando na Prática* da Seção 1.1.

Uma antiga cliente entrou em contato com você e contratou-o para fazer a conversão de um espaço de sua residência em uma pequena academia para uso dela e da família. Ao visitar o local, deparou-se com um sótão pouco iluminado, com apenas uma pequena abertura para entrada de ar e sem nenhum tipo de isolamento térmico. Preocupado, você disse a ela que o ambiente não é o mais adequado para abrigar uma academia, devido às condições térmicas e luminosas. Porém, propôs-se a fazer um projeto para adequar a condições ambientais às necessidades de conforto humano. A cliente, preocupada, questionou se realmente é necessária essa adaptação, visto que o ambiente será utilizado por poucas horas durante o dia. Ela também explicou que não pretende gastar muito com a adaptação do ambiente e não deseja que sua conta de energia elétrica aumente muito em decorrência da nova função do espaço.

Com o objetivo de convencê-la de que as técnicas passivas de condicionamento do ar e iluminação são eficientes em ambientes construídos e garantem eficiência energética, continue preparando, para a próxima reunião de vocês, a apresentação que começou a elaborar na Seção 1.1. Dessa vez você deve elaborar um pequeno texto em tópicos, distribuídos entre imagens ilustrativas, explicando para ela como o corpo humano reage quando a pessoa está com calor ou com frio. É importante que você fale sobre as variáveis ambientais e humanas que influenciam o conforto térmico dentro de um ambiente e explique porque usará um índice de conforto térmico para avaliar o ambiente no qual a intervenção será feita.

Resolução da situação-problema

A seguir, estão apresentados alguns conteúdos que você deverá abordar em sua apresentação, para convencer a cliente da necessidade da intervenção no local.

• Explique o que é o conforto térmico, do ponto de vista humano.

Segundo a ASHRAE (2005), conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Nesse contexto, estão envolvidos aspectos tanto fisiológicos quanto psicológicos do ser humano.

Nós experimentamos a sensação de conforto térmico quando nosso corpo perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo, sem precisar recorrer ao mecanismo de termorregulação, ou seja, quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem esforços por parte do nosso organismo.

• O que é o sistema termorregulador? Quais os mecanismos fisiológicos e comportamentais de regulação térmica?

A sustentação constante da temperatura do corpo humano acontece por meio do sistema termorregulador que, espontaneamente, faz com que o organismo aumente ou diminua as trocas de calor por intermédio de alguns mecanismos. Existem dois tipos de mecanismos de regulação térmica: o fisiológico e o comportamental. O fisiológico envolve variações de fluxo sanguíneo que percorrem a pele, suor, aumento ou diminuição das batidas cardíacas, dilatação dos vasos, contração dos músculos e arrepio. O comportamental envolve prostração, sono e redução da capacidade de trabalho.

• De quais variáveis ambientais depende o conforto térmico?

O conforto ambiental depende de variáveis ambientais como a temperatura do ar, a umidade, a radiação e o movimento do ar.

• Quais são as variáveis humanas associadas ao conforto ambiental?

As variáveis humanas que influenciam o conforto térmico são as atividades desenvolvidas pelo indivíduo e a roupa que ele está vestindo.

• Qual a importância dos índices de conforto térmico na avaliação de ambientes construídos?

Os estudos de conforto térmico, atualmente, têm por objetivo: possibilitar o projeto de ambientes que proporcionem a satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; garantir uma boa performance, porque o desconforto causado por calor ou frio reduz o desempenho humano; e permitir a conservação de energia, pois conhecendo as condições e os parâmetros de conforto térmico humano, evita-se desperdícios com calefação e refrigeração.

Por meio da aplicação de índices de conforto térmico na avaliação de ambientes é possível determinar as condições necessárias para a concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas.

Faça valer a pena

1. O homem tem mais qualidade de vida e saúde quando seu organismo não é submetido à fadiga ou estresse, até mesmo térmico. Há sensação de conforto térmico quando o corpo perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo sem recorrer ao mecanismo de termorregulação (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A sensação de conforto térmico é inversamente proporcional ao trabalho do sistema termorregulador. Quanto maior o trabalho para manter a temperatura interna do corpo, maior o desconforto. O efeito conjugado de variáveis ambientais aliadas a fatores pessoais definirá o grau de conforto ou desconforto térmico sentido.

A partir do contexto apresentado, pode-se afirmar que o conforto térmico depende de quais fatores? Assinale a alternativa correta.

a) Radiação solar, umidade do ar, biótipo, raça, atividade desenvolvida e gênero.
b) Movimento do ar, radiação, gênero, coeficiente de inteligência, idade e temperatura do ar.
c) Vestimenta, hábitos alimentares, movimento do ar, umidade do ar, temperatura do ar, etnia e biótipo.
d) Temperatura do ar, umidade, radiação, movimento do ar, idade, gênero, horas de sono e hábitos alimentares.
e) Temperatura do ar, movimento do ar, radiação solar, umidade do ar, atividade desenvolvida, vestimenta, gênero, idade, biótipo e hábitos alimentares.

2. As trocas térmicas entre corpos requerem pelo menos uma de duas condições básicas. A primeira é que os corpos estejam em temperaturas diferentes; e a segunda, que haja mudança no estado de agregação. Existem dois tipos de trocas térmicas: as secas e as úmidas.

Quais são as trocas térmicas secas e quais são as úmidas que ocorrem entre o corpo humano e o ambiente? Assinale a alternativa correta.

a) Trocas térmicas secas: condução, convecção e radiação; e trocas úmidas: evaporação.
b) Trocas térmicas secas: convecção, condensação e radiação; e trocas úmidas: evaporação.
c) Trocas úmidas: radiação e irradiação; e trocas térmicas secas: evaporação e condensação.
d) Trocas térmicas secas: radiação, ventilação e evaporação; e trocas úmidas: insolação e condensação.
e) Trocas térmicas secas: aquecimento do corpo e resfriamento do corpo; e trocas úmidas: umedecimento do corpo.

3. A sustentação constante da temperatura do corpo humano acontece por meio do sistema termorregulador que, espontaneamente, de acordo com a situação térmica, faz com que o organismo aumente ou diminua as trocas de calor por intermédio de alguns mecanismos.

Os mecanismos termorreguladores classificam-se em dois tipos. Esses dois tipos de mecanismos de termorregulação e as reações do organismo humano quando cada um deles ocorre, são:

a) **mecanismo seco**: condução, convecção e radiação; e **mecanismo úmido**: evaporação e condensação.
b) **mecanismo biológico**: suor, sono e depressão; e **mecanismo subjetivo**: idade, gênero e hábitos alimentares.
c) **mecanismo comportamental**: prostração, sono e humor deprimido; e **mecanismo fisiológico**: tremor, arrepios e queda de pressão.
d) **mecanismo fisiológico**: tremor, arrepio e prostração; e **mecanismo psicológico**: contração dos músculos, diminuição da pressão arterial e desmaio.
e) **mecanismo fisiológico**: variações de fluxo sanguíneo que percorrem a pele, suor, aumento ou diminuição das batidas cardíacas, dilatação dos vasos, contração dos músculos, tremor e arrepio; e **mecanismo comportamental**: prostração, sono e redução da capacidade de trabalho.

Seção 1.3

Ferramentas de análise de conforto e estresse térmico

Diálogo aberto

Prezado aluno, seja bem-vindo à última seção da Unidade 1. Nesta seção, nós retomaremos o conhecimento adquirido nas seções anteriores, aprofundaremos um pouco mais o nosso conhecimento sobre as variáveis ambientais relacionadas ao conforto térmico e aprenderemos quais instrumentos devem ser usados para medi-las. Você será apresentado à carta psicrométrica e à sua função na determinação de variáveis do ambiente. O conteúdo desta seção também lhe mostrará a importância das ferramentas de análise de conforto e estresse térmico.

Retomemos agora a nossa situação-problema: imagine que você foi procurado pelo diretor de uma universidade para fazer um projeto de design de interiores para a secretaria do campus de sua cidade. O objetivo é que o projeto proporcione maior bem-estar dos funcionários durante as horas que ali permanecerem. Segundo ele, alguns colaboradores se queixam de sentirem frio durante o expediente, enquanto outros pedem para que sejam instalados aparelhos de ar-condicionado.

Antes de elaborar a proposta de projeto, você fará um levantamento das condições térmicas do ambiente, a fim de justificar as intervenções propostas e desenvolver um projeto que realmente contemple as necessidades dos usuários.

Nesta seção, com o instrumento de medição de temperatura Termo Hidrometro Digital Portatil - 4216, você fará um levantamento das condições de conforto térmico da secretaria da universidade. Primeiramente, você deverá coletar os seguintes dados no local:

- Atividades realizadas pelos funcionários.
- Tipo de roupa usada pela maioria dos funcionários.
- Variáveis ambientais (temperatura; velocidade do ar; temperatura de globo; temperatura de bulbo úmido; altitude).

Passadas essas etapas, você apresentará um relatório ao seu cliente, respondendo aos seguintes questionamentos: De acordo com os resultados coletados, como os funcionários se sentem (PMV e PPD) em relação às condições térmicas do ambiente estudado? Existe a necessidade de intervenção sobre o ambiente, com a alteração das condições térmicas do local?

Bons estudos!

Não pode faltar

Como já vimos, conforto térmico é a condição física em que o ser humano troca com o meio todo o calor gerado por seu metabolismo sem precisar recorrer ao seu sistema termorregulador. Nessa situação, espera-se que a pessoa esteja se sentindo satisfeita com sua condição térmica.

Por outro lado, o estresse térmico é um parâmetro psicofisiológico que indica que as condições ambientais às quais um indivíduo está exposto são extremas, em relação ao frio ou ao calor, e, por consequência, seu organismo é forçado a utilizar seu sistema de termorregulação no seu limite máximo. Quando submetida a situações de estresse térmico, além de diminuir muito sua capacidade de trabalho, a pessoa também pode ter seu estado de saúde abalado. Por isso, é importante o conhecimento das condições ambientais e humanas que levam a essa condição para que se possa identificar ambientes inadequados à ocupação humana e também projetar espaços que atendam às condições de conforto térmico.

Assimile

A palavra estresse é derivada da palavra inglesa stress. Segundo o dicionário Houaiss (2012), estresse é o estado gerado pela percepção de estímulos que provocam excitação emocional e, ao perturbarem a homeostasia (processo de regulação pelo qual um organismo mantém em estado de equilíbrio as diversas funções corporais, assim como a composição química dos seus fluidos) levam o organismo a disparar um processo de adaptação caracterizado pelo aumento da secreção de adrenalina, com várias consequências sistêmicas.

Como o conforto térmico envolve muitas variáveis, humanas e ambientais, foram desenvolvidos os índices de conforto térmico que,

como visto na Seção 1.2, têm por objetivo estabelecer parâmetros de conforto ambiental por meio da relação entre tais variáveis, para serem usados na análise do comportamento ambiental, bem como no processo projetual de novos espaços. Para facilitar o uso de tais índices e a aplicação das informações produzidas por eles, foram criadas ferramentas que relacionam entre si as variáveis de conforto térmico, utilizando os resultados dados por um índice, e determinam se as condições ambientais e humanas estão ou não propiciando ao usuário condições de conforto e evitando o estresse térmico. Essas ferramentas facilitam a avaliação térmica de ambientes antes e após a ocupação, bem como determinam condições para a concepção de ambientes térmicos adequados às atividades e ocupação humanas.

Para fazermos uso e aproveitarmos ao máximo o potencial dessas ferramentas, precisamos conhecer bem as variáveis envolvidas no conforto térmico e coletar essas informações no ambiente que será analisado.

Na Seção 1.2, já aprendemos que as variáveis que influenciam o conforto térmico dentro de um ambiente estão divididas em variáveis humanas e variáveis ambientais. As variáveis humanas são a atividade física realizada e a vestimenta usada pela pessoa, enquanto as variáveis ambientais são a temperatura, a radiação, a velocidade e a umidade do ar.

Lembre-se

Você já conheceu um pouco sobre os processos que envolvem a realização de atividades e a geração de calor pelo metabolismo e também entendeu como a vestimenta é importante para a manutenção da nossa temperatura corporal ao oferecer resistência térmica às trocas de calor. Caso queira relembrar melhor esses conceitos, reveja, na Seção 1.2, no conteúdo *Não pode Faltar*, o tópico *Variáveis do conforto térmico*.

Vamos falar um pouco mais sobre as variáveis do ambiente envolvidas no conforto térmico?

A **temperatura do ar**, também conhecida como temperatura de bulbo seco (TBS), é a principal variável de conforto térmico. Ela é consequência indireta da radiação solar e pode ser medida

por um termômetro de mercúrio. A **temperatura de bulbo úmido (TBU)** equivale à temperatura que o ar estaria se estivesse saturado de água. Ela é medida por um termômetro semelhante ao usado para medir a TBS, porém o seu bulbo está revestido por um pavio molhado. Os dois termômetros juntos formam um psicrômetro.

A **radiação** solar é a principal variável envolvida nos ganhos térmicos de uma edificação. Além dela, existem outros tipos de troca por radiação que representam ganho de calor pelo ambiente construído. A absorção da radiação irá implicar na **temperatura radiante média (TrM)** do ambiente, que é a temperatura média das superfícies que envolvem um ambiente. Seu cálculo é realizado por meio da determinação da temperatura do ar (TBS) e da **temperatura de globo (TG)**, medida por um termômetro de globo.

Reflita

A radiação solar é uma onda eletromagnética que, ao ser absorvida por uma superfície, transforma-se em calor. Então, se a radiação solar deve ser absorvida por um corpo para aquecê-lo, como ela é responsável indiretamente pelo aquecimento do ar?

A variável **velocidade do ar (Var)** se refere à velocidade e direção de deslocamento de massas de ar em ambientes externos ou internos. É um importante dado a ser considerado, pois age diretamente nas trocas de calor por convecção, além de aumentar os efeitos da evaporação no corpo humano, podendo influenciar o conforto térmico. Pode ser medida por um anemômetro-giratório ou um termo-anemômetro (para ambientes internos).

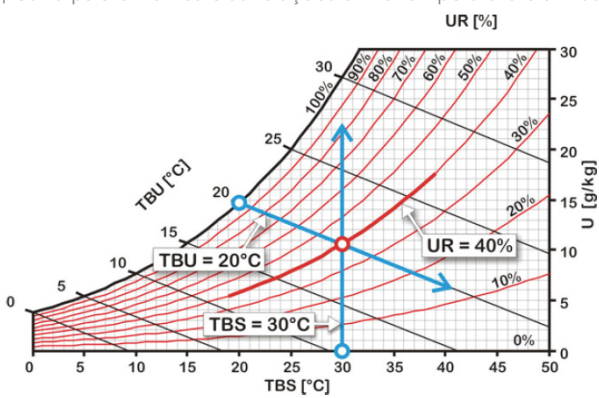
A **umidade do ar**, ou umidade absoluta, é a quantidade de vapor d'água nele contido. A **umidade relativa** do ar (UR) é a relação entre a umidade absoluta e o ponto de saturação, que é a quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode absorver. Em conjunto com a ventilação (velocidade do ar), a umidade interfere nas trocas térmicas por evaporação: quanto mais úmido e parado estiver o ar, mais difícil será a evaporação e a consequente perda de calor por ela proporcionada. A UR é dada em porcentagem e é determinada em função das temperaturas de bulbo seco (TBS) e úmido (TBU) cruzadas em uma carta psicrométrica.

Para que você entenda melhor o processo de obtenção da umidade relativa do ar, vamos primeiro entender o que é a carta psicométrica.

Psicrometria é o estudo do ar úmido e a mudança em suas condições. Nela são usadas as propriedades termodinâmicas para analisar processos e a condição do ar úmido (ASHRAE, 2005). A carta psicrométrica é uma importante ferramenta para determinar essas propriedades, pois ela é um gráfico no qual são plotadas informações referentes às propriedades termodinâmicas do ar úmido, representando graficamente a relação entre elas. Nela se apresentam as seguintes propriedades do ar úmido e suas interrelações: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, umidade absoluta, pressão de vapor, ponto de orvalho, entalpia.

Essa ferramenta é muito útil para a compreensão das transformações que ocorrem no ar úmido, pois nela é possível visualizarmos como as variações de temperatura e umidade combinadas entre si influenciam os processos de troca de calor. Na Figura 1.11 podemos ver uma carta psicrométrica e as relações entre as variáveis: umidade relativa e temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido (TBU).

Figura 1.11 | Carta psicrométrica e as relações entre temperatura e umidade relativa



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Ferramenta de análise de conforto térmico: software Analysis CST

Uma importante ferramenta para a predição das condições de conforto térmico a que estão submetidos os usuários de um ambiente interno é o software Analysis CST, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Por meio da relação entre as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante

média, umidade relativa, entre outras) e humanas (metabolismo e vestimenta), o programa indica o PMV (Voto Médio Predito) e o PPD (Porcentagem de Pessoas Desconfortáveis), para o ambiente analisado no módulo de "Avaliação do Conforto Térmico", e o estado de estresse térmico por frio ou calor no módulo "Stress".

Como ele auxilia a compreensão da reação humana às alterações térmicas em um ambiente, as informações geradas podem ser usadas como subsídio ao processo projetual.

Pesquise mais

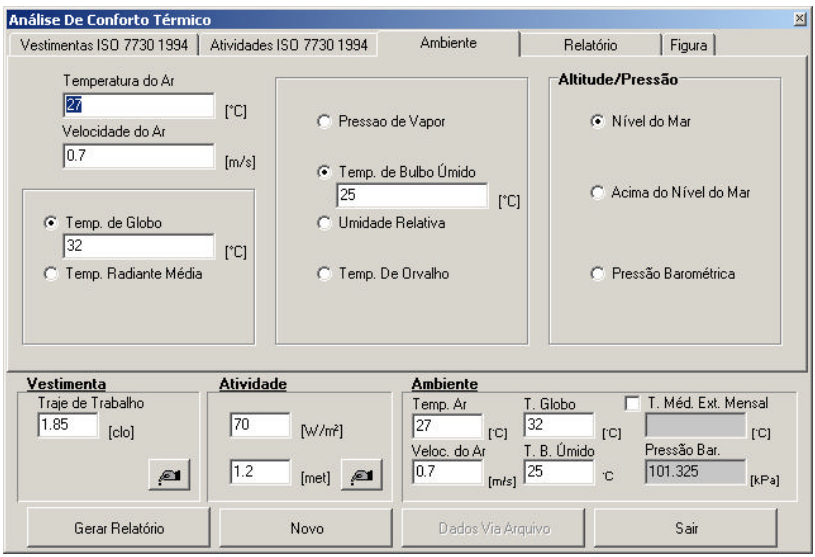
O Software Analysis CST é gratuito e pode ser baixado no site do LabEEE. Faça o download no link: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis>. Acesso em: 29 out. 2017.

No programa é possível usar dois módulos de análise, o Módulo de Conforto e o Módulo de Stress, citados no parágrafo anterior. No módulo de Análise de Conforto é possível verificar nos relatórios gerados a carga térmica sobre o corpo humano e as várias trocas de calor por convecção, radiação e respiração que ocorrerão naquele ambiente térmico. Além dessas informações, esse módulo também apresenta em um gráfico o PMV e o PPD do ambiente estudado, o que permite verificarmos como os usuários daquele espaço estarão se sentindo em relação ao conforto térmico (LAMBERTS et al., 2005). O módulo de Análise de "Stress" Térmico apresenta quais situações térmicas no ambiente de trabalho industrial podem gerar estresse térmico (por calor ou por frio) nas pessoas que ali trabalham. A interface desse módulo é igual ao do módulo de conforto térmico, porém são gerados relatórios com os índices para estresse térmico, podendo ser recomendada até mesmo a supervisão médica no acompanhamento de atividades (LAMBERTS et al., 2005).

Na página inicial do Analysis CST, é possível optar pelo Módulo de Análise de Conforto ou pelo Módulo de Análise de Stress, bastando abrir o menu "Opções" e selecionar o módulo desejado, ou acessando a barra de ferramentas e clicando no botão "C" para Conforto ou no botão "S" para Stress. Nesta disciplina, usaremos o módulo conforto, pois ele se aplica às nossas necessidades de determinação das condições de conforto térmico dos usuários de ambientes internos.

Ao escolher o Módulo de Análise de Conforto, surgirá uma janela (Figura 1.12) na qual devem ser digitadas as informações relacionadas às variáveis ambientais e humanas e do ambiente a ser analisado. Assim, pode-se gerar um relatório que apresente os seguintes resultados e critérios de análise: a) outras variáveis não inseridas (como a umidade relativa do espaço, quando se fornecer apenas a temperatura de bulbo úmido); b) índices de conforto térmico; c) trocas de calor pelo corpo; d) gráficos e uma imagem contendo todas as informações (BORTOLI; SARAMAGO, 2013).

Figura 1.12 | Janela de entrada das variáveis ambientais



Fonte: Lamberts et al. (2005).

Nesta janela existem três abas referentes às variáveis que devem ser informadas para a obtenção do PMV (Voto Médio Predito) e do PPD (Porcentagem de Pessoas Desconfortáveis) do ambiente analisado. A primeira aba se refere às vestimentas; a segunda, às atividades desenvolvidas; e a terceira, às variáveis do ambiente.

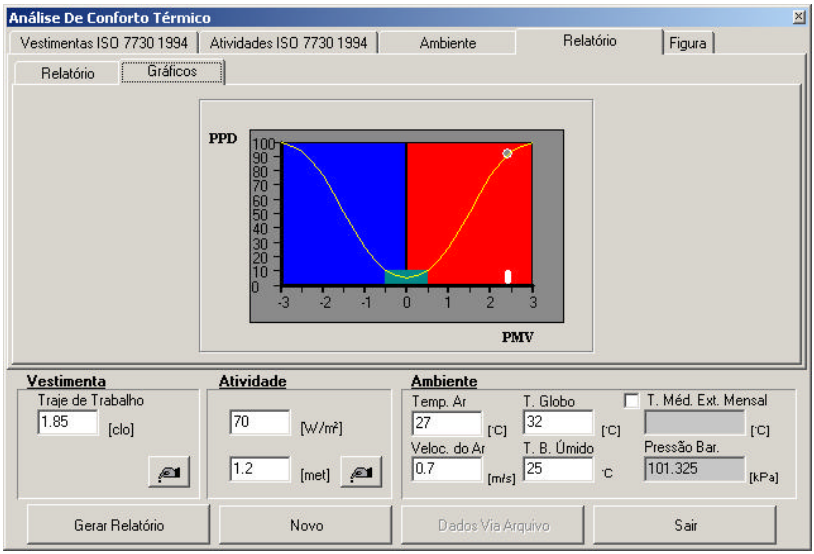
Na aba **Vestimentas ISO 7730 1994** devem ser fornecidos os dados a respeito das roupas usadas pelas pessoas naquele ambiente, baseando-se na média coletada entre os usuários. A partir desses dados, a resistência térmica dos trajes (clo) é estimada. Ao clicar na aba **Atividades ISO 7730 1994**, deve-se inserir os dados

referentes à atividade física que as pessoas do espaço estudado estão realizando. A quantidade de energia gasta pela atividade desenvolvida é dada pelo valor de metabolismo, representado por MET. É preciso marcar a opção correspondente à atividade física ou fornecer manualmente os dados referentes ao gasto de energia. Por último, no preenchimento da aba **Ambientes**, serão inseridas as informações referentes às variáveis ambientais, medidas no ambiente estudado. Devem ser informados estes cinco dados: 1) temperatura do ar; 2) velocidade do ar; 3) temperatura de globo ou temperatura radiante média; 4) pressão de vapor, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa ou temperatura de orvalho; 5) altitude e pressão (nível do mar, acima do nível do mar ou pressão barométrica) (BORTOLI; SARAMAGO, 2013).

Depois de preenchidas as três abas, deve-se clicar no botão **Gerar Relatório**. O software abrirá uma janela que apresentará os resultados relativos ao PMV e ao PPD, além de outros calculados com base nas informações fornecidas. Nessa janela é possível optar entre "relatório" ou "gráficos". A aba **Relatório** apresenta os seguintes dados: informações fornecidas pelo usuário (variáveis humanas e ambientais); resultados esperados (índices de conforto térmico – PMV, PPD e SET); algumas informações complementares (carga térmica sobre o corpo (L); troca de calor sensível pela respiração (Cres); troca de calor latente pela respiração (Eres); Troca de calor sensível pela respiração por convecção da pele (C); calor sensível pela respiração por radiação da pele (R); calor sensível latente pela pele (Esk); temperatura operativa de conforto (Toc); índice de conforto térmico (DISC); índice de sensação térmica (TS); temperaturas neutras). Clicando no botão "Salvar", os dados do relatório serão salvos em uma planilha do Excel.

Clicando sobre a aba **Gráficos** aparecerá um gráfico (Figura 1.13) que sintetiza os dados informados e calculados pelo Analysis CST. O gráfico relaciona o Percentual de Pessoas Desconfortáveis (PPD) com o Voto Médio Predito (PMV) para o ambiente em estudo.

Figura 1.13 | Gráfico de PMV e PPD gerado pelo software Analysis CST



Fonte: Lamberts et al. (2005).

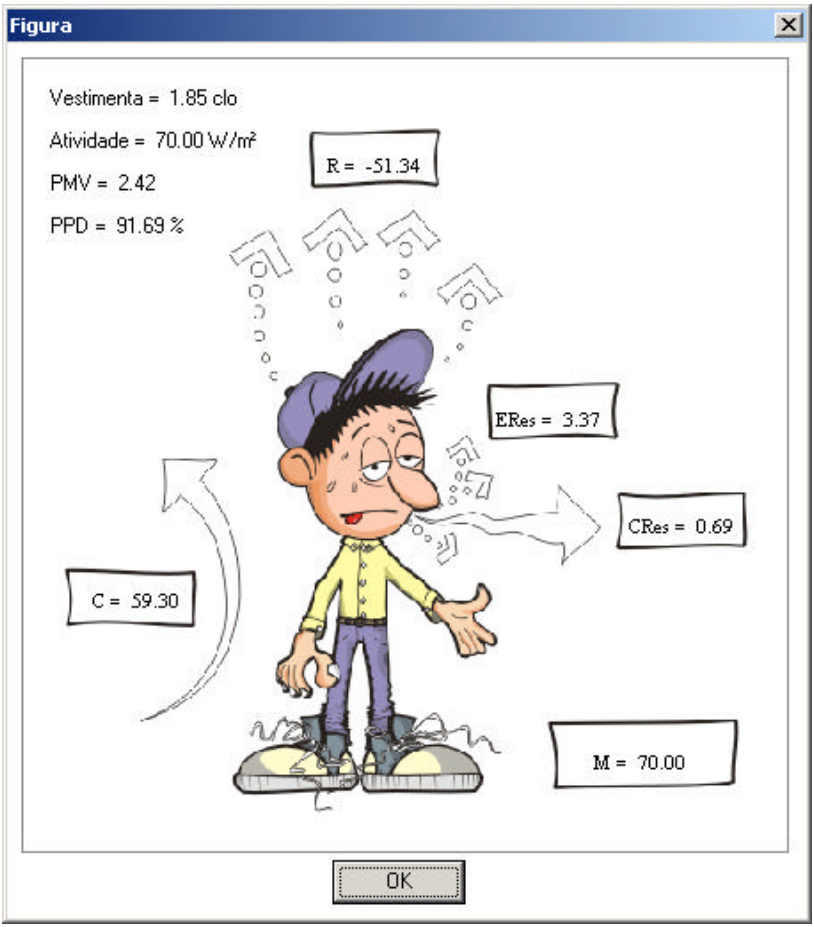
Exemplificando

Na Figura 1.13, a parte azul, do lado esquerdo, simula o desconforto por frio, enquanto a parte vermelha, do lado direito, representa o desconforto por calor.

A curva do gráfico corresponde à sua função geradora e o ponto escuro sobre ela aponta os valores de PPD e PMV. A partir da análise desse gráfico, podemos perceber que por volta de 90% dos usuários do ambiente estão desconfortáveis (PPD) e o PMV está próximo de 2.5. Portanto, a situação está fora dos limites de conforto. Podemos chegar a essa conclusão, pois, como já estudamos na Seção 1.2, segundo a norma ISO 7730 (2005), para que os usuários estejam em conforto térmico, é preciso que o PPD seja menor do que 10% e que o PMV esteja entre -0,5 e 0,5.

Finalmente, ainda é possível que o programa gere uma charge que resume todas as informações apresentadas pelo relatório (Figura 1.14). Para isso, é preciso que, ao abrir a janela **Gerar Relatório**, seja escolhida a aba **Figura**; a partir dela se abrirá outra janela e nela deve-se clicar no botão **Figura**.

Figura 1.14 | Charge ilustrando as trocas térmicas no módulo de conforto térmico do Analysis CST



Fonte: Lamberts et al. (2005).

Agora que já conhecemos um pouco mais sobre as variáveis ambientais que envolvem o conforto térmico e as ferramentas que facilitam a identificação das condições de conforto ou desconforto térmico proporcionadas por um ambiente, vamos praticar?

Pesquise mais

Para saber mais sobre Conforto Ambiental nos espaços internos, leia o capítulo 1 - Conforto no ambiente construído (p. 9 a 31), do livro Conforto Ambiental: iluminação, cores, ergonomia, paisagismo e critérios para projetos.

PINHEIRO, Antônio C. F. B. Conforto Ambiental: iluminação, cores, ergonomia, paisagismo e critérios para projetos. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2014.

Sem medo de errar

Você deve irá realizar uma coleta de dados das variáveis humanas e condições ambientais da secretaria da universidade.

Para coletar as informações você deve visitar o local e coletar as seguintes informações:

- Variáveis humanas: atividades realizadas pelos funcionários e vestimenta dos funcionários.

- Variáveis ambientais: temperatura do ar (TBS) - ferramenta ideal: Termo Higrômetro digital portátil; velocidade do ar (Var), ferramenta ideal: Anemômetro digital portátil; temperatura de globo (TG) ferramenta ideal: Termo Higrômetro digital portátil; temperatura de bulbo úmido (TBU), ferramenta ideal: Termo Higrômetro digital portátil e altitude.

Após a coleta dos dados, deve realizar entrevistas com os usuários do local, verificar a sensação térmica que as pessoas sentem no espaço e as roupas que usam.

Posteriormente a coleta de dados, você irá fazer uma análise dos resultados. Pode realizar uma tabela com os dados térmicos, as variáveis humanas e a sensação do usuário quanto ao ambiente térmico, para cada um dos três horários.

Determinar qual a porcentagem de pessoas satisfeitas e insatisfeitas no ambiente.

Com base nos resultados obtidos e no método apresentado pela **ISO 7730 (1984)**, você fará a análise do ambiente térmico e diagnóstico das condições de conforto térmico do ambiente estudado. Apontando a necessidade ou não de se intervir nas condições térmicas do ambiente.

Avançando na prática

Análise de conforto térmico de uma loja de peixes e frutos do mar

Descrição da situação-problema

Você fez um projeto de design de interiores de uma loja de peixes e frutos do mar. Ao determinar o local onde ficam estocados os produtos congelados você optou por deixá-los dentro do balcão de atendimento, atrás dos balconistas, para facilitar o acesso aos produtos. Porém, depois da inauguração do estabelecimento um dos balconistas se queixou de estar sentindo calor e uma colega também balconista disse estar sentindo frio durante o expediente, devido à proximidade do freezer. Então o dono da loja, em dúvida, o procurou pedindo que você reavaliasse o local onde ficará o freezer. Você resolveu entrevistar todos os funcionários para verificar se as queixas procedem. Sabendo que no total a peixaria tem 25 funcionários e que todos trabalham como balconistas durante algumas horas por dia, determine a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) e aponte se precisará mudar o freezer de lugar.

Resolução da situação-problema

A porcentagem de pessoas insatisfeita (PPD) será de 8%. Segundo a ISO 7730 (2005) se o PPD for menor que 10% significa que o ambiente está proporcionado condições de conforto térmico aos usuários, portanto no caso analisado 92% dos funcionários não estarão sentindo nem calor nem frio, estarão em conforto térmico. Assim sendo não haverá necessidade se intervir nas condições térmicas do ambiente.

Faça valer a pena

1. Visando facilitar a avaliação das condições de conforto ambiental de ambientes construídos antes e após a ocupação e para estabelecer condições para a concepção de ambientes térmicos adequados às atividades e ocupação humanas, foram criadas algumas ferramentas de análise de conforto e estresse térmico.

O que são essas ferramentas de análise de conforto e estresse térmico?

a) São os estudos de conforto térmico realizados em vários países ao redor do mundo.
b) São as vestimentas usadas pelas pessoas para se sentirem confortáveis termicamente dentro de um ambiente.
c) São os equipamentos usados para medir as variáveis ambientais (temperatura, umidade, velocidade do ar etc.).
d) São softwares que cruzam as informações das variáveis de conforto térmico (ambientais e humanas) e apontam se o ambiente está propiciando conforto térmico às pessoas.
e) São as estações meteorológicas responsáveis pela medição das condições climáticas (temperatura, precipitação, umidade, velocidade dos ventos etc.) de uma cidade.

2. A carta psicrométrica é um gráfico no qual são plotadas informações referentes às propriedades termodinâmicas do ar úmido, representando graficamente a relação entre elas. É um instrumento muito útil para a compreensão das transformações que ocorrem no ar úmido. Nela podemos cruzar a temperatura de bulbo úmido (TBU) com a temperatura de bulbo seco (TBS) e determinar a umidade relativa do ar (UR). Utilizando a carta psicrométrica apresentada nesta seção, responda à questão a seguir.

Qual a umidade relativa do ar (UR), sabendo que a TBS é de 40 °C e a TBU é de 25 °C?

a) A umidade relativa (UR) é de 10%.
b) A umidade relativa (UR) é de 30%.
c) A umidade relativa (UR) é de 40%.
d) A umidade relativa (UR) é de 50%.
e) A umidade relativa (UR) é de 100%.

3. Para avaliação das condições térmicas de um ambiente, é necessário que se faça um levantamento das variáveis humanas e das variáveis ambientais do ambiente em estudo. A partir do cruzamento desses dados, será possível determinar as condições térmicas do ambiente, apontando se o usuário está em uma situação que lhe proporciona conforto térmico.

Quais variáveis ambientais são fundamentais na análise das condições térmicas de um ambiente?

a) Temperatura radiante, temperatura do corpo humano e luminosidade do ambiente.
b) Temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura corporal e velocidade do ar.
c) Temperatura de bulbo úmido, luminosidade, temperatura radiante e umidade relativa do ar.
d) Temperatura do ar (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU), temperatura radiante média e velocidade do ar.
e) Temperatura de bulbo úmido (TBU), temperatura radiante média, velocidade do ar, temperatura corporal e temperatura de globo.

Referências

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook**: fundamentals. New York: ASHRAE, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações**. NBR 1522. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BARBIRATO, G. M., SOUZA, L. C. L., TORRES, S. C. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. v. 1, 1. ed. Maceió: EDUFAL, 2007. 164 p.

BORTOLI, K. C. R.; SARAMAGO, R. C. P. **Projeto de pesquisa**: Desenvolvimento de tutoriais de softwares da série Analysis – Analysis CST. Uberlândia, 2013. Disponível em: <https://karenbortoli.files.wordpress.com/2013/12/tutorial-analysis-cst.pdf>. Acesso em: 29 out. 2017.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**: analysis and applications in environmental engineering.New York: McGraw-Hill, 1972.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 4. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GURGEL, M. **Design passivo**, **baixo consumo energético**: guia para conhecer, entender e aplicar os princípios do design passivo em residências. v. 1, 1. ed. São Paulo: Editora Senac, 2012. 175 p.

HOUAISS, Antônio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa.** São Paulo: Moderna, 2012.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730:2005** – ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève: ISO, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Editora Pro Editores, 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: [s.n.], 2005.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

VAN LENGEN, J. **Manual do arquiteto descalço**. v. 1, 5. ed. São Paulo: Empório do Livro, 2009. 707 p.

A bioclimatologia como fator determinante do conforto ambiental e da eficiência energética

Convite ao estudo

Seja bem-vindo à segunda unidade do material didático da disciplina de Conforto Ambiental. Nela você aprenderá mais sobre como a bioclimatologia aplicada ao projeto de interiores pode contribuir para a criação de ambientes com alto desempenho térmico e eficiência energética. Você conhecerá as principais estratégias bioclimáticas utilizadas nos projetos do ambiente construído, de acordo com as características climáticas da região.

A Seção 2.1 apresentará o conceito de arquitetura bioclimática e suas aplicações. Nela você conhecerá o zoneamento bioclimático brasileiro e as principais estratégias bioclimáticas indicadas para cada zona bioclimática. Na Seção 2.2 você estudará o comportamento do vento dentro da edificação, será apresentado a uma das principais estratégias bioclimáticas, a ventilação natural, e entenderá como aplicá-la na prática projetual. Por fim, na Seção 2.3, você aprenderá como realizar análises bioclimáticas e determinar as estratégias adequadas para cada tipo de clima por meio do uso de softwares. Nessa última seção, você também compreenderá como fazer uso das estratégias bioclimáticas no projeto de ambientes internos.

Após adquirir esses conhecimentos, você estará preparado para aplicá-los. Você os colocará em prática ao resolver as situações-problema associadas ao nosso contexto de aprendizagem. Imagine que a prefeitura da capital do seu estado lançou um concurso para projetos de Habitação Unifamiliar de Interesse Social. O objetivo desse concurso é aumentar a qualidade de vida dos moradores dessas residências e promover a sustentabilidade das edificações de interesse social. Poderão

participar profissionais das áreas de arquitetura, urbanismo, design de interiores e engenharia. Você e um grupo de amigos formaram uma equipe de arquitetos, designer e engenheiros para elaborar esse projeto. Ficou sob sua responsabilidade a análise da adequação do projeto proposto às condições climáticas da cidade onde será implantado.

Para encarar esse desafio e aumentar as chances de ganhar esse concurso, você deve realizar algumas pesquisas e estudos específicos:

• Na Seção 2.1 você identificará o tipo de clima da capital do seu estado e a zona bioclimática em que a cidade se encontra. Além disso, você escolherá um projeto de habitação de interesse social vencedor de algum concurso nacional.

• Na Seção 2.2 você fará o estudo das condições de ventilação do projeto escolhido e verificará se estão adequadas para a cidade. Você também irá averiguar se o projeto está atendendo às demais estratégias bioclimáticas indicadas para a capital.

• Na Seção 2.3, por meio do software ZBBR, você descreverá as estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade em questão. Utilizando o software Analisys Bio, você fará a avaliação bioclimática da cidade e irá compará-la com os resultados obtidos no ZBBR.

Depois de realizar todas essas etapas, você apresentará para a sua equipe de trabalho um relatório com o resultado dos levantamentos e análises realizados nas Seções 2.1, 2.2 e 2.3. No seu relatório, você deverá responder às seguintes perguntas:

Qual o clima e zona bioclimática em que está inserida a sua cidade? Quais são as condições de ventilação existentes no projeto? Quais estratégias bioclimáticas indicadas para a sua cidade?

As respostas a essas perguntas mostrarão se o projeto está ou não adequado para aquela cidade

Vamos colocar os conhecimentos adquiridos em prática? Não se esqueça de que, para obter os melhores resultados, você deve se dedicar plenamente nos três momentos didáticos: pré-aula, aula e pós-aula.

Bons estudos!

Seção 2.1

Bioclimatologia e o ambiente construído

Diálogo aberto

Nesta seção, nós estudaremos mais detalhadamente os conceitos de bioclimatologia e arquitetura bioclimática, apresentados na Unidade 1. Você conhecerá os tipos de clima existentes no Brasil, o zoneamento bioclimático brasileiro e a sua importância para a elaboração de projetos adaptados ao clima. Além disso, aprenderá quais as estratégias bioclimáticas indicadas para cada zona bioclimática do Brasil e suas aplicações.

Um concurso para o projeto de Habitação Unifamiliar de Interesse Social foi lançado pela prefeitura da capital do seu estado. O concurso visa melhorar a qualidade de vida dos moradores e promover a sustentabilidade e a eficiência energética das edificações de interesse social. Você e um grupo de amigos formaram uma equipe para participar do concurso. Você ficou responsável pela análise bioclimática do projeto. Nesta primeira etapa, você precisa levantar alguns dados importantes em relação ao local e ao projeto, que são:

- Qual a capital do seu estado? Qual o tipo de clima da cidade?
- Em qual zona bioclimática a cidade está?
- Selecione um projeto de habitação de interesse social vencedor de algum concurso nacional e adote-o como se fosse o projeto de sua equipe.

Não pode faltar

Desde os primeiros abrigos construídos pelo homem, o clima tem sido decisivo na determinação das características dos espaços produzidos. Como vimos na Unidade 1, ao longo dos séculos, o homem empregou os conhecimentos climáticos e geográficos para resolver as questões construtivas, produzindo soluções arquitetônicas distintas nas diversas regiões do planeta. As características arquitetônicas regionais demonstram um profundo conhecimento das variáveis climáticas e sua interação com o ser humano, pois costumam ser eficientes em proteger e proporcionar ambientes termicamente confortáveis.

Assimile

A bioclimatologia estuda a influência do clima sobre os seres vivos, inclusive sobre os seres humanos. Fazendo uso dos conhecimentos gerados por essa área de estudo e relacionando-os às questões arquitetônicas pode-se criar ambientes adaptados ao clima local e ao ser humano. Chamamos esse tipo de **solução de arquitetura bioclimática**, derivada da expressão **projeto bioclimático**, criada pelos irmãos Olgyay (1973).

Buscando proporcionar ambientes com maior conforto térmico, a arquitetura bioclimática emprega estratégias projetuais que adequam a arquitetura ao clima, tanto tirando partido das condições climáticas, como atenuando as condições mais hostis. Além de conceber edificações com desempenho térmico adequado, a arquitetura bioclimática também tem por objetivo a eficiência energética do ambiente construído.

A arquitetura e o design de interiores devem ter como objetivo projetar espaços que diminuam o desconforto causado por climas severos e propiciem ambientes confortáveis, como os locais ao ar livre dos climas mais amenos. Para criar espaços que ofereçam às pessoas condições de conforto é preciso conhecer as variáveis climáticas características da região onde se fará um projeto e também distinguir aquelas que mais interferem no comportamento térmico dos ambientes construídos: a oscilação diária e anual da temperatura e umidade do ar, a quantidade de radiação incidente, o grau de nebulosidade do céu, o sentido e época predominantes dos ventos e os índices pluviométricos (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A **temperatura do ar** é a principal variável do conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Ela indica o estado térmico da atmosfera que pode variar em função das massas de ar (ventos), da umidade do ar e da radiação solar. O aumento da temperatura ocorre por um processo indireto, a **radiação solar** (onda eletromagnética curta) atinge o solo e/ou as superfícies construídas em que é absorvida em parte e transformada em calor.

A quantidade de radiação que atinge o solo e as superfícies construídas depende do recobrimento e da espessura das nuvens no céu, ou seja, da **nebulosidade**. De acordo com sua quantidade e densidade ela impedirá a passagem de uma parte da radiação solar direta, além de dificultar a dispersão na atmosfera do calor dissipado das superfícies construídas durante a noite.

A **umidade do ar** influencia diretamente a amplitude térmica (variação entre as temperaturas mínima e máxima em um dia) e a temperatura também influi na umidade do ar. Ela é regulada pela vegetação e pelo ciclo hídrico.

Em uma mesma região climática podem existir grandes variações no comportamento da movimentação do ar. Os **ventos**, em geral, têm predominância de direção, frequência e velocidade de acordo com o local e a época do ano. Fazendo o uso de diagramas, como a rosa-dos-ventos, é possível que se saiba previamente essas probabilidades de ocorrência em cada cidade. Dessa forma, o arquiteto ou o designer de interiores terá a oportunidade de se beneficiar dessas informações, aproveitando ou evitando os ventos predominantes de acordo com as caraterísticas climáticas do lugar.

Exemplificando

Em um local de clima quente e úmido, o projetista pode projetar aberturas orientadas para o vento predominante, captando, dessa forma, ar mais fresco do exterior para diminuir a temperatura interna e acelerar a evaporação da umidade excessiva. Por outro lado, em regiões de clima frio ou com predominância de ventos com alta velocidade, o arquiteto evitará a colocação de janelas voltadas para a direção dos ventos indesejados, mantendo, assim, o conforto térmico no interior da edificação.

Carta bioclimática para edifícios de Givoni

A partir de 1963, foram desenvolvidos diversos métodos diretos de projetos bioclimáticos aplicados à edificação, chamados de cartas bioclimáticas.

Os irmãos Olgyay foram os precursores nos estudos em bioclimatologia, propondo, em 1963, o primeiro diagrama bioclimático, conhecido como Carta Bioclimática de Olgyay, que sugeria estratégias de adaptação da edificação ao clima, com base nas condições climáticas externas. No gráfico, a zona de conforto se situa ao centro e os elementos climáticos são indicados por curvas ao redor, fornecendo as medidas necessárias de correção para que se reestabeleça a sensação de conforto térmico em qualquer ponto fora da zona de conforto. O processo de definição da zona de conforto é complexo e varia de acordo com a região geográfica, com os indivíduos, o tipo de vestimenta, as atividades desenvolvidas, o sexo e a idade. O método de Olgyay mostrou-se limitado, porém

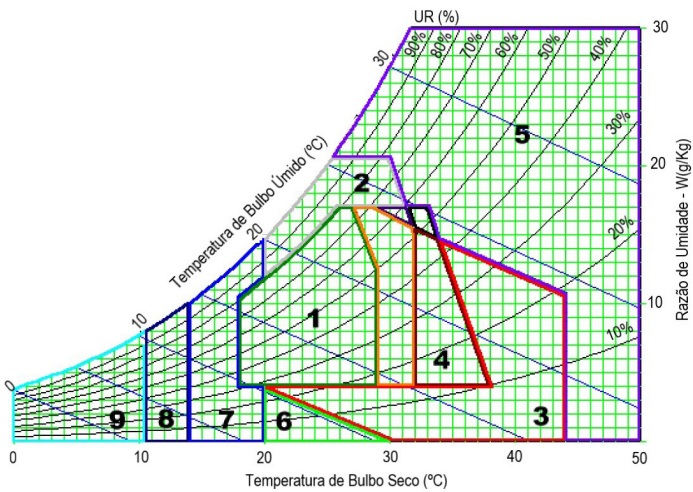
muito importante por ser o pioneiro nesse tipo de metodologia (BOGO et al., 1994).

Atualmente, utiliza-se a Carta Bioclimática de Givoni (1992), considerada a mais adequada para o clima brasileiro. A Carta Bioclimática foi proposta por Givoni originalmente em 1969 e aperfeiçoada mais recentemente em 1992.

A Carta Bioclimática para Edifícios, criada em 1969 por Givoni, corrigia algumas limitações da carta proposta por Olgyay. A carta de Givoni é uma adaptação da carta psicrométrica, que conhecemos na Unidade 1, que propõe estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima. Em 1992, o pesquisador desenvolveu um diagrama bioclimático adaptado aos países em desenvolvimento, em que o clima é mais quente e as pessoas estão mais acostumadas a grandes variações de temperatura e velocidade do ar. Nessa carta, os limites máximos de conforto foram expandidos em relação à anterior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A Figura 2.1 apresenta a Carta Bioclimática de Givoni (1992) adaptada aos países em desenvolvimento. Ela foi construída sobre o diagrama psicrométrico, relacionando a temperatura do ar e a umidade relativa, e está dividida em nove zonas, cada uma associada a uma estratégia de projeto que, se aplicadas, servirão de ponto de partida para o projeto bioclimático.

Figura 2.1 | Carta Bioclimática para Edifícios



Fonte: adaptado de Givoni (1992).

Ao se traçar os dados climáticos (temperatura e umidade relativa do ar) na carta, determina-se a zona bioclimática em que a cidade está inserida. A partir do conhecimento de variáveis climáticas nos principais períodos do ano, é possível determinar as estratégias bioclimáticas a serem adotadas no projeto de ambientes em determinada localidade.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), as Zonas podem ser descritas da seguinte forma:

1. Zona de conforto: com as condições climáticas que se situem nos pontos dentro dessa região, é bem provável que as pessoas tenham a sensação de conforto térmico. A sensação de conforto térmico pode ser alcançada quando a umidade relativa varia entre 20% e 80% e a temperatura de 18°C a 29°C.

2. Zona de ventilação: estratégia de resfriamento natural do ambiente construído pela substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio). Soluções arquitetônicas: ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação.

3. Zona de resfriamento evaporativo: estratégia para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a temperatura. Esse resfriamento pode ser obtido de forma direta ou indireta. Direto: uso de vegetação, fontes de água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água no ambiente. Indireto: obtido através de tanques de água sombreados executados sobre a laje de cobertura.

4. Zona de massa térmica (inércia térmica) para resfriamento: componentes construtivos com inércia térmica superior fazem com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação ao exterior. Indicados para climas quente e seco, em que a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite.

5. Zona de ar condicionado ou resfriamento artificial: utilizada quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas de conforto.

6. Zona de umidificação: recomendada quando a temperatura do ar é menor do que 27 °C e a umidade relativa abaixo de 20%. Recipientes com água no ambiente interno aumentam a umidade relativa do ar, aberturas herméticas podem manter a umidade, além do vapor d'água gerado por atividades domésticas ou produzido por plantas.

7. Zona de massa térmica (inércia térmica) e aquecimento solar passivo: o uso de elementos construtivos com maior inércia térmica, aquecimento solar passivo e isolamento térmico, que evitam perdas de calor –a temperatura dessa zona fica entre 14 °C e 20 °C.

8. Zona de aquecimento solar passivo: adotada em baixas temperaturas do ar. São superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação para evitar perdas de calor. Estratégias: orientação adequada, cores que maximizem os ganhos de calor, abertura zenital, coletores de calor no telhado e isolamento para reduzir perdas térmicas.

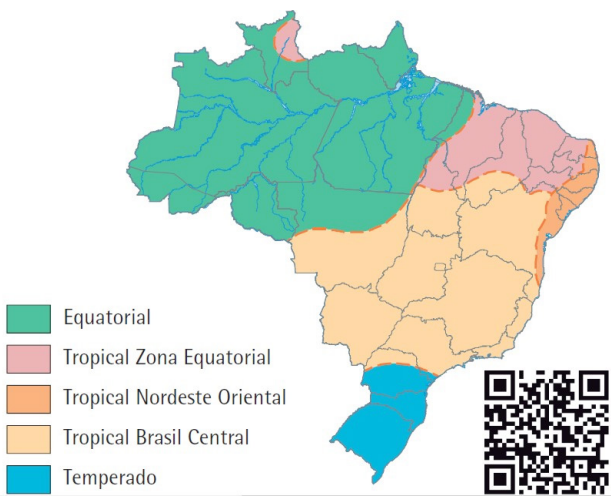
9. Zona de aquecimento artificial: utilizada em locais extremamente frios, com temperatura inferior a aproximadamente 10,5 °C, em que a estratégia de aquecimento solar passivo não seja suficiente. Deve-se usar isolamento nas paredes e coberturas dos ambientes aquecidos para evitar perdas de calor para o ambiente externo.

Zonas climáticas do Brasil

O conhecimento das características climáticas das diversas regiões do país é importante para podermos fazer nossas escolhas projetuais em busca de ambientes adaptados ao clima.

O Brasil, por ser um país de dimensões continentais e estar situado entre os trópicos, apresenta grande diversidade climática, variando desde climas quentes e secos, quentes e úmidos a climas frios e úmidos. Existem diversos modelos de classificação dos climas brasileiros. O IBGE adota uma subdivisão simplificada em cinco Zonas Climáticas (Figura 2.2).

Figura 2.2 | Subdivisão climática brasileira



Fonte: adaptado de <https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2017.

De acordo com essa subdivisão, os climas são classificados em: Equatorial, Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Central e Temperado.

O clima **Equatorial**, que prevalece nas regiões da Amazônia, no oeste do Maranhão e no norte do Mato Grosso, tem como principais características temperatura e umidade altas durante todo o ano. A temperatura média anual é de 26 °C.

O clima **Tropical Zona Equatorial** – característico do Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, Maranhão, Tocantins, Piauí, leste de Roraima e oeste da Paraíba – possui temperaturas elevadas e com pouca variação. O inverno é seco ou com poucas chuvas e o verão é chuvoso. A temperatura média anual é de 25 °C.

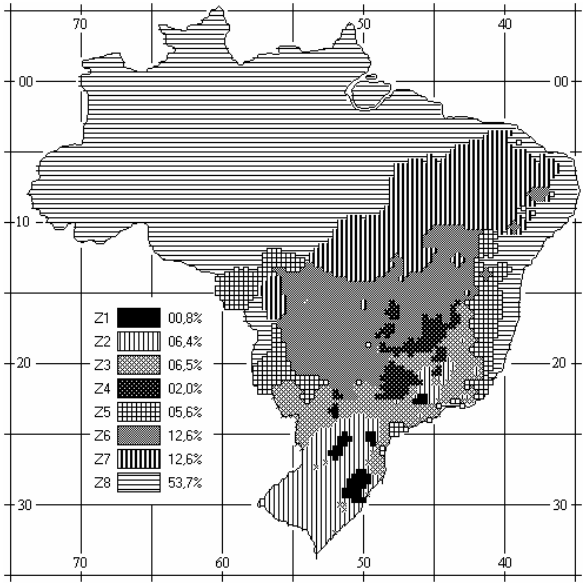
O clima **Tropical Nordeste Oriental**, predominante no litoral nordestino, caracteriza-se por temperaturas altas (temperatura média anual de 25 °C), verão seco e inverno chuvoso. Enquanto isso, o clima **Tropical Brasil Central** predomina em São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Bahia, sul de Tocantins, norte do Paraná e sul do Piauí. Tem como principais características verões quentes e chuvosos e inverno com frio moderado e seco. A temperatura média anual é de 20 °C.

Por fim, no clima temperado, com menor ocorrência no Brasil, os verões são amenos, os invernos frios e as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano. A temperatura média anual é de 19 °C, embora em regiões serranas possam ocorrer geadas e até mesmo neve durante o inverno.

Zoneamento bioclimático brasileiro

A Norma Brasileira NBR 15220-3 (Desempenho térmico de edificações: subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em 8 zonas bioclimáticas) apresenta recomendações projetuais que visam o melhor desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social. Nela se estabelece o Zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o território nacional em oito zonas bioclimáticas. Para cada zona, foi formulado um conjunto de diretrizes construtivas que melhoram o desempenho térmico das edificações, por meio da adequação da arquitetura às condições climáticas (ABNT, 2005). As diretrizes propostas são chamadas de Estratégias Bioclimáticas e foram formuladas a partir da adaptação da Carta Bioclimática de Givoni (1992).

Figura 2.3 | Zonas bioclimáticas definidas pela norma Desempenho Térmico de Edificações



Fonte: ABNT (2005).

Para cada uma das oito zonas são indicadas estratégias projetuais e construtivas, adequadas ao clima local, a serem adotadas nas edificações em busca do conforto térmico do usuário e de maior eficiência energética da edificação. Vamos conhecer as recomendações para as zonas bioclimáticas brasileiras? A Tabela 2.1 apresenta, de forma resumida, as principais estratégias indicadas para cada zona.

Tabela 2.1 | Zonas bioclimáticas brasileiras e suas respectivas estratégias bioclimáticas

Zona bioclimática	Estratégias bioclimáticas
Zona 1	**Inverno**: aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica); permissão da insolação dos ambientes; aquecimento artificial.
Zona 2	**Inverno**: aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica); permissão da insolação dos ambientes; aquecimento artificial. **Verão**: ventilação cruzada.
Zona 3	**Inverno**: aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica), permissão da insolação dos ambientes. **Verão**: ventilação cruzada.

Zona 4	**Inverno**: aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica). **Verão**: resfriamento evaporativo; massa térmica para resfriamento; ventilação seletiva.
Zona 5	**Inverno**: vedações internas pesadas (inércia térmica). **Verão**: ventilação cruzada.
Zona 6	**Inverno**: vedações internas pesadas (inércia térmica). **Verão**: resfriamento evaporativo; massa térmica para resfriamento; ventilação seletiva.
Zona 7	**Verão**: resfriamento evaporativo; massa térmica para resfriamento; ventilação seletiva; sombreamento das aberturas; refrigeração artificial.
Zona 8	**Verão**: ventilação cruzada permanente; sombreamento das aberturas; refrigeração artificial.

Fonte: elaborada pelo autor.

Pesquise mais

Para aprofundar o seu conhecimento sobre o tema, sugerimos a leitura da Norma Brasileira NBR 15220-3, seção *Desempenho Térmico de Edificações*: subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em 8 zonas bioclimáticas, páginas 1-11.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações**. NBR 15220-3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

Na próxima seção, conheceremos mais detalhadamente o comportamento do fluxo de ar no interior da edificação e veremos como o vento é uma poderosa estratégia bioclimática. Na última seção desta unidade, retomaremos o aprendizado que iniciamos nesta seção a respeito das estratégias bioclimáticas e aprenderemos como aplicá-las no projeto de interiores, buscando o conforto térmico e a eficiência energética do ambiente construído.

Reflita

Como vimos nesta seção, a arquitetura bioclimática é fundamental para o conforto térmico e eficiência energética da construção. Cada vez mais vemos soluções construtivas semelhantes em diversas localidades do país e do mundo. Por que isso ocorre se cada tipo de clima exige estratégias bioclimáticas diferenciadas?

Sem medo de errar

O escritório de Arquitetura e Design de Interiores em que você trabalha está participando de um concurso para escolha de um projeto de habitação social que será implantado na capital do seu estado. Você ficou encarregado de analisar a adequação desse projeto às características climáticas da cidade para que sua equipe proponha uma habitação com o conceito de arquitetura bioclimática.

Para tanto, você deve: identificar o tipo de clima da capital do seu estado; identificar a zona bioclimática em que a cidade se encontra; e escolher um projeto de habitação de interesse social vencedor de algum concurso nacional.

Você poderá identificar o tipo de clima da capital do seu estado consultando a Figura 2.2, que apresenta um mapa do Brasil com a divisão climática de acordo como IBGE (2002): localize no mapa a cidade (capital do estado) e identifique, pela cor e legenda, qual o clima do local.

A identificação da zona bioclimática da cidade em questão poderá ser feita consultando o Anexo A da NBR 15220-3 (Desempenho Térmico de Edificações: subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em 8 zonas bioclimáticas, ABNT, 2005). A primeira coluna (UF) indica a Unidade Federativa a que a cidade pertence e a quarta coluna (zona) indica a zona bioclimática na qual a cidade está inserida.

Por fim, a escolha de um projeto vencedor de concurso para habitação de interesse social no Brasil ficará a seu critério. Você poderá procurar esse projeto em sites como os indicados a seguir: *Arch Daily*, disponível em: <http://www.archdaily.com.br/>; *Concursos de Projeto*, disponível em: <https://concursosdeprojeto.org/tag/habitacao-social/>; *CAU/BR – Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil*, disponível em: <http://www.caubr.gov.br/> (acessos em: 19 nov. 2017).

Avançando na prática

Clima e estratégias bioclimáticas para edificações residenciais em Cuiabá (MT)

Descrição da situação-problema

Um casal de amigos seus está se mudando para Cuiabá (MT). Preocupados com a fama que a cidade tem, de ser extremamente quente, eles o procuraram para pedir sua orientação na escolha da casa em que morarão. Para isso, você pesquisou alguns detalhes sobre o clima e a necessidade do uso de tecnologias passivas de condicionamento do ar.

Com base no aprendizado obtido nesta seção, indique:

a) A classificação climática da cidade, segundo o IBGE.

b) A zona bioclimática de Cuiabá (MT), de acordo com a NBR 15220-3.

c) As estratégias bioclimáticas indicadas pela NBR 15220-3 para a cidade, segundo a sua zona bioclimática.

Resolução da situação-problema

a) A cidade de Cuiabá, segundo a classificação climática simplificada do IBGE, tem as características do clima **Tropical Brasil Central**, que predomina em São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Bahia, sul de Tocantins, norte do Paraná e sul do Piauí. Tem como principais características verões quentes e chuvosos e inverno com frio moderado e seco.

b) No mapa de zoneamento bioclimático brasileiro (NBR 15220-3) a cidade de Cuiabá está situada na Zona 7.

c) Para a Zona 7, as estratégias bioclimáticas indicadas são resfriamento evaporativo, massa térmica para resfriamento, ventilação seletiva, sombreamento das aberturas e refrigeração artificial. Todas essas estratégias são indicadas para o verão – no período do inverno nenhuma estratégia é indicada.

Faça valer a pena

1. A NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações Parte 3 (ABNT, 2005), propõe a subdivisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, chamadas de zonas bioclimáticas brasileiras. Além do zoneamento bioclimático do país, a norma brasileira também indica estratégias bioclimáticas para cada uma das oito zonas. A esse respeito, analise as seguintes afirmações:

I. A parte 3 da NBR apresenta recomendações em relação ao desempenho térmico de habitações unifamiliares, de interesse social, a serem aplicadas na fase projetual.
II. Essa parte da NBR 15220-3 faz uma classificação do território nacional em áreas habitáveis e não habitáveis, de acordo com as características climáticas do local.
III. Ao mesmo tempo em que constitui um zoneamento bioclimático brasileiro, a parte 3 da NBR 15220-3 aponta diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico.

Escolha a alternativa que aponta quais são as afirmações VERDADEIRAS quanto à parte 3 da NBR 15220-3.

a) Somente a afirmação III.
b) Somente as afirmações I e II.
c) Somente as afirmações II e III.
d) Somente as afirmações I e III.
e) As afirmações I, II e III.

2. Conhecer as propriedades do clima de uma região é importante para que se faça projetos de edificações adaptadas ao clima, o que trará como benefícios maior satisfação do usuário, em decorrência do conforto térmico, e maior eficiência energética pelo uso de tecnologias passivas de condicionamento de ar.

De acordo com a subdivisão climática simplificada adotada pelo IBGE, o Brasil possui cinco tipos de clima diferentes, que são: Equatorial, Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Central e Temperado.

Assinale a alternativa que descreve corretamente as características dos climas brasileiros.

a) **Equatorial**: temperatura e umidade altas durante todo o ano. **Tropical Zona Equatorial**: temperaturas altas e com pouca variação, inverno seco e verão chuvoso. **Tropical Nordeste Oriental**: temperaturas altas, com verão seco e inverno chuvoso. **Tropical Brasil Central**: verão quente e seco e inverno frio e chuvoso. **Temperado**: verão e inverno frios e secos.
b) **Equatorial**: temperatura baixa e umidade alta durante todo o ano. **Tropical Zona Equatorial**: temperaturas altas e com pouca variação, inverno seco e verão chuvoso. **Tropical Nordeste Oriental**: temperaturas altas, com verão seco e inverno chuvoso. **Tropical Brasil Central**: verão quente e chuvoso e inverno moderadamente frio e seco. **Temperado**: verão quente e úmido e inverno frio e seco
c) **Equatorial**: temperatura e umidade baixas durante todo o ano. **Tropical Zona Equatorial**: temperaturas altas e com pouca variação, inverno seco e verão chuvoso. **Tropical Nordeste Oriental**: temperaturas altas, com verão seco e inverno chuvoso. **Tropical Brasil Central**: verão quente e chuvoso e inverno moderadamente frio e seco. **Temperado**: verão quente e inverno moderadamente frio.
d) **Equatorial**: temperatura e umidade altas durante todo o ano. **Tropical Zona Equatorial**: inverno quente e seco e verão quente chuvoso. **Tropical Nordeste Oriental**: temperaturas baixas, com verão seco e inverno chuvoso. **Tropical Brasil Central**: verão quente e chuvoso e inverno quente e seco. **Temperado**: verão e inverno frios, com umidade alta.
e) **Equatorial**: temperatura e umidade altas durante todo o ano. **Tropical Zona Equatorial**: temperaturas altas e com pouca variação, inverno seco e verão chuvoso. **Tropical Nordeste Oriental**: temperaturas altas, com verão seco e inverno chuvoso. **Tropical Brasil Central**: verão quente e chuvoso e inverno moderadamente frio e seco. **Temperado**: temperatura moderada no verão e inverno frio, chuvas são bem distribuídas ao longo do ano.

3. Para se desenvolver projetos com o conceito de arquitetura bioclimática, devem ser utilizadas estratégias projetuais de acordo com as características climáticas do local. A Carta Bioclimática de Givoni (1992) propõe estratégias para adequação da arquitetura ao clima. Ela foi construída sobre o diagrama psicrométrico, relacionando a temperatura e a umidade relativa do ar, e está dividida em nove zonas, cada uma associada a uma estratégia de projeto bioclimático.

Imagine que uma cidade tem a temperatura média anual de 40 ºC e umidade relativa do ar de 40%. Considerando essas características, em qual zona da Carta Bioclimática de Givoni essa cidade se insere e que tipos de estratégias são indicados para se obter condições de conforto ambiental?

a) A cidade encontra-se dentro da zona 1, Zona de Conforto. Nessas condições climáticas, há grande probabilidade de que as pessoas estejam em conforto térmico. Portanto, não existem estratégias indicadas para essa região da Carta Bioclimática.
b) A cidade em questão encontra-se na zona 3, Zona de Resfriamento Evaporativo. Nessas condições devem ser usadas estratégias para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a temperatura.
c) Nessas condições climáticas a cidade estaria na zona 4, Zona de Massa Térmica (Inércia Térmica) para Resfriamento. Nesses locais é indicado o uso de componentes construtivos, com inércia térmica superior, para que haja diminuição da amplitude térmica interior.
d) O local encontra-se na zona 6, Zona de Umidificação. Para essas regiões, recomenda-se o uso de dispositivos que aumentem a umidade no interior da edificação e que impeçam a sua saída.
e) A cidade em questão estaria dentro da zona 8, Zona de Aquecimento Solar Passivo. Deve-se orientar corretamente as aberturas para que haja ganho de calor por insolação/radiação direta e também deve haver isolamento para reduzir perdas térmicas.

Seção 2.2

Ventilação natural como elemento bioclimático: conceito e aplicações

Diálogo aberto

Nesta seção, abordaremos a ventilação natural como importante estratégia bioclimática em busca de ambientes adaptados ao homem e com baixo consumo de energia elétrica. Você conhecerá os tipos de ventilação natural existentes e aprenderá como tirar partido deles para projetar ambientes que se beneficiem da ventilação passiva.

A equipe do escritório de arquitetura e design se inscreveu para participar de um concurso para escolha do melhor projeto de habitação de interesse social para a capital do seu estado. Ficou sob sua responsabilidade a análise da adequação do projeto proposto às condições climáticas da cidade em que será implantado.

Nesta etapa, você analisará se a ventilação natural da unidade habitacional proposta está adequada para essa cidade.

• Qual a ventilação predominante na cidade no outono, no inverno, na primavera e no verão?

• Como é o fluxo de ventilação dentro da residência em estudo, nas quatro estações? Demonstre o fluxo de ar existente por meio de esquemas que representem como essa ventilação acontece.

• Você acha que a ventilação na edificação está adequada para o clima da cidade?

Vamos ao aprendizado e à prática!

Não pode faltar

A ventilação produz a renovação do ar interno e é importante para a higienização do ambiente, no inverno e no verão, e para o conforto térmico no verão. A ventilação natural é uma estratégia fundamental para a refrigeração passiva de edificações em regiões de clima quente.

Reflita

Ao estudarmos as estratégias bioclimáticas apontadas pela NBR 15220-3, verificamos que a ventilação natural é indicada para 7 das 8 zonas bioclimáticas do Brasil. Se a maior parte do território brasileiro precisa da ventilação passiva, por que nós ouvimos falar tão pouco sobre esse assunto? Por que cada dia mais presenciamos a construção de edifícios com as fachadas compostas inteiramente por vidros fixos?

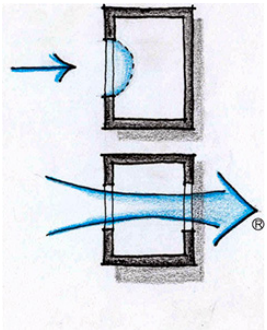
Em climas quentes, o movimento de ar pode ser usado com dois objetivos: 1) resfriar o edifício aquecido pela radiação solar e pelos ganhos de calor internos; 2) resfriamento fisiológico, por meio do efeito refrescante da evaporação do suor da pele e das trocas de calor por convecção.

Os sistemas de ventilação passiva dependem das diferenças de pressão do ar para que haja movimento do ar fresco através das edificações. Essas diferenças de pressão podem ser determinadas pela ação dos ventos ou pela diferença de densidade do ar. Assim, a força dos ventos causa a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação cruzada. Enquanto a diferença da densidade do ar, consequência de temperaturas do ar desiguais, causa a ventilação por efeito chaminé. Dessa forma, a ventilação passiva ocorre por dois mecanismos: a Ventilação Cruzada e o Efeito Chaminé.

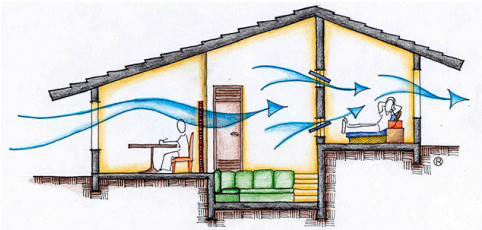
Assimile

Na ventilação cruzada são utilizados os efeitos da pressão negativa e positiva exercidas pelo vento sobre a construção. Para que a ventilação natural seja adequada, é necessário que as aberturas estejam situadas em zonas de pressão contrárias. Ao agilizar as trocas térmicas por convecção, a ventilação cruzada favorece a retirada do calor do ambiente. Há, ainda, o aumento da sensação de conforto térmico dos usuários do local em consequência da elevação dos níveis de evaporação da transpiração.

Figura 2.4 | Ventilação cruzada em planta e em corte



(a)



(b)

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017). Disponível em: (a) <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/ventilacao-cruzada/?cod=vn>; (b) <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/ventilacao-cruzada-plantas-abertas/?cod=vn>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Na ventilação por efeito chaminé, a movimentação do ar é causada pela diferença de densidade do ar, ou seja, o ar mais quente tende a subir e o mais frio tende a ficar na parte mais baixa do ambiente. Quando existem aberturas de entrada e saída em diferentes alturas, ocorre um fluxo de ar para o alto, o ar mais quente é retirado do ambiente pela abertura de cima, enquanto o ar mais fresco entra pela abertura mais baixa.

Figura 2.5 | Ventilação por efeito chaminé

Fonte: adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 270).

Ambas estratégias podem ser usadas de forma isolada ou conjunta em ambientes dentro de uma edificação, no entanto, é preciso que haja um estudo criterioso para evitar a soma de forças do vento, o que pode acabar prejudicando a ventilação do ambiente.

Os projetos que se valem da ventilação passiva como estratégia de refrigeração natural devem considerar as atividades que serão desenvolvidas no ambiente, as características climáticas do local, a frequência e a velocidade predominantes dos ventos, o relevo e as construções do entorno.

Ventilação cruzada

A quantidade de ar que atravessa o ambiente varia de acordo com o tamanho das entradas e saídas de ar, com a direção e com velocidade do vento. Por isso, é importante que haja o estudo das condições do vento no local para que se faça o planejamento dos sistemas de ventilação natural durante o processo de projeto dos espaços internos, garantindo a qualidade térmica do ambiente. A distribuição do fluxo de ar no interior da construção depende de requisitos específicos de cada projeto, por isso é preciso entender o comportamento do vento em função da localização, da dimensão e do tipo (forma e configuração) das aberturas de entrada de ar na parede.

A quantidade de ar que entra e sai do ambiente e a forma como ele flui através do espaço interno tem relação direta com a direção externa de incidência do vento e a localização das aberturas de entrada e saída da corrente de ar. Por isso, o planejamento das aberturas em função da direção do vento é importante quando se projeta considerando a ventilação natural como estratégia bioclimática.

Primeiramente, é preciso conhecer a direção predominante dos ventos no local onde será feito o projeto; depois, deve-se posicionar as aberturas de entrada de ar de maneira que elas captem o vento para dentro do ambiente e também é necessário que haja uma ou mais aberturas de saída nas paredes adjacentes ou opostas às paredes de entrada. A ventilação cruzada é otimizada em ambientes com aberturas em três fachadas diferentes.

Pesquise mais

Para saber quais os ventos predominantes em uma determinada cidade, é preciso consultar as Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990, (INMET, 2009), por meio do link a seguir.

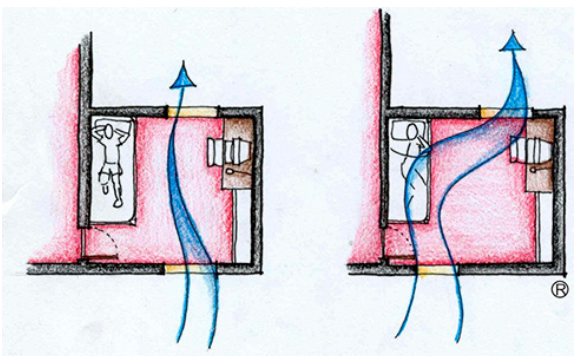
Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Selecionar no campo "Planilhas" a opção "Direção Predominante do vento" (você também poderá fazer o download direto dessa planilha por meio do link a seguir: <https://goo.gl/cYh7ke>. Acesso em: 22 nov. 2017).

A planilha fornece a direção predominante do vento em todos os meses do ano.

É necessário que seja analisado como o vento vai incidir nas aberturas, ou seja, se incidirá perpendicularmente à parede em que elas se localizam ou formando um ângulo diferente de 90 graus. Quando a incidência ocorre de maneira perpendicular à parede, alinhada à abertura de entrada, podem ocorrer duas situações, como mostra a Figura 2.6. No desenho à esquerda, no qual as aberturas de entrada e saída estão alinhadas entre si e em relação ao vento incidente, embora haja menor perda de energia e maior homogeneidade do fluxo de ar, nós percebemos que ele passa apenas pela área entre as janelas. Enquanto isso, na ilustração à direita, em que a abertura de entrada está alinhada à corrente de ar externa e desalinhada em relação à abertura de saída, o vento é induzido a mudar de direção dentro do ambiente para que encontre a abertura de saída, ocorrendo, nesse caso, a ventilação de uma área maior do espaço interno.

Figura 2.6 | Fluxo de ar determinado pela posição das aberturas de entrada e saída do vento



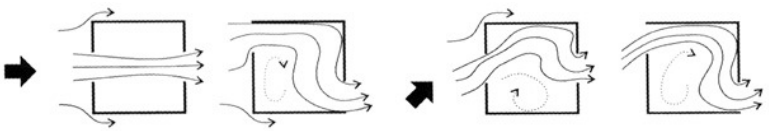
Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017). Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/ventilacao-cruzada-janelas/?cod=vn>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Quando as aberturas não são perpendiculares à direção dos ventos predominantes, o fluxo de ar sofre algumas modificações no seu percurso pelo interior do ambiente e também sofre redução da velocidade. Segundo Givoni (1976) e Watson e Labs (1983), quando

o ângulo de incidência do vento varia até 40° da perpendicular das aberturas, não se reduz significativamente a ventilação.

Na Figura 2.7 vemos diferentes situações em relação ao ângulo de incidência do vento e a abertura de entrada. Nota-se que, para aberturas alinhadas entre si e centralizadas, o ângulo de incidência diferente de 90^0 proporciona maior ventilação dentro do ambiente se comparado à incidência perpendicular. Para aberturas de entrada e saída desalinhadas, o vento perpendicular às aberturas parece produzir uma área ventilada maior que o vento em ângulo.

Figura 2.7 | Diferentes situações de incidência do vento: perpendicular e em ângulo em relação à abertura de entrada



Fonte: adaptado de Bittencourt e Cândido (2005).

Portanto, cabe ao arquiteto analisar qual situação é mais interessante para o projeto em questão. É importante considerar a localização do usuário no ambiente, para que ele possa ser beneficiado pela ventilação natural, além de verificar a velocidade dos ventos predominantes, para ver se precisa ser diminuída ou mantida.

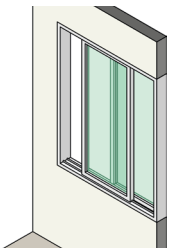
O volume da corrente de ar que passa por um ambiente é determinado pela dimensão das aberturas. Quanto maior forem as aberturas de entrada e de saída ar, maior será a troca de ar naquele ambiente.

Em ambientes cujas aberturas de entrada e saída são de tamanhos iguais, a velocidade interna do ar vai variar de acordo com a porosidade da construção. Quando se trata de aberturas de tamanhos diferentes, em que a entrada é menor do que a saída, a velocidade do ar é maximizada. No caso contrário, quando a abertura de entrada de ar é maior do que a abertura de saída, ocorre a redução do fluxo de ar devido à perda de energia por atrito.

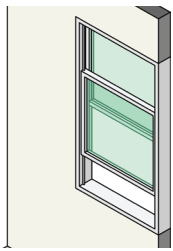
Em relação à forma das aberturas, as horizontais são mais eficientes, em todos os ângulos de incidência do vento, se comparadas às verticais e às quadradas. Elas distribuem de forma homogênea o fluxo de ar dentro do ambiente, proporcionando ampla circulação de ar.

A maneira como se abrem as janelas também influencia a direção e a velocidade do fluxo de ar. Podemos classificar as janelas em relação ao fluxo de ar em duas categorias: as que redirecionam a corrente de ar de entrada e as que não redirecionam o ar que entra no ambiente. O que determina essa funcionalidade de redirecionar ou não o ar que entra no espaço interno é o tipo de abertura da janela.

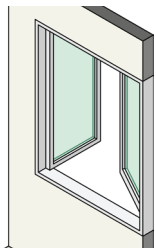
Figura 2.8 | Tipos de abertura das esquadrias



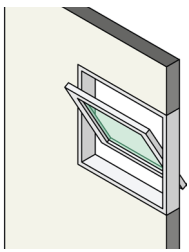
(a) Correr



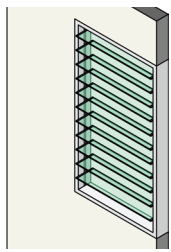
(b) Guilhotina



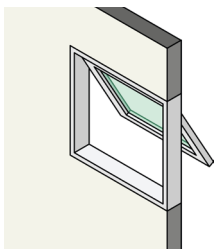
(c) Bandeira (de abrir)



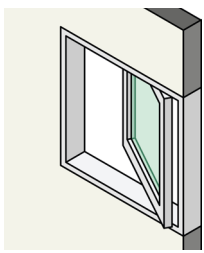
(d) Basculante (1 folha)



(e) Basculante (várias folhas)



(f) Maxim-ar



(g) Pivotante

Fonte: adaptado de (a): <http://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590296-80857321>; (b): <http://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590518-80857551>; (c): <http://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590582-80857631>; (d): <http://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590148-80857173>; (e): <https://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590454-80857451>; (f): <http://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590194-80857209>; (g): <http://www.istockphoto.com/br/vetor/janela-tipo-construC3%A7%C3%A3o-gm500590120-80857145>. Acessos em: 22 nov. 2017.

As esquadrias que operam no plano da parede, como as de correr, guilhotina e de bandeira (de abrir) não têm a capacidade de modificar o caminho que o vento faz dentro do ambiente. Já as janelas basculantes, pivotantes, venezianas móveis e maxim-ar, por terem a capacidade de rotação da folha de abertura, conseguem fazer essa alteração no fluxo de ar que entra no ambiente.

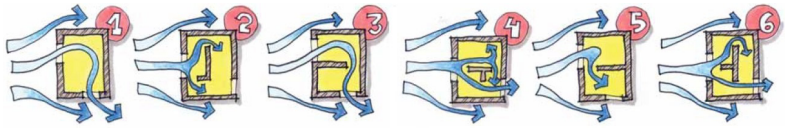
Exemplificando

As esquadrias de abertura basculante e as venezianas móveis, além de apresentarem alta capacidade de ventilação e homogeneidade do fluxo de ar, possuem uma grande flexibilidade no posicionamento de suas folhas, o que possibilita o direcionamento do vento para diversas áreas do ambiente, de acordo com a necessidade do usuário. O tipo de abertura maxim-ar é parecido com as do tipo basculante, porém é composta por uma única folha que projeta uma abertura de até 90^0, o que diminui um pouco a capacidade de redirecionar e distribuir de forma homogênea o ar que entra no ambiente. As janelas pivotantes têm menor capacidade de ventilação e homogeneidade da corrente de ar, porém são muito apropriadas quando a incidência do vento é paralela à abertura, pois conseguem captar o ar que não entraria no ambiente e redirecioná-lo para o local de interesse.

Existem, ainda, algumas esquadrias mistas, que associam dois tipos de abertura em uma mesma peça e, dessa forma, tornam seu uso mais flexível e eficiente para várias situações de ventilação.

Além dos fatores descritos anteriormente, a configuração interna das edificações também pode influenciar na maneira como ocorre a circulação do ar através dos ambientes. As divisões internas modificam o padrão do fluxo do ar dependendo da localização das aberturas nas divisórias. Quanto maior a fluidez do espaço, melhor será a circulação de ar nos ambientes interiores e entre eles e o exterior. A localização inadequada das paredes internas pode causar a distribuição inapropriada do fluxo de ar e queda na sua velocidade. Para facilitar a ventilação, as divisórias devem ser posicionadas de maneira que ofereçam pouca resistência ao fluxo. Por isso, durante a elaboração de um projeto, é importante prestar atenção em qual será o percurso do ar interno para evitar que paredes causem mudanças drásticas na direção do fluxo de ar interno.

Figura 2.9 | Percurso do fluxo de ar em função das divisórias internas



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Ventilação por efeito chaminé

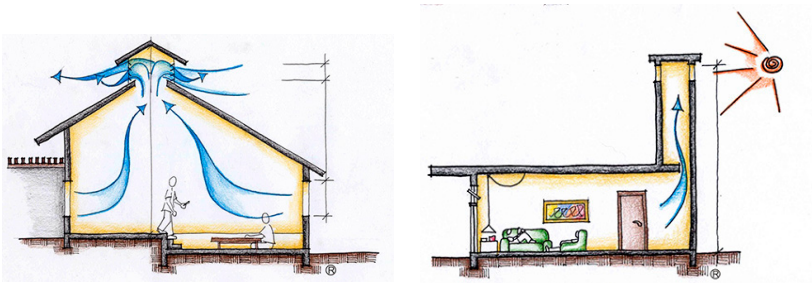
Agora que já conhecemos melhor a ventilação cruzada, determinada pela movimentação do ar através do ambiente, vamos entender como ocorre a ventilação por diferença de densidade do ar, consequência da diferença de temperatura do ar, mais conhecida como "efeito chaminé".

Em alguns tipos de clima, durante o ano todo ou em alguns períodos, a velocidade do vento é insuficiente para que haja a ventilação cruzada. Em outros casos, dependendo da orientação dos ventos e das fachadas nas quais é possível se colocar as aberturas, alguns ambientes não recebem ventilação suficiente por meio do movimento natural do ar. Nesses casos, pode-se tirar partido do efeito chaminé para provocar a ventilação e usá-la como estratégia de resfriamento passivo.

Como já vimos, no efeito chaminé o ar mais quente, menos denso, tem a tendência natural de subir, enquanto o ar mais frio, que é mais denso, tende a ocupar uma posição mais baixa do que o ar mais leve, o que gera correntes de convecção. Dessa forma, o ar passa a se movimentar dentro do ambiente e, se houver aberturas próximo ao piso e ao teto, o ar interno, mais quente, sairá pelas aberturas no alto, enquanto o ar externo, mais frio, entrará pelas aberturas baixas, havendo, assim, a troca do ar mais aquecido pelo mais fresco.

O volume do fluxo de ar varia de acordo com a distância vertical entre as entradas e as saídas de ar, com sua dimensão e com a diferença entre temperatura externa e interna. Quanto maior a distância entre as aberturas inferiores e superiores, maior será a eficiência da ventilação.

Figura 2.10 | Ventilação por efeito chaminé



(a) Lanternim (b) Chaminé de ventilação

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017). Disponível em: (a) e (b): <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/efeito-chamine/?cod=vn>. Acesso em: 22 nov. 2017.

A melhor ventilação alcançada pelo efeito chaminé ocorre se a dimensão da entrada e da saída forem iguais, pois, dessa forma, a abertura de saída oferece pouca ou nenhuma resistência ao fluxo de ar ascendente, permitindo que ele flua para o exterior livremente.

Quanto maior for a diferença entre a temperatura externa (mais baixa) e a interna (mais alta), maior será a velocidade e o fluxo de ar que atravessa o ambiente.

As saídas do ar mais quente podem estar localizadas tanto nas paredes, bem próximo do teto, quanto no nível do telhado ou acima dele. Os tipos de abertura mais utilizados são os lanternins, *sheds*, aberturas zenitais, exaustores eólicos, janelas basculantes, dentre outros. É importante que essas aberturas possam ser fechadas em locais onde o verão é quente, mas o inverno é frio.

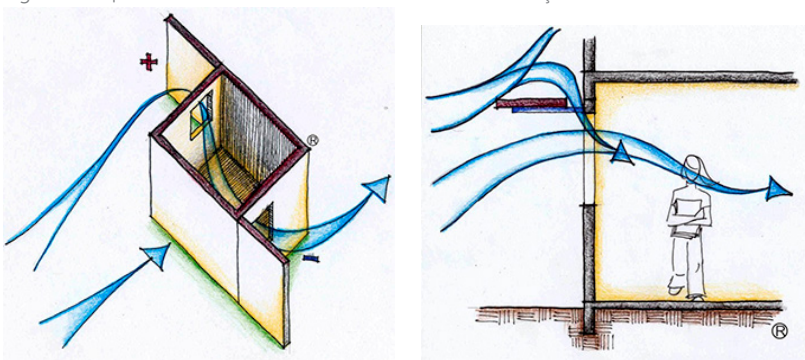
Quando a intenção for promover a ventilação por efeito chaminé, é preciso ter cuidado na hora de escolher a orientação das saídas de ar para que essas não atuem como entrada de ar. Caso as aberturas para ventilação localizadas no nível do telhado ou acima dele estiverem voltadas para os ventos predominantes, elas funcionarão como captores de vento, ou seja, o ar entrará pelas aberturas superiores e sairá pelas inferiores e ocorrerá a ventilação cruzada.

Elementos direcionadores e filtrantes da ventilação

A presença de elementos arquitetônicos e de vegetação na área externa, próximo às aberturas, podem atuar como barreira, filtro ou direcionador do vento.

Elementos verticais, como prolongamentos e extensões de paredes internas, protetores solares verticais ou elementos estruturais podem acentuar a ventilação interna. Eles podem ser usados para alterar a pressão ao redor das janelas mudando a configuração do fluxo interno, conforme apresentados pelas Figuras 2.11 (a) e 2.11 (b). Quando a incidência do vento é oblíqua à abertura, esses elementos atuam como captadores de ar, aumentando a ventilação cruzada dentro do ambiente. No entanto, se posicionados de forma equivocada, podem obstruir os ventos predominantes.

Figura 2.11 | Elementos estruturais acentuando a ventilação interna



(a) Elementos verticais (b) Elementos horizontais

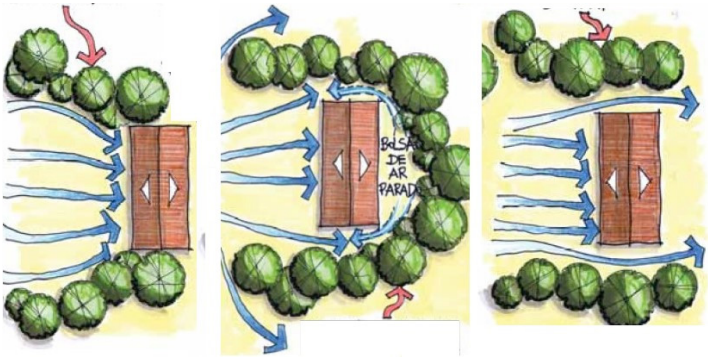
Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017). (a) e (b): <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/aumentando-o-diferencial-de-pressao/?cod=vn>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Varandas, beirais, marquises, brises e outros protetores solares horizontais, usados individualmente ou combinados com elementos verticais, também podem atuar na modificação do fluxo de ar interno, conforme apresentado na Figura 2.11 (b). Em edifícios térreos, por exemplo, beirais e varandas redirecionam a porção da corrente de ar, que seria desviada acima do edifício, para dentro do ambiente, aumentando a ventilação no espaço interno. Em edifícios altos, os elementos horizontais são usados para possibilitar escoamentos uniformes nos diversos pavimentos.

A vegetação no exterior da edificação também pode direcionar o ar para dentro do local. Tanto árvores como arbustos podem ser usados para determinar o fluxo de ar no ambiente interno ou para acelerar a velocidade do ar e criar corredores de vento. Os arbustos costumam afetar mais a ventilação interna do que as árvores de copa alta, por serem mais densos na altura das janelas. Também

é preciso ter cuidado com a posição da vegetação para que não formem barreiras aos ventos nos períodos mais quentes.

Figura 2.12 | Vegetação atuando no direcionamento do ar



Fonte: adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Os muros, as cercas e construções adjacentes também podem redirecionar o fluxo de entrada, porém, se estiverem muito próximos às construções, pode haver a redução do movimento do ar no interior delas. Quanto mais baixos e afastados das construções, menor a interferência sobre o vento que as atinge.

Sem medo de errar

Você fará o estudo das condições de ventilação do projeto escolhido e verificará se está adequada para a cidade. Você também irá averiguar se o projeto atende às demais estratégias bioclimáticas indicadas para a capital. Para cada cidade, haverá uma resposta diferente.

Assim, para cumprir essa tarefa, você deverá responder às seguintes questões:

• Qual a ventilação predominante na cidade no outono, no inverno, na primavera e no verão?

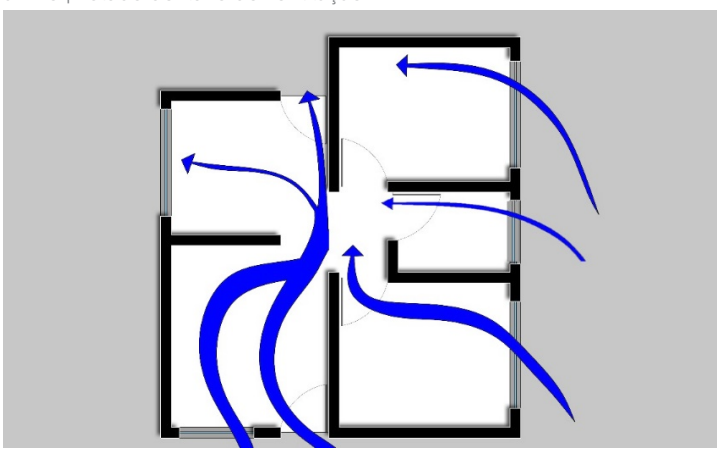
Essa pergunta poderá ser respondida por meio da consulta das Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990 (INMET, 2009), no site do INMET, disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 22 nov. 2017. Selecione, no campo "Planilhas", a opção "Direção Predominante do vento", para ter acesso a uma planilha com todas as cidades brasileiras, que fornece a direção predominante do vento em todos os meses do ano (essa planilha também pode ser acessada

diretamente pelo link a seguir: <https://goo.gl/cYh7ke>. Acesso em: 22 nov. 2017). Nela o aluno localizará a capital do seu estado e identificará as informações da direção predominante dos ventos nos meses referentes ao outono (abril, maio e junho), ao inverno (julho, agosto e setembro), à primavera (outubro, novembro e dezembro) e ao verão (janeiro, fevereiro e março).

• Como é o fluxo de ventilação dentro da residência em estudo, nas quatro estações? Demonstre o fluxo de ar existente por meio de esquemas que representem como essa ventilação acontece.

Você deverá imprimir ou desenhar a planta do projeto escolhido e fazer o estudo da ventilação dentro da habitação, desenhando esquematicamente o fluxo de ar que atravessa a construção, em cada estação do ano, assim como no exemplo a seguir (Figura 2.13). Lembre-se de que serão quatro desenhos distintos, um para cada estação do ano.

Figura 2.13 | Estudo de fluxo de ventilação



Fonte: elaborada pela autora.

• Você acha que a ventilação na edificação está adequada para o clima da cidade?

Para responder a essa questão, você deverá identificar, na NBR 15220-3, em qual Zona Bioclimática se encontra a capital do seu estado e verificar se, para aquela zona, uma das estratégias bioclimáticas apontadas é a ventilação natural. Em caso afirmativo, a construção deve estar bem ventilada (assim como na figura usada como exemplo).

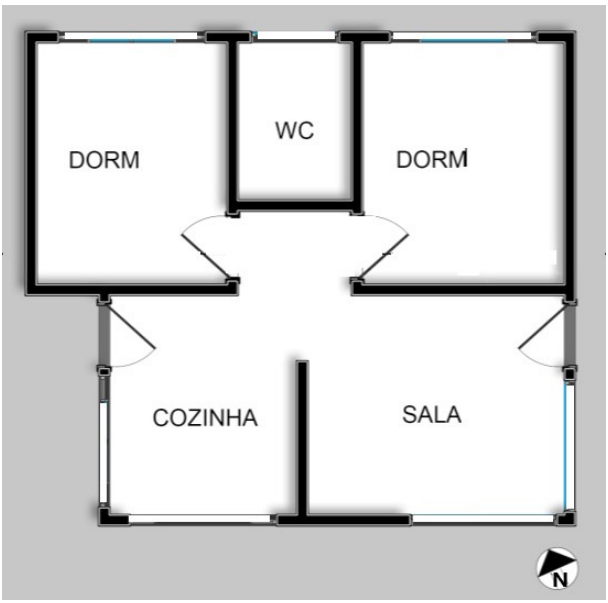
Avançando na prática

Análise da ventilação de uma residência unifamiliar

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para fazer o projeto de design de interiores de uma residência que ainda será construída. Antes de fazer o layout dos mobiliários dos ambientes, você achou viável fazer o estudo do fluxo de ventilação no interior da casa, pois ele será muito importante na determinação da funcionalidade dos ambientes. A sua cidade está localizada na Zona Bioclimática 5 e, segundo as Normais Climatológicas, a direção predominante dos ventos, durante todo o ano, é sudeste.

Figura 2.14 | Projeto residencial a ser analisado



Fonte: elaborada pela autora.

Para fazer o seu estudo do fluxo de ventilação no interior dessa casa, busque responder às seguintes questões:

1. Como é a circulação dos ventos dentro desse ambiente? Faça esquemas que representem como essa ventilação acontece.

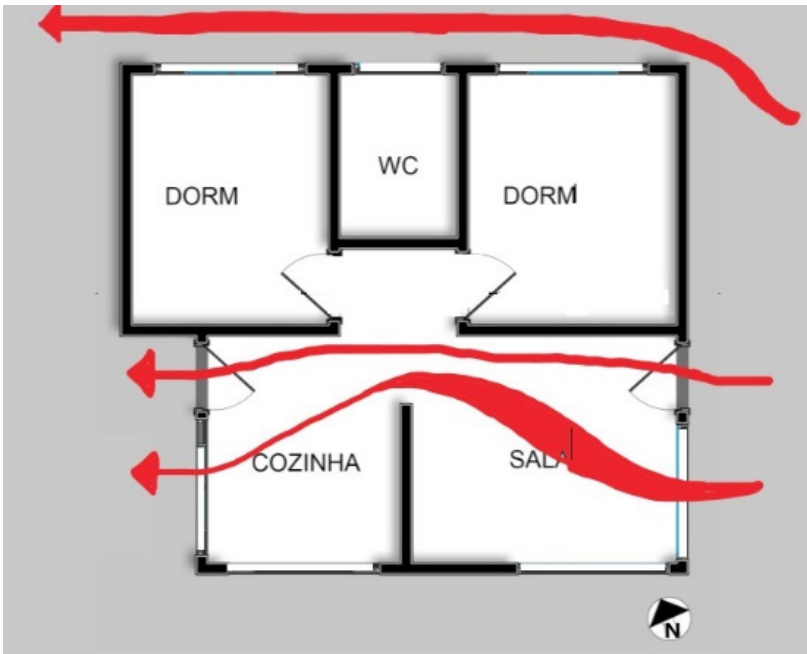
2. Você acha que essa ventilação está adequada?

3. Em caso negativo, quais soluções você apontaria para seu cliente adotar, já que a casa ainda não foi construída?

Resolução da situação-problema

1. Por meio do esquema da Figura 2.15 você conseguirá mostrar como é a circulação dos ventos desse ambiente:

Figura 2.15 | Esquema do fluxo de ventilação sudeste

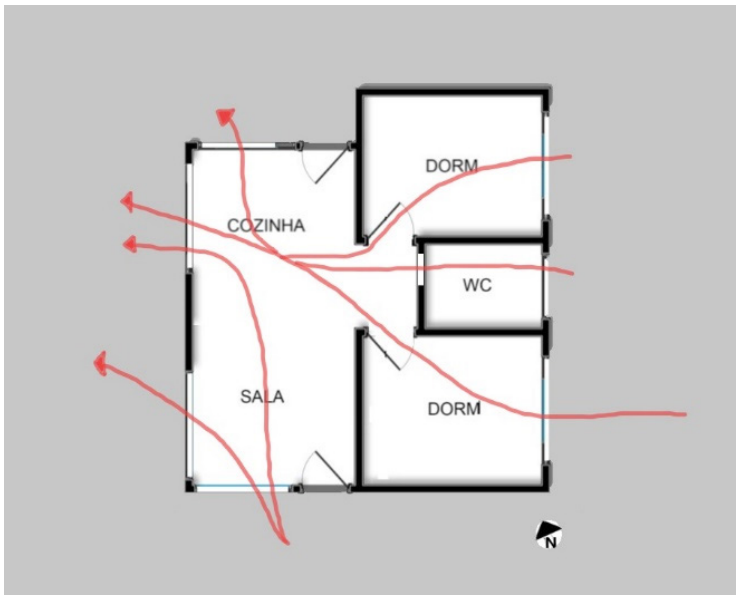


Fonte: elaborada pela autora.

2. A ventilação é insuficiente, já que a residência se localiza em uma cidade cuja zona bioclimática é a 5, que indica a ventilação cruzada como estratégia bioclimática no verão. Além disso, os dormitórios e os banheiros não estão recebendo ventilação.

3. O mais adequado é rotacionar a planta da casa para que os dormitórios recebam a ventilação sudeste e a sala continue sendo bem ventilada. Para que a cozinha receba ventilação suficiente, a parede divisória entre ela e a sala pode deixar de ser construída, tornando a ventilação da residência mais homogênea. Veja a Figura 2.16, que apresenta as soluções para os problemas de ventilação do projeto inicial, apontadas ao seu cliente:

Figura 2.16 | Alterações no projeto e novo esquema do fluxo de ventilação sudeste



Fonte: elaborada pela autora.

Faça valer a pena

1. Os edifícios são responsáveis pelo consumo de cerca da metade da energia produzida no mundo e os sistemas artificiais de condicionamento de ar respondem por uma grande parcela desse consumo. Os sistemas de ventilação passiva constituem-se em uma das importantes estratégias para a maior sustentabilidade do espaço construído, contribuindo para o aumento do conforto térmico e da eficiência energética do local. Ao analisarmos as estratégias bioclimáticas apontadas pela NBR 15220-3, verificamos que a ventilação natural é indicada para 7 das 8 zonas bioclimáticas do Brasil.

Para quais zonas bioclimáticas brasileiras a ventilação natural é indicada?

a) Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.
b) Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 8.
c) Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8.
d) Zonas 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 8.
e) Zonas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

2. A ventilação natural depende das diferenças de pressão do ar para que ocorra o deslocamento do ar de dentro para fora dos ambientes. As diferenças de pressão podem ser determinadas pela ação dos ventos ou pela diferença de densidade do ar. Os sistemas de ventilação passivos são classificados em dois tipos, de acordo com a forma com que as diferenças de pressão são produzidas.

Quais os tipos de ventilação passiva?

a) Ventilação rodada e ventilação forçada.
b) Ventilação cruzada e ventilação forçada.
c) Ventilação mecânica e efeito chaminé.
d) Ventilação cruzada e efeito chaminé.
e) Ventilação forçada e efeito chaminé.

3. O percurso e o volume do fluxo de ar que atravessa os ambientes por meio da ventilação cruzada dependem da localização, da dimensão e do tipo (forma e configuração) das aberturas de entrada de ar. Quando se trata da configuração das aberturas, a maneira como se abrem as folhas das janelas pode alterar a direção e a velocidade do fluxo de ar. Podemos classificar as janelas, em relação ao fluxo de ar, em duas categorias: as que redirecionam a corrente de ar de entrada e as que não redirecionam o ar que entra no ambiente.

Quais janelas podem ser classificadas como as que redirecionam a corrente de ar de entrada?

a) Esquadrias com aberturas do tipo de correr, guilhotina e de bandeira.
b) Esquadrias com aberturas do tipo basculante, de correr e guilhotina.
c) Esquadrias com aberturas do tipo basculante, pivotante, venezianas móveis e maxim-ar.
d) Esquadrias com aberturas do tipo guilhotina, pivotante, de correr, venezianas móveis e maxim-ar.
e) Esquadrias com aberturas do tipo de correr, guilhotina, de bandeira, basculante, pivotante, venezianas móveis e maxim-ar.

Seção 2.3

Análises bioclimáticas e uso de estratégias bioclimáticas

Diálogo aberto

Prezado aluno, seja bem-vindo à última seção da Unidade 2. Nela você conhecerá o software ZBBR, que pode ser usado para a identificação da classificação bioclimática dos municípios brasileiros e indicação das estratégias bioclimáticas para habitações unifamiliares. Você também será apresentado ao software Analisys Bio, usado para avaliação bioclimática. Além disso, aprenderá aplicar as estratégias bioclimáticas e soluções de eficiência energética ao projeto de interiores. Finalmente, conhecerá projetos que tiveram bons resultados usando técnicas bioclimáticas.

Retomaremos agora o contexto de aprendizagem da unidade.

A prefeitura da capital do seu estado lançou um concurso para projetos de Habitação Unifamiliar de Interesse Social, com o objetivo de aumentar a qualidade de vida dos moradores dessas residências e promover a sustentabilidade das edificações de interesse social.

Você e um grupo de amigos formaram uma equipe para elaborar esse projeto e ficou sob sua responsabilidade a análise da adequação do projeto proposto às condições climáticas da cidade onde será implantado.

Agora você fará o uso de alguns softwares que o auxiliarão na compreensão do comportamento climático da cidade.

Em seu trabalho de análise, você deverá executar tarefas e responder a algumas questões, que são:

• Utilizar o software ZBBR para encontrar a resposta à questão: quais as estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade em questão?

• Utilizando software Analisys Bio você fará avaliação bioclimática da cidade. Para isso, você deverá selecionar no software o módulo de avaliação "Análise Bioclimática-Normais", que carregará os dados climáticos da cidade selecionada.

• Segundo o Software Analisys Bio, quais as estratégias bioclimáticas adequadas para projeto em estudo? Obtenha as respostas analisando o relatório e a Carta Bioclimática gerados pelo programa.

• As estratégias bioclimáticas apontadas pelo ZBBR são as mesmas indicadas pelo Analisys Bio? Quais as diferenças entre elas?

• A habitação proposta atende às demais estratégias bioclimáticas recomendadas para a região? Quais estratégias precisam ser aperfeiçoadas?

Agora, é só você se dedicar aos estudos antes, durante e após a aula, e depois colocar em prática tudo o que aprendeu. Bom trabalho!

Não pode faltar

Nesta última seção da Unidade 2 nós retomaremos o aprendizado que iniciamos na Seção 2.1 a respeito das estratégias bioclimáticas e aprenderemos como aplicá-las no projeto de interiores, buscando o conforto térmico e a eficiência energética do ambiente construído.

Inicialmente nós conheceremos dois programas de análise climática e indicação de estratégias projetuais. Ambos são ferramentas computacionais simples que nos ajudarão no dia a dia, indicando as diretrizes de projeto a serem adotadas em cada zona bioclimática brasileira. Dessa forma, poderemos projetar ambientes apropriados ao clima, com eficiência energética e que proporcionem conforto térmico aos usuários.

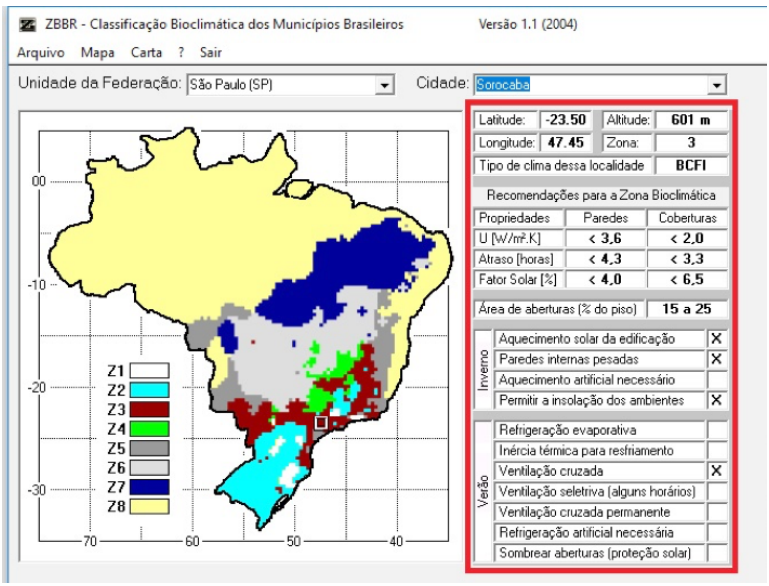
O primeiro software a ser apresentado é o ZBBR-Zoneamento Bioclimático do Brasil (RORIZ, 2004). Com base nas determinações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o programa fornece a classificação bioclimática dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. O clima de 330 municípios foi obtido por meio de medição de dados climatológicos e para as demais 5.231 cidades brasileiras as informações climáticas foram estimadas por interpolação.

Saiba mais

O Software ZBBR-Zoneamento Bioclimático do Brasil é gratuito e pode ser baixado no site do LabEEE. Faça o download diretamente pelo link a seguir. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr>. Acesso em: 8 dez. 2017.

As informações são fornecidas a partir da inserção do estado e da cidade de interesse. Na janela inicial do software, no campo "Unidade da Federação", deve ser selecionado o estado e no campo "Cidade" seleciona-se a cidade. Depois de selecionar a unidade da federação (estado) e o município, o programa fornece as seguintes informações referentes ao local: Latitude, Longitude, Altitude, Zona Bioclimática, Tipo de Clima da Localidade e Recomendações para a Zona Bioclimática. A Figura 2.17 nos mostra a tela com os resultados obtidos para a cidade de Sorocaba (SP). O mapa localizado à esquerda apresenta as zonas bioclimáticas brasileiras e a localização da cidade escolhida.

Figura 2.17 | Tela do Programa ZBBR com os resultados obtidos para a cidade selecionada



Fonte: adaptada de Programa ZBBR (2004).

O campo "Tipo de clima dessa localidade" fornece uma classificação feita por meio de letras correspondentes às estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade, de acordo com a metodologia utilizada na NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005). A Tabela 2.2 apresenta a classificação das estratégias de A a L e seus respectivos detalhamentos.

Tabela 2.2 | Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Essa estratégia pode ser obtida pela renovação do ar interno por ar externo por meio da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada por meio da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido com o uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas por meio do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida por meio da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isso significa que, se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21^{0}C e 30^{0} C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida por meio da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Sob o título "Recomendações para a Zona Bioclimática" são indicadas estratégias projetuais em relação à transmitância térmica, à inércia térmica das paredes externas e coberturas, além de instruções relativas ao tamanho das aberturas para ventilação. Além dessas informações, também são apontadas estratégias de condicionamento térmico passivo para o local, tanto no inverno como no verão. A partir dessas recomendações obtém-se subsídio para se dar início a um projeto bioclimático.

Outra importante ferramenta para avaliação bioclimática é o software Analysis Bio, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2009) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Saiba mais

O Software Analysis Bio é gratuito e pode ser baixado no site do LabEEE. Faça o download diretamente pelo link indicado a seguir. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>. Acesso em: 8 dez. 2017.

O programa avalia as condições climáticas de uma localidade a partir do cruzamento de dados climatológicos sobre a Carta Bioclimática de Givoni (1992). Como resultado, o programa aponta estratégias projetuais para cada mês do ano, de acordo com a zona em que se insere na Carta Bioclimática, auxiliando no desenvolvimento de projetos de edificações adaptadas ao clima local. Gera-se também um relatório com a porcentagem de horas do ano em que cada diretriz é indicada. As análises bioclimáticas podem ser feitas com base nos dados climáticos resumidos na forma das Normais Climatológicas ou em arquivos do Ano Climático de Referência (TRY).

Assimile

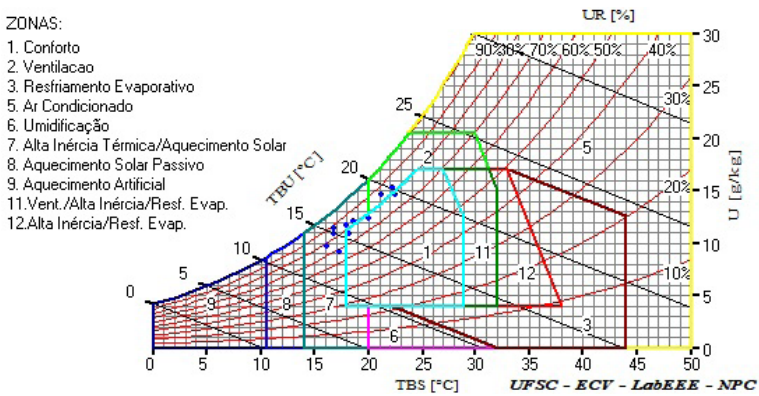
O Ano Climático de Referência ou *Test Reference Year* (TRY) é um arquivo constituído por dados climáticos para todas as horas de um ano. As informações do TRY podem ser usadas para gerar uma Carta Bioclimática, associando informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano, a fim de adaptar a edificação ao clima da cidade (GOULART et al., 1998). Esses arquivos podem ser usados em softwares de simulação computacional de desempenho térmico de ambientes construídos (BELTRAME; CUNHA, 2016).

Lembre-se

As Normais Climatológicas são valores médios climatológicos de períodos históricos de 30 anos. Contêm informações sobre as médias mensais da temperatura do ar, umidade relativa do ar, índices pluviométricos, velocidade e direção dos ventos, pressão atmosférica, horas de insolação, dentre outros.

O programa apresenta, no menu "Opções" e nos ícones na barra de ferramentas, as opções para Análise Bioclimática-TRY e Análise Bioclimática-Normais. Ao selecionar a opção "Análise Bioclimática (TRY e CSV)", os dados do Ano Climático de Referência da cidade a ser estudada são representados sobre a Carta Psicrométrica. A Figura 2.18 mostra a Carta Psicrométrica com os dados climáticos da cidade de São Paulo plotados sobre ela.

Figura 2.18 | Médias mensais de temperatura e umidade plotados sobre Carta Psicrométrica



Fonte: Adaptada de Analysis Bio (2009).

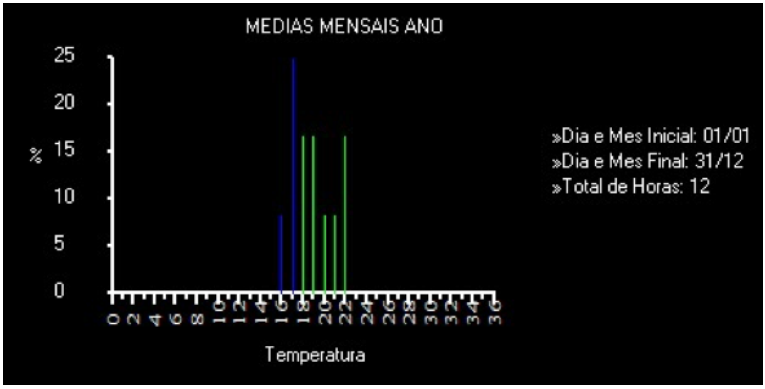
No menu auxiliar 1, que tem a função de configurar a visualização das informações sobre a Carta Psicrométrica, o botão "zonas" foi selecionado para se demarcar as regiões da carta correspondentes a cada Estratégia Bioclimática. No botão "opções" é possível selecionar a forma como serão visualizadas as informações correspondentes ao Ano Climático de Referência. Nele foi selecionado o botão "Médias mensais", por isso estão sendo mostradas na Carta Psicrométrica, por pontos azuis, as 12 médias de temperatura e de umidade referentes a cada mês do Ano Climático de Referência. Existe ainda a possibilidade de optar por visualizar as medições referentes ao "Ano

Todo", às "estações do ano", ao "Dia/horas Específicas", às "Médias Diárias" e às "Máximas e Mínimas". Todas essas informações podem ser vistas ao mesmo tempo sobre a carta ou pode-se "Limpar" a carta e gerar novas imagens de acordo com as informações que se quer visualizar.

As Cartas Bioclimáticas podem ser salvas de duas maneiras diferentes. No menu "opções", ao clicar sobre "Imprimir", gera-se um arquivo de boa qualidade para impressão, que pode ser impresso diretamente ou ser salvo como arquivo em PDF. Também há a possibilidade de se copiar a imagem para a área de transferência, clicando sobre o botão "Copiar Carta", e depois colá-la em qualquer arquivo que seja compatível com recebimento de imagens. Ao usar essa opção, pode-se criar arquivos com outras informações referentes à análise que está sendo feita.

Para visualizar de outras formas a interpretação dos dados contidos na carta, pode-se clicar no botão "Relatórios" e escolher entre gerar um histograma ou um relatório. Na Figura 2.19 vemos um histograma da relação entre temperaturas e frequência, ou seja, as porcentagens de ocorrência de cada temperatura da cidade de São Paulo. Nele a cor verde representa as temperaturas dentro da zona de conforto. A cor azul corresponde às temperaturas fora da Zona de Conforto, para as quais se devem propor medidas de correção do desconforto.

Figura 2.19 | Histograma da relação entre temperatura e frequência da cidade de São Paulo



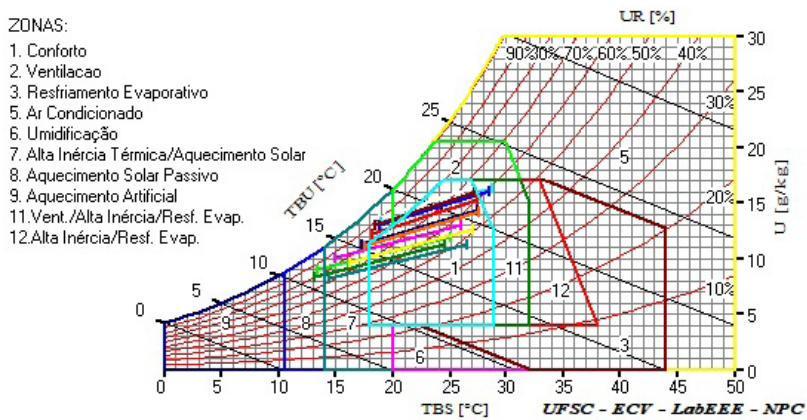
Fonte: Adaptada de Analysis Bio (2009).

Ao clicar na aba "relatório" aparecerá uma janela, com um resumo de todas as informações apresentadas na Carta Bioclimática. Os dados apresentados são: informações sobre o período de análise escolhido;

frequências (em porcentagem) em que acontecem circunstâncias de Conforto e Desconforto durante o período analisado; estratégias bioclimáticas e a proporção em que são recomendadas quando há desconforto por calor ou frio; porcentagem de tempo em que se recomenda o sombreamento das aberturas durante o ano; as amplitudes térmicas máximas e mínimas de cada mês; e a média das Amplitudes Térmicas de um mês.

A outra opção de avaliação é a "Análise Bioclimática (Normais)" que representa sobre a Carta Psicrométrica as Normais Climatológicas do município em questão. Quando essa opção é selecionada no menu "opções" ou na barra de ferramentas, o programa abre uma janela na qual se deve optar entre Brasil ou Argentina, depois deve-se selecionar o estado e então a cidade que se deseja analisar. Clicando no botão "Visualizar Normal" aparecerá uma tabela com os valores numéricos das normais. Para visualizar as normais pela Carta Bioclimática deve-se clicar em "ok". A carta aparecerá vazia e, então, para que as regiões correspondentes a cada estratégia bioclimática apareçam demarcadas, junto às marcações dos dados climáticos, é preciso clicar no botão "zonas". Essa é a única forma de apresentação das informações sobre a Carta Psicrométrica no modo de análise por Normais Climatológicas. Além disso, não é possível gerar histograma, apenas relatório, com os mesmos dados que o relatório gerado no módulo "Análise Bioclimática (TRY e CSV). Na Figura 2.20 vemos a Carta Psicrométrica com as informações da Normais climatológicas de Belo Horizonte (MG).

Figura 2.20 | Normais climatológicas plotadas sobre Carta Psicrométrica



Fonte: Adaptada de Analysis Bio (2009).

Pesquise mais

Para aprender detalhadamente como usar o software Analisys Bio, acesse o tutorial desenvolvido por Bortoli e Saramago (2013). Disponível em: <https://karenbortoli.files.wordpress.com/2013/12/tutorial-analysis-bio.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Projetos bioclimáticos e soluções de eficiência energética na edificação

Reflita

Existe grande preocupação por parte dos estudiosos da área de conforto ambiental em gerar informações práticas a respeito do projeto bioclimático e em desenvolver ferramentas que facilitem o acesso às estratégias bioclimáticas para as diferentes regiões climáticas. Qual a importância da aplicação dessas diretrizes no desenvolvimento de projetos do espaço construído?

Com o objetivo de desenvolver soluções eficientes e inovadoras para ambientes construídos, a Eletrosul e a Eletrobrás, em parceria com o LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina), fizeram o projeto de uma residência com conceitos de arquitetura bioclimática, eficiência energética e uso racional de água. O projeto foi desenvolvido para o clima da cidade de Florianópolis (SC), onde foi implantado. A intenção é que a Casa Eficiente se torne uma referência para a divulgação e demonstração da eficácia alcançada pela aplicação de estratégias bioclimáticas e do uso racional de energia elétrica e água na criação de residências com conforto ambiental.

A Casa Eficiente foi projetada buscando a integração entre a tecnologia e a conservação ambiental. Isso foi feito por meio do aproveitamento de fontes naturais de energia (aquecedor solar e energia fotovoltaica), uso racional de água (reaproveitamento de águas pluviais e águas cinzas tratadas, equipamentos economizadores de água), utilização de condicionantes térmicos naturais (radiação solar, ventos predominantes, umidade do ar), escolha de materiais construtivos de baixo impacto ambiental e renováveis.

Em relação aos condicionantes climáticos locais, o projeto foi concebido a partir de um estudo aprofundado da insolação, o que resultou em aproveitamento da insolação para aquecimento natural no inverno e no sombreamento das aberturas no verão.

Exemplificando

Os ventos predominantes são bem aproveitados no verão, pois existem aberturas suficientes para promover a ventilação cruzada nos ambientes de permanência. Foram feitas barreiras para proteger os ambientes internos dos ventos predominantes do inverno. As janelas têm vidros duplos para que haja maior isolamento térmico e acústico dos ambientes. Para o sombreamento das aberturas, foram instaladas persianas e pergolados externos às janelas. O telhado foi projetado de forma que sua inclinação e orientação favoreçam a captação da radiação solar para aquecer a água e gerar energia, além do uso de isolamento térmico para evitar perdas e ganhos de calor indesejados. As paredes apresentam a inércia térmica adequada para a região, o que estabiliza a temperatura interna em relação à externa, tanto em dias quentes quanto em dias frios. Para barrar a insolação do período da tarde, evitando o superaquecimento dos ambientes de maior permanência, a área molhada da residência foi colocada na fachada oeste. No inverno, água aquecida pelo aquecedor solar circula por uma tubulação de cobre nos rodapés dos quartos para esquentar o ambiente.

As Figuras 2.21 e 2.22 mostram como algumas soluções foram implantadas na Casa Eficiente.

Figura 2.21 | Janelas com vidros duplos e persianas externas

Fonte: <http://www.eletrosul.gov.br/ampnbsp/casa-eficiente-estrategia-utilizada#top-ce>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Figura 2.22 | Beirais, brises e persianas externas para o sombreamento das aberturas

Fonte: <http://www.eletrosul.gov.br/files/images/casaeficiente/imagem_10a.jpg>. Acesso em: 8 dez. 2017.

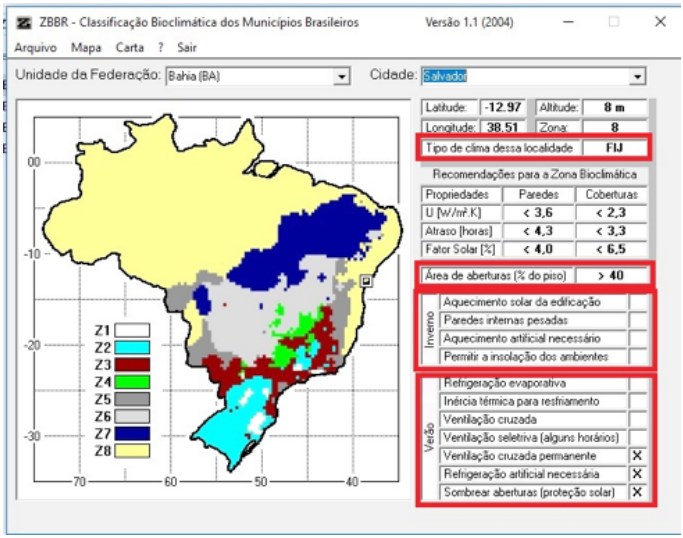
O exemplo da Casa Eficiente nos mostra que é possível, por meio de soluções simples, fazermos uso das condições climáticas e ambientais do local para desenvolver projetos que respeitem o ambiente e promovam o conforto ambiental dos usuários.

Sem medo de errar

Utilizando o software ZBBR, você descreverá as estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade em questão. Utilizando programa Analisys Bio, no módulo de avaliação "Análise Bioclimática Normais", você fará a avaliação bioclimática da cidade e a comparará com os resultados obtidos no ZBBR.

Cada cidade analisada gerará um resultado diferente. Adotamos a cidade de Salvador (BA), para usá-la como exemplo de resolução do exercício.

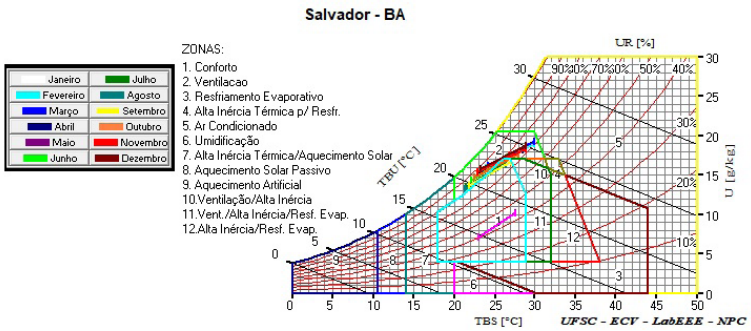
Resultados ZBBR

ZBBR	Figura 2.23 | ZBBR: Salvador (BA)  Fonte: Adaptada de ZBBR (2004).
Cidade	Salvador (BA)
Clima	FIJ
F	As sensações térmicas são melhoradas por meio da desumidificação dos ambientes. Essa estratégia pode ser obtida com a renovação do ar interno por ar externo por meio da ventilação dos ambientes.
I e J	A ventilação cruzada é obtida por meio da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isso significa que, se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois ele pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Resultados Analysis Bio

Analysis Bio	
Cidade	Salvador (BA)

Figura 2.24 | Analysis Bio: Salvador (BA)



Fonte: Adaptada de Analysis Bio (2009).

Tabela 2.3 | Informações Relatório

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Ventilação: 100.01	Conforto: 2.80 Ventilação: 97.21	Ventilação: 100.01	Conforto: 13.94 Ventilação: 86.08
Maio	Junho	Julho	Agosto
Conforto: 100.01	Conforto: 5.57 Ventilação: 94.45	Conforto: 43.06 Ventilação: 56.95	Conforto: 58.40 Ventilação: 41.60
Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Conforto: 67.11 Ventilação: 32.02 Ventilação/ Alta Inércia/ Resfriamento Evaporativo: 0.87	Conforto: 33.62 Ventilação: 66.39	Conforto: 8.05 Ventilação: 91.97	Ventilação: 100.01

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2.4 | Comparativo entre os resultados do ZBBR e do Analysis Bio

Cidade	Salvador (BA)	
Recomendações		
Software	ZBBR	
	Inverno	Nenhuma
	Verão	Ventilação cruzada permanente
		Refrigeração artificial necessária
		Sombrear aberturas (proteção solar)
	Analysis Bio	
	Inverno	Ventilação
	Verão	Ventilação

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado de ambos os softwares aponta a Ventilação Cruzada como principal estratégia recomendada para a cidade de Salvador (BA). O objetivo é que haja refrigeração evaporativa, por se tratar de um local com clima quente e úmido, o ZBBR mostra isso quando classifica o clima como FIJ e o Analysis Bio indica essa diretriz para o mês de setembro. Ambos também recomendam alta inércia térmica das superfícies (paredes e cobertura), para estabilizar a temperatura interna. A única diferença entre os resultados obtidos pelos softwares é que o ZBBR indica o sombreamento das aberturas e o Analysis Bio não faz menção a essa necessidade.

Depois de realizar todas essas etapas você apresentará um relatório (resumo) respondendo às seguintes perguntas:

1. Qual o clima e zona bioclimática em que está inserida a sua cidade?

A zona bioclimática da cidade de Salvador é a 8.

2. Quais são as condições de ventilação existentes no projeto?

Para analisar as condições de ventilação do projeto é preciso fazer um diagnóstico a partir do esquema de ventilação executado na Seção 2.2 para o projeto escolhido pelo aluno.

3. Quais estratégias bioclimáticas indicadas para sua cidade?

Para a cidade de Salvador as estratégias recomendadas são: ventilação cruzada o ano todo, períodos de refrigeração evaporativa e inércia térmica para resfriamento. Além de aberturas de 40% da área do piso.

As respostas a essas perguntas mostrarão se o projeto está ou não adequado para aquela cidade. Nesse caso é necessário verificar se o projeto está oferecendo condições de ventilação cruzada em todos os ambientes e paredes e cobertura com alta inércia térmica.

Avançando na prática

Residência adaptada ao clima

Descrição da situação-problema

Você, designer de interiores, e um amigo arquiteto são sócios. Um antigo cliente entrou em contato, contando que a filha recém-formada em Moda irá se mudar para Porto Alegre (RS). A família possui um pequeno galpão industrial na cidade e a filha quer transformá-lo em sua residência e ateliê de moda. Vocês foram contratados para fazer a adequação do imóvel para os fins desejados.

Antes de iniciar o projeto, você fará um levantamento das condições climáticas de Porto Alegre a fim de que a residência/ateliê seja uma edificação adaptada ao clima, proporcionando conforto térmico à sua cliente e eficiência energética.

Utilizando o software ZBBR, indique:

Qual a zona bioclimática de Porto Alegre?

Qual a classificação climática e os detalhes das estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade?

Quais as recomendações para o Inverno e o verão?

Resolução da situação-problema

Após realizar um levantamento das condições climáticas de Porto Alegre, você obteve as seguintes informações:

Qual a zona bioclimática de Porto Alegre?

Zona Bioclimática 3.

Qual a classificação climática e os detalhes das estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade?

O tipo da cidade é o BCFI, detalhado a seguir (ABNT, 2005):

B: a forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio por meio da

incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes pelo aproveitamento da radiação solar.

C: a adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.

F: as sensações térmicas são melhoradas por meio da desumidificação dos ambientes. Essa estratégia pode ser obtida com a renovação do ar interno por ar externo por meio da ventilação dos ambientes.

I e J: a ventilação cruzada é obtida por meio da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isso significa que, se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois ele pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Quais as recomendações para o inverno e o verão?

Durante o inverno, recomenda-se o aquecimento solar da edificação, paredes internas pesadas e permitir a insolação dos ambientes.

Durante o verão, é recomendável a ventilação cruzada.

Faça valer a pena

1. O programa computacional ZBBR-Zoneamento Bioclimático fornece a classificação bioclimática dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social do Brasil, de acordo com as determinações da parte 3 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Utilizando o ZBBR, faça o levantamento da classificação e das recomendações bioclimáticas da cidade de Angra dos Reis (RJ).

De acordo com o estudo feito por meio do software ZBBR, assinale a alternativa que informa corretamente qual a zona bioclimática, o tipo de clima e as recomendações para o inverno e o verão, respectivamente, para Angra dos Reis (RJ).

a) Zona bioclimática 4; clima FIJ; recomendações para o inverno: aquecimento solar da edificação/paredes internas pesadas; recomendações para o verão: ventilação seletiva.

b) Zona bioclimática 8; clima FGHI; recomendações para o inverno: nenhuma; recomendações para o verão: ventilação cruzada permanente, sombrear aberturas, inércia térmica para resfriamento.
c) Zona bioclimática 3; clima BCFIJ; recomendações para o inverno: aquecimento solar da edificação, paredes internas pesadas, permitir insolação dos ambientes; recomendações para o verão: ventilação cruzada.
d) Zona bioclimática 8; clima FIJ; recomendações para o inverno: nenhuma; recomendações para o verão: ventilação cruzada permanente, refrigeração artificial necessária, sombrear aberturas.
e) Zona bioclimática 1; clima FGHI; aquecimento solar da edificação, paredes internas pesadas; recomendações para o inverno: permitir insolação dos ambientes; recomendações para o verão: nenhuma.

2. A Casa Eficiente é uma edificação residencial unifamiliar construída na cidade de Florianópolis (SC). O projeto colocou em prática conceitos de arquitetura bioclimática, eficiência energética e uso racional de água. O objetivo é que essa edificação se torne uma referência para a divulgação e demonstração da eficácia alcançada pela aplicação de estratégias bioclimáticas e do uso racional de energia elétrica e água na criação de residências com conforto ambiental.

Quais foram algumas das estratégias bioclimáticas aplicadas na Casa Eficiente?

a) Verão: refrigeração artificial, ventilação cruzada permanente; inverno: nenhuma.
b) Verão: ventilação cruzada, sombreamento das aberturas; inverno: insolação dos ambientes, alta inércia térmica das paredes e cobertura, isolamento térmico, aquecimento passivo dos ambientes.
c) Verão: nenhuma; inverno: insolação dos ambientes, alta inércia térmica das paredes e cobertura, isolamento térmico, aquecimento passivo dos ambientes.
d) Verão: refrigeração evaporativa, inércia térmica para resfriamento, ventilação cruzada permanente; inverno: paredes internas pesadas, aquecimento artificial.
e) Verão: ventilação cruzada, sombreamento das aberturas, refrigeração evaporativa; inverno: paredes internas pesadas, aquecimento passivo dos ambientes, aquecimento artificial.

3. O software Analysis Bio avalia as condições climáticas de uma localidade a partir do cruzamento de dados climatológicos sobre a Carta Bioclimática de Givoni (1992). As análises podem ser feitas com base nos dados climáticos resumidos na forma das Normais Climatológicas ou em arquivos do Ano Climático de Referência.

Sobre o Ano Climático de Referência, assinale a alternativa correta.

a) O Ano Climático de Referência, ou Test Reference Year (TRY), é um arquivo constituído por dados climáticos para todas as horas de um ano.
b) Os arquivos do Ano Climático de Referência são as Normais Climatológicas de determinada cidade.
c) Ano Climático de Referência significa um ano em que as condições climáticas foram atípicas, portanto ele não pode ser usado como referência para estudos do clima.
d) Os arquivos do Ano Climático de Referência são uma combinação entre o Test Reference Year (TRY) e as Normais Climatológicas.
e) O Ano Climático de Referência, ou Test Reference Year (TRY), é um arquivo constituído pela Carta Psicrométrica e as Normais Climatológicas.

Referências

ANALYSIS BIO (versão 1.5). **LabEEE**, Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>. Acesso em: 8 dez. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações**. NBR 15220-3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BELTRAME, C. M.; CUNHA, E. G. Definição do Ano Climático de Referência (TRY) para a Cidade de Pelotas-RS. SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5., 2016, Passo Fundo (RS). **Anais...** Passo Fundo: Imed, 2016.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.

BOGO, A. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** Relatório interno 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis (SC), 1994.

BORTOLI, K. C. R.; SARAMAGO. R. C. P. **Projeto de pesquisa**: desenvolvimento de tutoriais de softwares da série Analysis – Analisys Bio. Uberlândia: LabEEE, UFSC, 2013. Disponível em: <https://karenbortoli.files.wordpress.com/2013/12/tutorial-analysis-bio.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2017.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel. 2003. 243 p.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and building**, [S.l.], v. 18, p. 11-23, jul. 1992.

_____. **Man, Climate & Architecture**. 2. ed. Londres: Applied Science Publishers, Ltd., 1976. 483 p.

GOULART, S. V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de clima do Brasil. **IBGE**, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990: versão revista e ampliada. **INMET**, Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 22 nov. 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Editora Pró Editores, 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: [s.n.], 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeteee - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. 2017. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>. Acesso em: 22 nov. 2017.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura en Colombia**. Cali (Colombia): Facultad de Arquitectura, 1968.

_____. **Design with climate**: bioclimatic approach to architectural regionalism. 4. ed. New Jersey (USA): Princeton University Press, 1973.

RORIZ, M. **ZBBR**: Zoneamento bioclimático do Brasil (versão 1.1). **LabEEE**, São Carlos, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr>. Acesso em: 8 dez. 2017.

WATSON, D.; LABS, K. **Climatic building design**: energy-efficient building principles and practice. Nova York (EUA): McGraw- Hill book Company, 1983.

Insolação e o comportamento térmico dos ambientes

Convite ao estudo

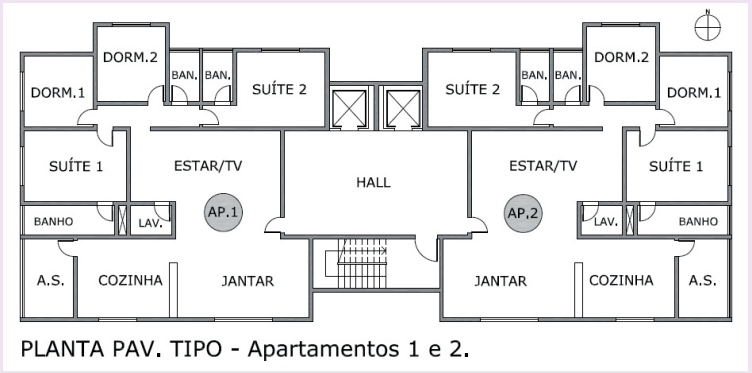
Prezado aluno, já chegamos na metade dos nossos estudos na disciplina de Conforto Ambiental, agora, cada vez mais você estará apto para praticar os conhecimentos adquiridos. Nesta unidade conheceremos mais profundamente um aspecto extremamente importante para a arquitetura bioclimática: a geometria da insolação.

Na primeira seção aprenderemos sobre a geometria da insolação e sua importância para o conforto térmico em ambientes construídos. Na segunda seção, aprenderemos a utilizar a carta solar (ou diagrama solar). Por meio dela podemos conhecer a posição do sol de acordo com a latitude, o dia e o horário. Desta forma é possível se determinar os períodos de incidência solar nas fachadas e aberturas de uma edificação. Na terceira seção aprenderemos utilizar mais uma importante ferramenta para determinação da insolação de um ambiente construído: o Heliodon. Esse equipamento nos fornece informações que poderão ser usadas para a avaliação da insolação de um ambiente edificado, bem como auxiliar-nos durante o processo projetual de ambientes adaptados ao clima. Ao final de cada seção você estará pronto para colocar em prática o que aprendeu, resolvendo as situações-problemas associadas ao nosso contexto de aprendizagem.

A família Teles é composta por 5 pessoas. O pai, 48 anos; a mãe, 43 anos; os filhos, 14 anos e 9 anos e avó, 71 anos, sofre de doença reumática e mora com eles há poucos meses. Eles vão se mudar para a sua cidade e estão buscando um apartamento que os acomode bem e ofereça clima agradável durante o ano todo.

Você foi contratado para orientá-los na escolha do imóvel e para apontar as possíveis mudanças necessárias para maior adequação do apartamento à situação climática da cidade. Depois de muitas buscas encontrou-se um edifício cujos apartamentos atendem às necessidades da família. Existem duas unidades idênticas à venda, porém cada uma tem os ambientes com diferentes orientações em relação ao norte. A Figura 3.1 apresenta o pavimento tipo do edifício com as duas opções de apartamento.

Figura 3.1 | Pavimento Tipo – apartamentos 1 e 2



Fonte: elaborada pelo autor.

Após conhecer ambas as opções, seu papel será:

• Na Seção 3.1 você receberá a planta do Pavimento Tipo de um edifício residencial cujos apartamentos sejam adequados à família. Você identificará a latitude, as características climáticas, as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade em relação à insolação e as caraterísticas térmicas necessárias para cada ambiente.

• Na Seção 3.2 você apresentará uma tabela com o Azimute e a Altura Solar durante o ano todo, uma tabela com os horários de insolação de cada fachada do edifício e verificará qual dos apartamentos têm a insolação mais adequada.

• Na Seção 3.3 você fará a simulação da insolação nas fachadas do apartamento escolhido e apontará os horários em que a radiação solar adentra os ambientes. Caso haja

necessidade serão identificadas as janelas que necessitarão de proteção solar.

Como reunir as informações coletadas e as análises realizadas a fim de apresentá-las aos seus clientes de maneira clara? Como apresentar os resultados do seu estudo para que eles possam tomar a melhor decisão?

No final, você apresentará um relatório contendo a análise dos ambientes estudados, realizada a partir dos resultados dos estudos de insolação feitos por meio da carta solar e do heliodon.

Bom trabalho!

Seção 3.1

Geometria da insolação

Diálogo aberto

Nesta seção você aprenderá sobre a geometria da insolação, um dos aspectos mais importantes da arquitetura bioclimática. Por meio dela podemos conhecer a localização exata do sol, o que nos possibilita projetar ambientes com o acesso adequado da radiação solar, o que, consequentemente, implicará maior conforto térmico para os usuários.

A família Teles que se mudará para a sua cidade, busca um apartamento que os acomode bem e ofereça clima agradável durante o ano todo. Você foi contratado para orientá-los na escolha do imóvel e para apontar as possíveis mudanças necessárias para maior adequação do apartamento à situação climática da cidade. Encontrou-se em um edifício apartamentos que atendem às necessidades da família. Existem duas unidades idênticas à venda, porém cada uma tem os ambientes com diferentes orientações em relação ao norte.

Para iniciar seu trabalho de orientação à escolha do imóvel mais adequado à família e às condições climáticas da cidade você fará um levantamento:

- Qual a latitude da cidade?
- Qual o clima da cidade?
- Quais as características climáticas em cada estação do ano?
- Em qual zona bioclimática a cidade está localizada?
- Quais as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade em relação à insolação (sombrear aberturas, aquecimento solar da edificação, permitir insolação dos ambientes)?
- De acordo com as características da família e as necessidades de cada membro, como devem ser as características térmicas dos principais ambientes?

Não pode faltar

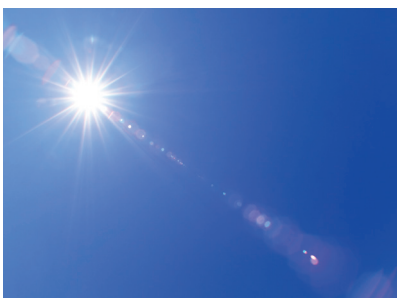
O sol é a principal fonte de energia da Terra. Como já vimos anteriormente, a radiação solar é uma onda eletromagnética curta, que nos fornece a luz e o calor, ambos essenciais para a vida no nosso planeta.

Figura 3.2 | Sol fornece calor e luz para a Terra

Fonte: iStock.

A radiação solar chega à atmosfera terrestre de maneira direta e/ou difusa. A radiação direta é a parcela que chega sem desvios à Terra, sem sofrer interferências no seu trajeto. A radiação difusa é espalhada quando passa pelas partículas da atmosfera e pelas nuvens, sendo refletida e irradiada para a Terra. Por exemplo, quando o céu está claro, sem nuvens, a parcela de radiação direta é maior que a difusa, no entanto, em dias nublados a quantidade de radiação difusa costuma ser maior que a direta, podemos verificar isso na Figura 3.3.

Figura 3.3 | Radiação solar direta e difusa



(a) Radiação solar direta

(b) Radiação solar difusa

Fonte: iStock.

Nos projetos arquitetônicos que buscam o conforto térmico, é possível evitar ou tirar partido dessa fonte de energia, por isso é importante se ter conhecimento sobre a geometria da insolação do local. Como veremos mais adiante, dependendo do clima do local é interessante que se aproveite mais a radiação direta (clima frio) para aquecimento e iluminação da edificação, ou a radiação difusa (clima quente) para iluminação dos ambientes sem aquecê-los em demasia.

Assimile

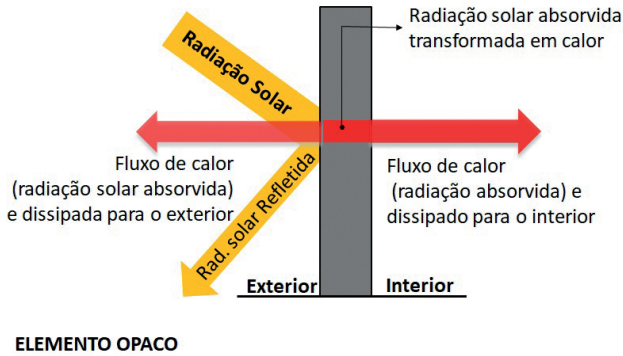
Geometria da insolação é o termo usado para o estudo da posição do sol em um local, dia do ano e horário de interesse. Para tanto é feita a determinação gráfica dos ângulos de incidência do sol de acordo com a latitude do local, da hora do dia e da época do ano.

Geometria da insolação e conforto térmico

A radiação solar é uma das principais responsáveis pelo aquecimento dos espaços construídos. Em uma edificação, o ganho de calor por radiação ocorre de cinco maneiras: radiação solar direta (onda curta), radiação solar difusa (onda curta), radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta), radiação térmica dissipada pelo céu e pelo solo aquecido (onda longa) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa) (LAMBERTS et al., 2016).

Quando a radiação solar incide sobre uma edificação, uma parte dela é refletida, outra é absorvida e ainda uma outra parcela pode ser transmitida para o interior do edifício. A radiação absorvida transforma-se em calor, cuja transferência ocorre em função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas das superfícies do edifício. A quantidade de radiação absorvida, refletida e transmitida depende do tipo de superfície onde ela incidiu, que podem ser classificadas como opacas ou transparentes/translúcidas. Nos casos em que o elemento onde a radiação incide é opaco ela será absorvida e/ou refletida, como pode-se observar na Figura 3.4.

Figura 3.4 | Comportamento da radiação ao incidir em uma superfície opaca



Fonte: elaborada pelo autor.

A quantidade de radiação absorvida e refletida variará de acordo com a absortividade do material, isto é, a taxa de radiação solar absorvida por um material dividida pela taxa de radiação solar incidente sobre essa mesma superfície. A Tabela 3.1 mostra a absortividade de alguns materiais e cores.

Tabela 3.1 | Absortividade de cores e superfícies

Tipo de superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro comum de janela	Transparente

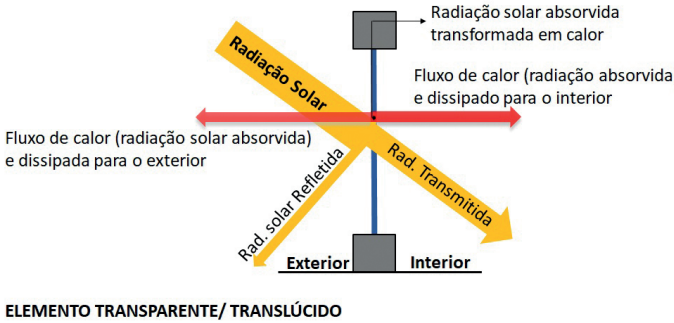
Tipo de superfície	α
Pintura:	
- branca	0,20
- amarela	0,30
- verde-claro	0,40
- "alumínio"	0,40
- verde-escuro	0,70
- vermelha	0,74
- preta	0,97

Fonte: adaptada de NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Nela podemos observar que alguns elementos construtivos absorvem a maior parte da radiação que neles incide, como o concreto aparente, o tijolo aparente, e principalmente o revestimento asfáltico. Em relação às cores notamos que as mais claras são as que menos absorvem radiação solar, por isso se aquecem menos e transmitem menos calor tanto para o interior quanto para o exterior da edificação. Mas a radiação refletida não aquece a área em volta da superfície onde incidiu? Não, pois quando refletida a radiação não se modifica, ou seja, continua sendo uma onda eletromagnética curta. Ela só se transformará em calor quando incidir novamente em outro elemento e uma parte dela for absorvida, e isso dependerá das características dos materiais construtivos. Portanto, em climas quentes, o uso de cores claras é uma ótima opção para evitar o aquecimento dos ambientes internos e externos.

Em se tratando de superfícies transparentes ou translúcidas, o comportamento da radiação incidente é um pouco diferente, sendo que uma parte dela é absorvida, outra é refletida, e a maior parcela é transmitida para o interior da edificação, como pode-se observar na Figura 3.5.

Figura 3.5 | Comportamento da radiação ao incidir em uma superfície transparente/translúcida



Fonte: elaborada pelo autor.

Por serem materiais transparentes às radiações visíveis, os vidros deixam a luz natural entrar nos espaços, além de permitirem a visão do exterior. Porém é preciso ter cuidado ao usá-los, pois a maior parte da radiação que nele incide é transmitida para o interior, incidindo em outros elementos que se aquecem e emitem radiação de onda longa. O problema é que o vidro é praticamente opaco às ondas longas, não deixando o calor sair do ambiente que, consequentemente, fica superaquecido. Este fenômeno é chamado de efeito estufa e é o responsável pelo acúmulo de calor em ambientes envidraçados. Um exemplo do efeito estufa é o que ocorre em um carro que fica sob o sol com os vidros fechados, a temperatura no seu interior chega a mais de 50 °C, quando abrimos os vidros percebemos o calor sendo dissipado para fora do veículo e a temperatura vai ficando mais amena.

Por isso, conhecer a geometria solar do local onde se vai fazer um projeto é muito importante para arquitetos e designers de interiores. Em lugares onde o clima é predominantemente quente é necessário evitar radiação solar direta nas construções e a penetração exagerada nos ambientes para evitar ganhos excessivos de calor. Por outro lado, em regiões de clima frio é importante promover o ganho de calor por meio da incidência de radiação solar nas fachadas e dentro dos ambientes construídos, o que resultará também em maior armazenamento de calor.

No entanto, nem sempre o clima de uma cidade é quente durante todo o ano ou frio em todas as estações. Por isso, o profissional envolvido no projeto de espaços construídos deve ter conhecimento

sobre o clima do local para determinar as necessidades em relação à temperatura dos ambientes internos durante cada estação do ano. Ao mesmo tempo, é preciso saber com exatidão o posicionamento do sol durante as diversas épocas do ano para que se possa fazer uso dessa importante fonte de calor, ou evitá-la, dependendo da região onde será implantado.

Exemplificando

No Brasil, o conhecimento da geometria da insolação é fundamental, pois a maioria das regiões apresentam verões quentes com grande acesso da radiação solar. Por isso, o sombreamento das aberturas ou das fachadas é uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas no nosso território. Ao consultar a NBR 15220-3 (Desempenho Térmico de Edificações: subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em 8 zonas bioclimáticas) verificamos que esta diretriz é apontada para diversas Zonas Bioclimáticas Brasileiras. No entanto, podemos constatar também que para as Zonas 2, 3 e 4 se indica o "Aquecimento Solar da Edificação" e "Permitir Insolação dos Ambientes" durante o inverno, mesmo sendo locais com verões quentes, inclusive havendo o apontamento de estratégias bioclimáticas para a estação.

Além de o sol fornecer calor, ele também traz a luz natural para o interior das edificações, que é muito importante para o conforto ambiental e para a arquitetura bioclimática. Por esse motivo, quando planejamos sombrear um ambiente, precisamos saber precisamente os momentos em que queremos barrá-lo, normalmente durante o verão, e quando desejamos captá-lo, seja para aquecimento da edificação no inverno ou para iluminação natural durante o ano todo.

Reflita

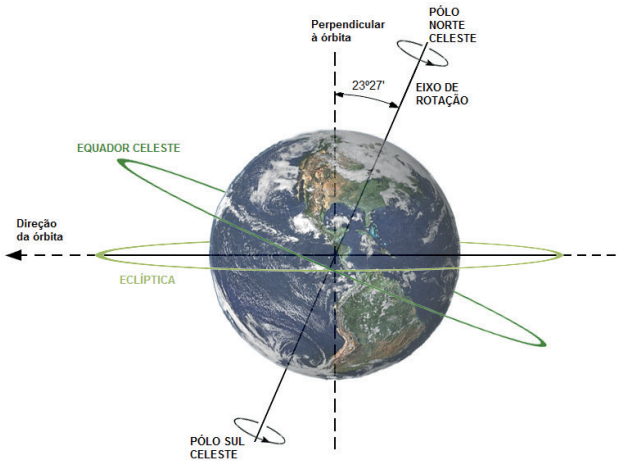
É fácil percebemos as diferenças entre o clima no verão, mais quente, e no inverno, mais frio. Isso acontece porque durante o verão o sol permanece mais tempo no céu, enquanto no inverno a presença do sol diminui consideravelmente. Quanto mais longe do equador, maior é a diferença entre a duração do dia e da noite no verão e no inverno. Por que isso acontece?

Movimentos da Terra e movimento aparente do sol

Para entendermos o porquê das diferenças entre as condições climáticas no inverno e no verão é preciso conhecermos mais sobre os movimentos que a Terra realiza em torno de si mesma e em torno do sol.

O movimento de rotação, em que a Terra gira em torno do eixo Norte-Sul é responsável pela existência do dia e da noite. Enquanto o planeta gira ao redor de si a radiação solar vai iluminando sucessivamente áreas diferentes, durante 24 horas. Na Figura 3.6 observamos que o eixo de rotação tem uma inclinação de 23° 27' em relação ao plano da órbita terrestre, o que influenciará na intensidade da radiação solar que chegará em lugares e épocas diferentes do ano.

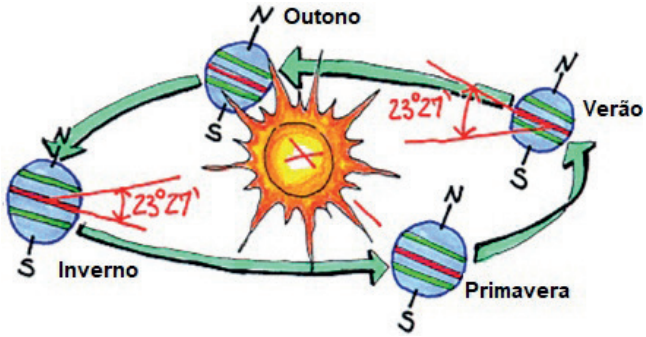
Figura 3.6 | Movimento de rotação da Terra



Fonte: adaptada de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/AxialTiltObliquity-pt.png>. Acesso em: 7 fev. 2018.

Quando a Terra realiza o movimento de translação, ela percorre uma trajetória elíptica ao redor do sol em um plano inclinado em relação ao plano do Equador. Uma volta completa em torno do sol demora 365 dias, 5 horas e cerca de 48 minutos. A inclinação (23° 27') em relação ao Equador faz com que os dois hemisférios terrestres recebam quantidades diferentes de radiação solar ao longo do ano, determinando as quatro estações. Na Figura 3.7, vemos a trajetória elíptica da terra em torno do sol e as quatro estações do ano no hemisfério Sul.

Figura 3.7 | Movimento de translação determina as quatro estações do ano



Fonte: adaptada de Lamberts et al. (2016).

O outono e a primavera são diferenciados pelo caminho em forma de elipse que a Terra percorre, enquanto o verão e o inverno são determinados pela inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano do Equador. Tal inclinação determina os solstícios, dois dias típicos que representam a duração máxima e mínima do dia. O solstício de verão é o dia mais longo do ano e o solstício de inverno o dia mais curto. Quando é solstício de verão no Hemisfério Norte, no Hemisfério Sul é solstício de inverno, e vice-versa. Depois de três meses de cada solstício ocorrem os equinócios (de primavera e outono), quando a Terra está numa posição em que o sol incide igualmente nos dois hemisférios. Nesses dois dias do ano a noite e o dia duram o mesmo número de horas, em qualquer ponto da Terra.

A Tabela 3.2 apresenta as datas dos solstícios e equinócios no Hemisfério Sul, e a posição do sol em relação aos trópicos. É importante lembrar que no Hemisfério Sul e Norte os solstícios e equinócios são complementares, ou seja, quando inicia o equinócio de primavera no Sul, é também o início do equinócio de outono no Hemisfério Norte e vice-versa.

Tabela 3.2 | Datas dos solstícios e equinócios no Hemisfério Sul e a posição do sol

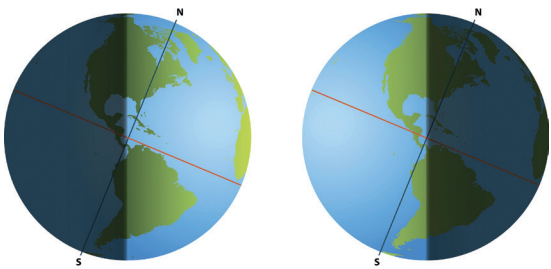
Denominação	Dia	Posição do sol em relação à Terra
Solstício de **verão**	21/12	Sol perpendicular ao Trópico de Capricórnio, às 12h.
Solstício de **inverno**	21/06	Sol perpendicular ao Trópico de Câncer, às 12h.

Denominação	Dia	Posição do sol em relação à Terra
Equinócio de **primavera**	21/09	Sol perpendicular ao Equador, às 12h.
Equinócio de **outono**	21/03	Sol perpendicular ao Equador, às 12h.

Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 3.8 nos mostra como luz do sol incide sobre a Terra nos solstícios, dias 21 de junho solstício de inverno no hemisfério sul e Solstício de verão no hemisfério norte, e 21 de dezembro (solstício de verão no hemisfério sul e Solstício de Inverno no hemisfério norte). Nota-se como a radiação solar ilumina os dois hemisférios de forma diferenciada. No dia 21 de junho, o hemisfério Norte recebe mais radiação, por isso nessa data acontece o Solstício de verão em toda a região acima do equador, enquanto no hemisfério sul ocorre o solstício de inverno. Em 21 de dezembro acontece o inverso, o hemisfério Sul recebe mais radiação, sendo, portanto, solstício de verão abaixo da linha do equador e solstício de inverno no hemisfério norte.

Figura 3.8 | Incidência diferenciada da radiação solar nos Hemisférios Norte e Sul durante os Solstícios



21 de junho 21 de dezembro

Fonte: adaptada de iStock.

Pesquise mais

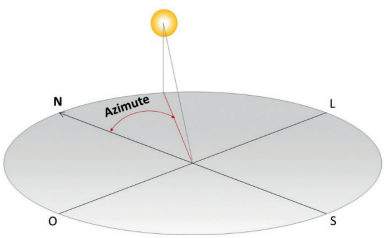
Assista ao vídeo *Estações do ano* (*videoaula de geografia*), que falará sobre os movimentos de rotação e translação da Terra e a determinação das estações do ano em função dessa movimentação.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Qejc-mAObgw>. Acesso em: 7 fev. 2018.

Segundo Lamberts et al. (2016), os locais entre os Trópicos de Câncer (Hemisfério Norte) e Capricórnio (Hemisfério Sul) recebem mais radiação solar. Para um observador situado na Terra, o sol aparenta movimentar-se ao longo do dia e do ano entre essas regiões, variando seu percurso entre os solstícios de verão e inverno. O movimento ou trajetória aparente do sol é movimento diário do sol percebido na esfera celeste como uma série de circunferências paralelas ao Equador. Determina-se uma trajetória aparente do sol para cada dia do ano, em função da latitude do local.

A localização do sol no céu é identificada por dois ângulos, o azimute solar (A) e a altura solar (H). Ambos variam de acordo com a latitude, o dia do ano e o horário. O azimute (A) solar é o ângulo entre o norte geográfico e projeção do sol no plano horizontal (Figura 3.9).

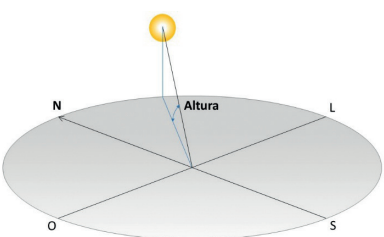
Figura 3.9 | Azimute Solar



Fonte: elaborada pelo autor.

A altura solar (H): ângulo formado entre o sol e o plano horizontal da Terra (Figura 3.10). Ao nascer, a altura do sol é zero, esse valor vai aumentando até atingir o máximo ao meio dia (90° em alguns locais), após esse horário decresce até zero no pôr do sol. O conhecimento desses ângulos é muito útil para determinação da insolação das aberturas, da necessidade de sombreamento e também para se projetar proteção para as entradas de radiação solar.

Figura 3.10 | Altura solar



Fonte: elaborada pelo autor.

Na próxima seção aprenderemos como utilizar na prática o conhecimento a respeito da geometria solar de cada latitude.

Sem medo de errar

Para orientar seus clientes na escolha do imóvel mais adequado à família e às condições climáticas da cidade para onde estão se mudando você fará um levantamento.

Cada cidade analisada gerará um resultado diferente. Adotamos a cidade de Uberlândia - MG, para usá-la como exemplo da resolução do exercício.

• Qual a latitude da cidade?

A latitude de Uberlândia - MG é 18° 55' 07" S.

• Qual o clima da cidade?

Consultando a subdivisão simplificada em cinco Zonas Climáticas, adotada para o IBGE (apresentada na Seção 1 da Unidade 2), constatamos que a cidade de Uberlândia está na zona Climática Tropical Brasil Central.

• Quais as características climáticas em cada estação do ano?

Tem como principais características verões quentes e chuvosos e inverno com frio moderado e seco. A temperatura média anual é de 20 °C.

• Em qual Zona Bioclimática a cidade está localizada?

Para resolver essa questão, utilizamos o software ZBBR. Segundo as informações fornecidas, Uberlândia está classificada na Zona Bioclimática 4.

• Quais as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade em relação à insolação (sombrear aberturas, aquecimento solar da edificação, permitir insolação dos ambientes)?

Verão: refrigeração evaporativa, Inércia térmica para resfriamento e ventilação seletiva (alguns horários).

Inverno: aquecimento solar da edificação e paredes internas pesadas.

• De acordo com as características da família e as necessidades de cada membro, como devem ser as características térmicas dos principais ambientes?

Esta resposta será a mesma para qualquer cidade analisada, pois

trata-se de uma avaliação das necessidades da família.

Primeiramente é bom relembrar as características da família. O pai, 48 anos; a mãe, 43 anos; os filhos, 14 anos e 9 anos e a avó, 71 anos, sofre de doença reumática e mora com eles há poucos meses. Eles, que se mudarão para a sua cidade, buscam um imóvel que os acomode bem e ofereça clima agradável durante o ano todo.

Depois verifique as características climáticas da cidade. Por fim, anote as necessidades para cada ambiente.

Dormitórios: os dormitórios dos pais e dos filhos devem receber o sol da manhã, pois o verão da cidade estudada é quente. O dormitório da avó deve receber insolação o ano todo, sem exceção, pois ela tem problemas reumáticos e não pode dormir em um ambiente gelado.

Os ambientes que não são de permanência como a sala de estar, sala de Jantar e cozinha, de preferência, devem receber insolação da manhã, caso não seja possível a insolação da tarde também é uma opção, desde que haja sombreamento das aberturas.

Os banheiros e área de serviço devem ter boa ventilação e insolação, pois são ambientes úmidos.

Como uma das estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade é a ventilação seletiva, todas as aberturas devem apresentar a possibilidade de serem fechadas.

Todos os ambientes devem receber algumas horas de insolação ao longo do dia, especialmente no inverno que é frio.

Avançando na prática

Bar de vidro

Descrição da situação-problema

Um cliente contratou seu escritório de arquitetura e design de interiores para fazer o projeto de um bar na cidade de São José do Rio Preto - SP. Na primeira entrevista ele contou sobre o desejo de fazer todas as fachadas do local envidraçadas para que o cliente se sinta no ambiente interno e externo ao mesmo tempo, assim como num bar que ele visitou em Toronto, Canadá.

Você acha que essa é a melhor opção para a cidade em questão? Por quê?

Para ajudá-lo a encontrar as respostas a essas questões e ter bons argumentos para o seu cliente, responda às seguintes questões:

• Qual o clima da cidade?

• Quais as características climáticas em cada estação do ano?

• Em qual Zona Bioclimática a cidade está localizada?

• Quais as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade em relação à insolação (sombrear aberturas, aquecimento solar da edificação, permitir insolação dos ambientes)?

• Ambientes envidraçados são adequados para o clima da cidade?

• Quais os problemas gerados por ambientes fechados por superfícies transparentes em cidades de clima quente?

Resolução da situação-problema

• Qual o clima da cidade?

Consultando a subdivisão simplificada em cinco Zonas Climáticas adotada para o IBGE (apresentada na Seção 1 da Unidade 2), constatamos que a cidade de São José do Rio Preto - SP está situada na zona Climática Tropical Brasil Central.

• Quais as características climáticas em cada estação do ano?

A zona climática Tropical Brasil Central tem como principais características verões quentes e chuvosos e inverno com frio moderado e seco. A temperatura média anual é de 20 °C.

• Em qual Zona Bioclimática a cidade está localizada?

Para resolver essa questão utilizamos o software ZBBR. Segundo as informações fornecidas, São José do Rio Preto - SP está classificada na Zona Bioclimática 6.

• Quais as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade em relação à insolação (sombrear aberturas, aquecimento solar da edificação, permitir insolação dos ambientes)?

Verão: refrigeração evaporativa, inércia térmica para resfriamento e ventilação seletiva (alguns horários).

Inverno: paredes internas pesadas.

• Ambientes envidraçados são adequados para o clima da cidade?

Não, pois como podemos perceber, a cidade apresenta o clima muito quente no verão, precisando de várias estratégias para obter a temperatura adequada dos ambientes.

O vidro não é adequado para esse tipo de clima por permitir a passagem da radiação solar (ondas curtas) para o ambiente interno causando o superaquecimento do espaço. Isso acontece, pois, após incidir nos elementos ela se transforma em radiação térmica (onda longa) e o vidro não é transparente às ondas longas, ou seja, não permite que o calor interno se dissipe para fora, criando uma espécie de estufa dentro do ambiente.

• Quais os problemas gerados por ambientes fechados por superfícies transparentes em cidades de clima quente?

Em cidades de clima quente os ambientes envidraçados possibilitarão a incidência de radiação dentro do ambiente durante o dia todo, havendo o superaquecimento do ambiente, o que causará desconforto aos usuários e até mesmo o dano aos materiais e alimentos armazenados no local.

Faça valer a pena

1. O sol incide sobre o edifício representando ganho de calor, que ocorre em função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas das superfícies do edifício. Os elementos da edificação são classificados como opacos ou transparentes/translúcidos.

Ao incidir em uma superfície opaca uma parte da radiação solar é refletida e o restante é absorvido, transformando-se em calor, que é dissipado para dentro e para fora do ambiente. Em elementos translúcidos, as parcelas de radiação refletida e absorvida são bem pequenas, a maior parte dela passa livremente para o ambiente interno sem sofrer modificações.

Baseando-se nas trocas térmicas que ocorrem através desses elementos, assinale a alternativa que indica qual deles propicia maior ganho e acúmulo de calor para o ambiente interno e o porquê.

a) Ambos têm o mesmo comportamento e não influenciam no aquecimento de um ambiente.

b) Os elementos opacos, porque absorvem mais radiação (ondas curtas) que se transforma em calor (ondas longas) e não consegue se dissipar do ambiente porque as paredes são opacas.

c) Os elementos opacos porque a radiação incidente (ondas curtas) é transmitida sem alterações (ondas curtas) para o interior do ambiente e ao incidir no chão, nas paredes, nos objetos, no mobiliário, dentre outros, transforma-se em radiação térmica (ondas longas), superaquecendo o espaço.

d) Elementos transparentes ou translúcidos, porque a maior parte da radiação incidente (ondas curtas) é transmitida para o interior da edificação e ao incidir no chão, nas paredes, nos objetos, no mobiliário, dentre outros, é absorvida e transformada em calor (ondas longas), aquecendo o ambiente. O vidro não é transparente às ondas longas, ou seja, impede que o calor se dissipe para o exterior, ocorrendo o que chamamos de efeito estufa.

e) Elementos transparentes ou translúcidos, porque a maior parte da radiação solar (ondas curtas) é absorvida pelo vidro que se aquece e transmite calor (ondas longas) para o interior e o exterior do ambiente.

2. Na cidade de Londres, Inglaterra, um arranha-céu, apelidado de "Walkie-Talkie" por ter uma forma bem peculiar, foi o responsável pelo derretimento de partes de um carro. Isso aconteceu devido ao calor gerado pelos raios de sol refletidos por suas janelas. Como a fachada do prédio é curvilínea (côncava) com janelas de vidro espelhado, a maior parte da radiação solar incidente é refletida convergindo em um só ponto, focando e concentrando a luz, que ao ser absorvida se transforma em calor. O carro, um Jaguar, estava estacionado exatamente em um local atingido por um foco de radiação refletida. Além do carro, outros objetos sofreram estrago, como um banco de bicicleta que também derreteu, uma pintura que empolou, um pedaço de tecido que queimou, dentre outros. Na época, um jornalista que fazia uma reportagem sobre o acontecido chegou a fritar um ovo com o calor dos raios de sol concentrados.

Segundo a empresa construtora do edifício o problema estava sendo causado pela posição do sol naqueles dias, que se alteraria dentro de algumas semanas. A solução encontrada foi jatear os vidros espelhados, tornando-os fosco, para que eles refletissem menos a luz solar, diminuindo assim os problemas causados pelo mal planejamento das fachadas.

Considerando o caso relatado no texto acima, avalie as seguintes afirmações:

I.Os problemas poderiam ter sido evitados se a fachada curvilínea não estivesse voltada para um estacionamento, mas sim para uma calçada de pedestres.

II.A implantação do edifício deveria basear-se no estudo da insolação das suas fachadas considerando a latitude do local, a sua orientação em relação ao norte, datas e horários importantes. Desta forma seria evitado o superaquecimento do entorno do edifício.

III.Caso fosse realizada a simulação do comportamento da radiação solar refletida pela fachada envidraçada utilizando-se do estudo da geometria da insolação, da altura solar e do azimute solar, seria possível prever e evitar a concentração da radiação solar em alguns pontos e períodos específicos.

É correto apenas o que se afirma em:

a) I

b) I e III

c) II e III

d) I e II

e) I, II e III

3. A Terra realiza dois movimentos. Em um deles, ela gira em torno de si mesma e essa movimentação produz o dia e a noite. No outro, é responsável pela existência das quatro estações do ano (primavera, verão, outono e inverno); ela faz uma trajetória elíptica ao redor do sol em um plano inclinado em relação ao plano do equador, completando uma volta em aproximadamente um ano. Por esse plano ser inclinado a quantidade de radiação incidente nos hemisférios varia e isso gerará as estações.

Quais os movimentos terrestres responsáveis pela existência do dia e da noite e das estações do ano respectivamente?

a) Translação e Rotação.

b) Rotação e Translação.

c) Rotação e Deslizamento.

d) Aceleração e Translação.

e) Translação e Espiralização.

Seção 3.2

Determinação e análise da insolação – cartas solares

Diálogo aberto

Prezado aluno, bem-vindo à Seção 2 da Unidade 3!

Nela apresentaremos as cartas solares (diagrama solar) e suas funções práticas, como a determinação da posição do sol no céu, por meio do azimute e da altura solar. Você aprenderá a identificar os horários de insolação nas fachadas de acordo com sua orientação utilizando o diagrama solar do local. Além disso, você será orientado quanto à escolha do posicionamento dos ambientes e de suas aberturas de acordo com o clima local e a insolação das fachadas.

Após adquirir esses conhecimentos você poderá colocá-los em prática para resolver a seguinte situação.

Você deve identificar as características relacionadas à insolação de cada unidade habitacional e apontar a mais adequada ao programa de necessidades da família. Faça o estudo da insolação utilizando a carta solar da sua cidade.

• Qual o azimute e a altura solar, das 6h às 18h, durante o ano todo (solstício de verão, solstício de inverno e equinócios de outono e primavera)? Obtenha a resposta por meio da carta solar referente à latitude da sua cidade. Anote as respostas em uma tabela semelhante à Tabela 3.4, apresentada nesta seção.

• Quais os horários de insolação de cada uma das fachadas do edifício no solstício de verão, solstício de inverno e equinócios de outono e primavera? Faça o estudo da insolação das fachadas usando a carta solar da cidade e anote as informações em uma tabela semelhante à Tabela 3.5.

• Qual dos apartamentos tem a insolação mais adequada às necessidades da família e às estratégias bioclimáticas para insolação da cidade em questão? Por quê?

Bom trabalho!

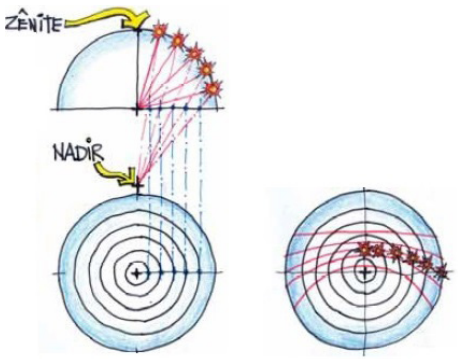
Não pode faltar

As cartas solares são utilizadas para determinar o ângulo de incidência do sol sobre uma superfície de acordo com a sua orientação em relação ao sol. É necessário saber interpretá-la para que ela se torne uma ferramenta eficaz na elaboração de projetos bioclimáticos. Os diagramas ou cartas solares são gerados a partir da projeção das trajetórias do sol na abóbada celeste ao longo do ano e variam de acordo com a latitude do local. Existem diversos métodos para a construção dessa projeção, o mais conhecido e utilizado é o estereográfico.

Assimile

Zênite é o cruzamento vertical superior de um local com a abóbada celeste. Nadir é o oposto do Zênite, isto é, o encontro vertical inferior de um lugar com a esfera celeste. Na Figura 3.11 é possível identificá-los.

Figura 3.11 | Construção da carta solar a partir da projeção estereográfica

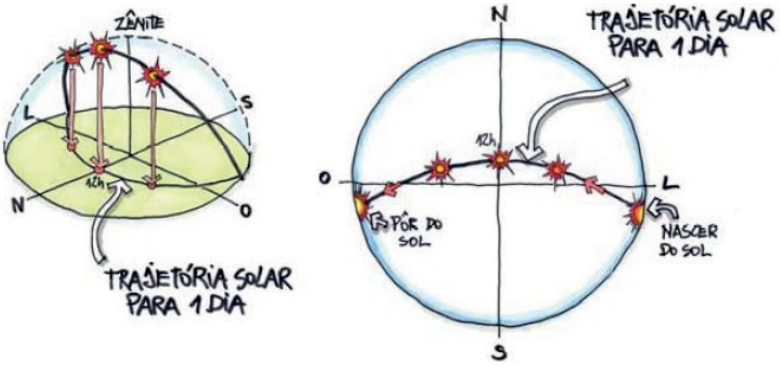


Fonte: adaptada de Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 119).

Na projeção estereográfica, qualquer ponto da abóbada celeste é projetado num ponto teórico chamado Nadir, que é diametralmente oposto ao Zênite. Os círculos de alturas são traçados nas locais em que as projeções do Nadir se cruzam com o plano horizontal. Podemos observar o seu método construtivo na Figura 3.11. Quando pensamos na movimentação do sol ao longo de um dia, desde seu nascer até se pôr, imaginamos hipoteticamente que ao fazer a sua trajetória ele está desenhando uma linha na esfera celeste. Esta linha, que terá o formato de um semicírculo, se projetada no

chão representaria esse percurso de um dia no plano horizontal (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014). A Figura 3.12 nos mostra como seria feita essa projeção da trajetória do sol em um determinado local. Além da marcação do percurso, são marcados os pontos específicos onde o sol se localiza nos horários das 6h às 18h.

Figura 3.12 | Trajetória solar de um dia na carta solar



Fonte: adaptada de Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 120).

É possível se fazer a projeção da trajetória solar para todos os dias do ano, no entanto, é importante observar que o sol faz o mesmo percurso durante duas vezes no ano, exceto nos solstícios (21/06 e 21/12), que são as trajetórias extremas.

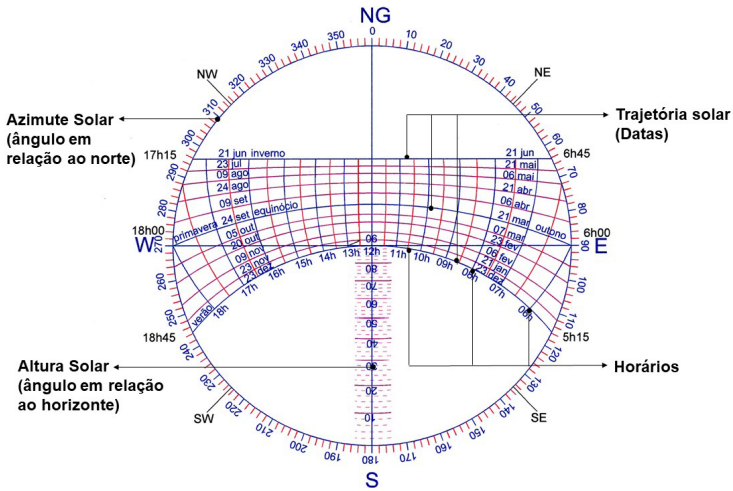
Nos equinócios de outono e primavera (21/03 e 21/09, no Hemisfério Sul e o contrário no Hemisfério Norte) o sol faz a mesma trajetória ao longo do dia na abóbada celeste. E isso acontece para todos os demais dias do ano. Portanto, a quase todas as linhas curvas das cartas solares representam a trajetória do sol em dois dias no ano, com exceção daquelas que representam os solstícios, como já citado.

Reflita

Cada cidade está numa posição geográfica diferente, desta forma notamos que o ângulo de incidência da radiação solar também mudará de acordo com o local estudado. Já que a posição do sol em relação à Terra varia de acordo com a latitude do local, será que para cada latitude haverá uma carta solar diferente?

A carta solar nos fornece graficamente diversas informações, para interpretá-las precisamos saber o que significa cada uma delas. Na Figura 3.13 podemos observar a carta solar referente à latitude 23° 27' Sul (Trópico de Capricórnio), onde estão apontadas a localização de quatro tipos de informações, azimute solar; altura solar; trajetória solar nos solstícios, equinócios e em outras datas; e horário do dia, das 6h às 18h.

Figura 3.13 | Informações contidas na carta solar da latitude 23° 27' Sul (Trópico de Capricórnio)



Fonte: elaborada pelo autor.

Utilização da carta solar na prática

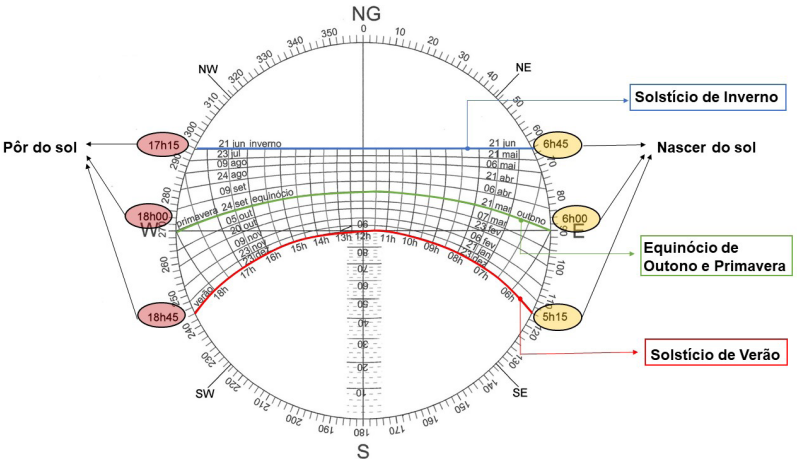
A partir da interpretação dos dados fornecidos pela carta solar referente à latitude do local, é possível se conhecer a posição exata do sol em determinado momento, identificar o número de horas de sol na data desejada, saber se as superfícies externas da edificação receberão insolação e em quais horários, se uma construção vizinha vai sombrear o sol que incidiria nas fachadas, se o sol vai penetrar por uma abertura e se ela deve receber sombreamento em determinadas datas e horários.

Aprenderemos aqui a identificar a duração do dia em datas diversas, determinar a posição exata do sol no céu, por meio do azimute e da altura solar, e determinar as horas de insolação de cada fachada de acordo com a época do ano.

Primeiramente veremos como saber a duração das horas de sol

em dias variados. Para isso observe a Figura 3.14, que mostra a carta solar para a latitude 23 °27' com as marcações das linhas referentes aos solstícios e equinócios e os respectivos horários de insolação.

Figura 3.14 | Carta Solar com indicação dos horários do nascer e pôr do sol



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao observarmos a Figura 3.14, notamos que a linha que representa o solstício de verão é bem maior que a linha do solstício de inverno. Isto significa que no dia 21 de dezembro (solstício de verão) há mais horas de sol que no dia 21 de junho (solstício de inverno). A linha dos equinócios tem comprimento intermediário, ou seja, o dia dura menos que no verão e mais que no inverno. Para sabermos o número de horas de sol durante determinado dia do ano, basta identificar o horário do nascer e do pôr do sol, na linha referente ao dia desejado.

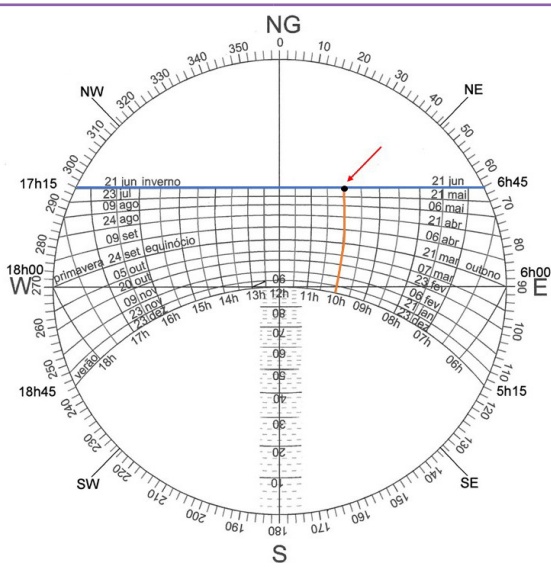
Determinação da posição do sol no céu: identificação do azimute e da altura solar

Por meio da carta solar também é possível determinar a posição exata do sol no céu em determinado horário e dia do ano. O cruzamento entre o azimute solar (A) e a altura solar (H) nos mostrará o posicionamento do sol na abóbada celeste. Para identificá-los seguimos os seguintes passos, que podem ser acompanhados com imagens explicativas na Tabela 3.3. 1) Determinar a data e horário em se quer encontrá-los. Neste caso escolhemos às 10h no solstício de

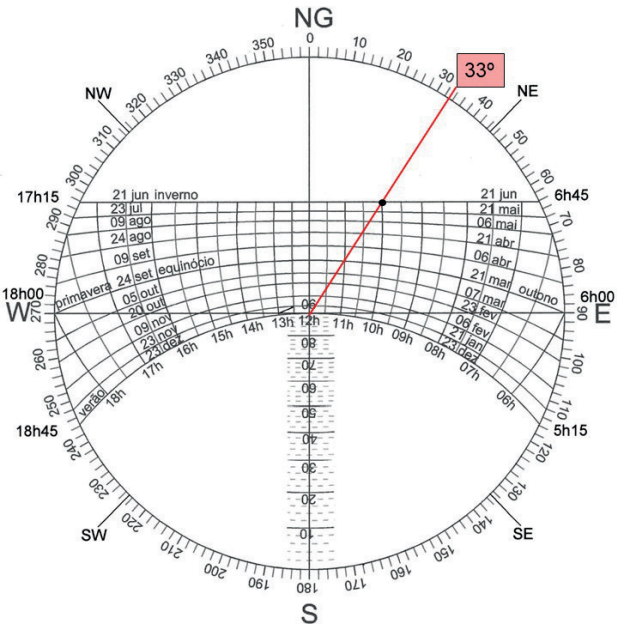
inverno (21/06). 2) Cruzar as linhas de data e hora e marcar um ponto na intersecção. 3) Traçar uma linha do centro da carta passando pelo ponto do cruzamento de data e hora, até o anel externo, onde será identificado o azimute solar, que será 33° para as 10h no solstício de inverno. 4) Agora vamos determinar altura solar. Para isso deve-se transferir para a linha da altura solar a distância entre o centro da carta e o ponto de cruzamento de data e horas. Faça isso utilizando um compasso. Coloque a ponta seca do compasso no centro da carta solar; abra o compasso até o ponto de intersecção marcado na linha do solstício de inverno; trace uma circunferência; no ponto em que cruzar com a linha vertical o ângulo indicado será a altura solar. Nesse caso H = 34°.

Tabela 3.3 | Passo a passo para a identificação do azimute solar e da altura solar

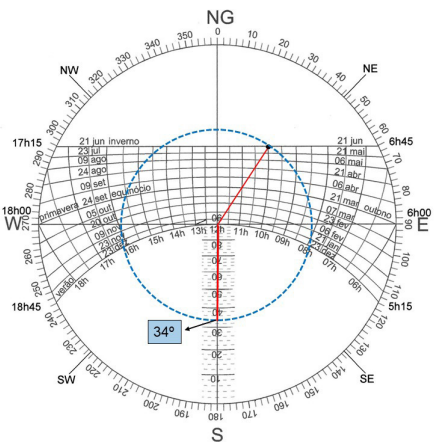
Passo 1: Escolha da data e horário	21/06 → Solstício de inverno
Passo 2: Intersecção entre a data e o horário	



Passo 3: Desenhar linha do centro da carta, passando pelo ponto de intersecção até o anel externo



Passo 4: Determinar altura solar, transferindo para a linha da altura solar a distância entre o centro da carta e o ponto de cruzamento de data e horas



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao passo que identificamos os azimutes e alturas solares podemos organizá-los em tabelas, o que facilitará o uso desses dados posteriormente, para a projeção das sombras das edificações vizinhas, o desenho das manchas de sol dentro dos ambientes, o projeto de dispositivos de sombreamento das aberturas, dentre outros. A Tabela 3.4 pode ser usada como referência para a organização dessas informações. Os dados nela contidos referem-se à latitude 23°27' Sul, que estamos usando como base para nossos exemplos.

Tabela 3.4 | Azimute e altura solar (latitude 23°27' Sul) de diversos horários

Horário		Solstício de verão	Equinócio de outono e primavera	Solstício de inverno
10h	Azimute (A)	97°	56°	33°
	Altura (H)	62°	53°	34°
12h	Azimute (A)	0°	0°	0°
	Altura (H)	90°	65°	55°

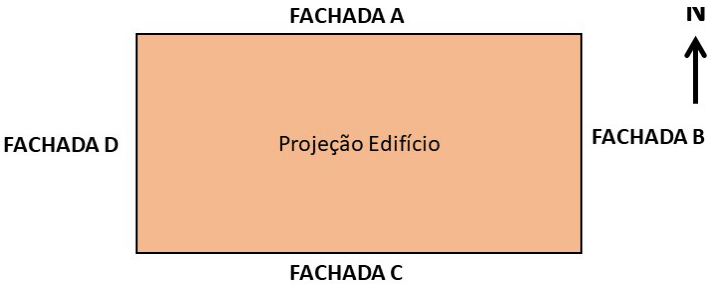
Fonte: elaborada pelo autor.

O ideal é que façamos esse procedimento para os horários em 6h e 18h nos solstícios de verão e inverno e nos equinócios de outono e primavera, que são iguais. Na Tabela 3.4 podemos perceber que no horário das 12h todos os azimutes são 0°, isso acontece em todas as latitudes, pois o sol sempre estará na direção norte (0°) nesse horário. Outro detalhe importante é que a altura solar sempre será a mesma em horários cuja diferença até às 12h seja a mesma, mas em períodos opostos, por exemplo, às 11h e às 13h, às 15h e às 9h, à 1h e às 10h e assim por diante. Nesses horários os azimutes são complementares, isto é, se somados o resultado será 360°.

Determinação dos horários de insolação nas fachadas

Para sabermos os horários em que o sol incidirá em cada fachada da construção, ou em cada face de um terreno, primeiramente nós tiramos uma cópia da carta solar em uma superfície transparente, como uma folha de acetato ou papel vegetal. Então desenhamos em uma folha de papel comum um retângulo que representa a projeção da edificação ou os limites do lote. Nele nomeamos cada fachada e indicamos a direção do Norte, assim como mostra a Figura 3.15.

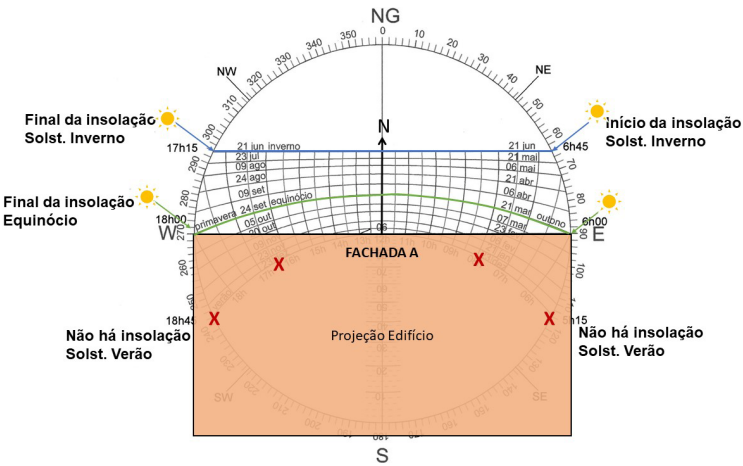
Figura 3.15 | Projeção edificação a ser analisada



Fonte: elaborada pelo autor.

Depois nós colocamos a carta solar sobre o retângulo, sobrepondo seu ponto central à linha da fachada que iremos analisar. É importante alinhar o norte da carta solar ao norte do desenho. Na Figura 3.15 estamos estudando os horários de incidência solar na fachada A. No solstício de inverno a linha da projeção solar não toca a linha da fachada A, portanto o sol incide naquela fachada desde o nascer do sol (6h45min) até o pôr do sol (17h15). No equinócio de outono e primavera ocorre a mesma situação, o que indica que há insolação na fachada A desde as 6h até as 18h. No entanto, verificamos que no solstício de verão a linha de projeção do sol está toda encoberta pela construção, isso significa que não há incidência solar nesta fachada durante o solstício de verão.

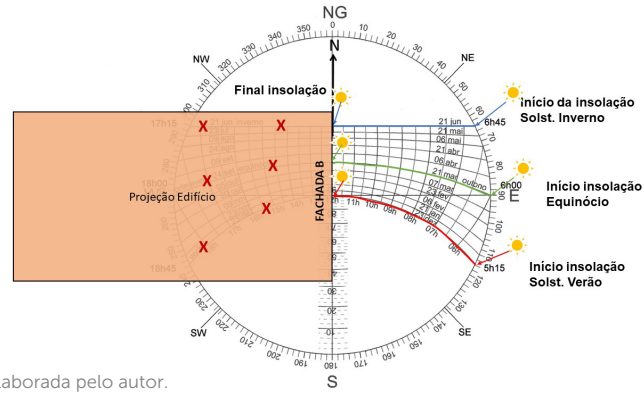
Figura 3.16 | Determinação da insolação na fachada A



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 3.17 mostra o posicionamento da carta solar sobre o retângulo quando estudamos os horários de insolação na fachada B. O resultado mostra que no solstício de inverno a linha da fachada B interceptou a linha de projeção do sol a partir das 12 horas, o que significa que houve insolação do nascer do sol (6h45min) até às 12h naquela fachada. Nos equinócios e no solstício de verão ocorreu a mesma situação, a única diferença é o horário do alvorecer, que no equinócio será às 6h e no solstício de verão às 5h15min, porém o final do período de insolação coincide nos quatro períodos.

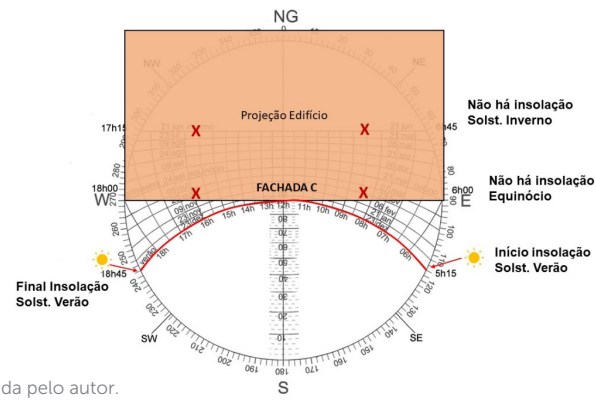
Figura 3.17 | Determinação da insolação na fachada B



Fonte: elaborada pelo autor.

O procedimento é o mesmo para as demais fachadas. Na Figura 3.18 vemos que na fachada C não há insolação no solstício de inverno e nos equinócios de outono e primavera, enquanto no solstício de verão há incidência solar durante todo o dia.

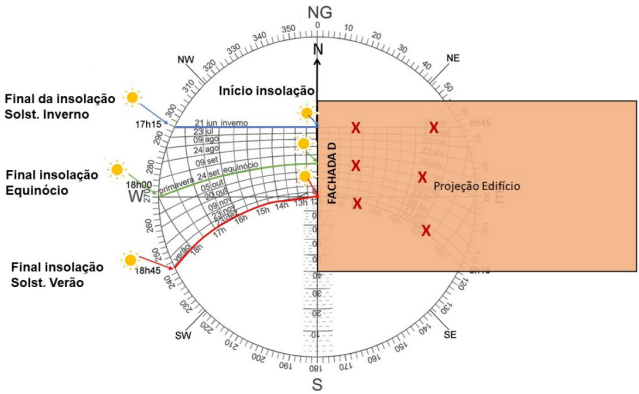
Figura 3.18 | Determinação da insolação na fachada C



Fonte: elaborada pelo autor.

Finalmente o estudo da fachada D nos mostra que os horários de insolação são opostos aos da fachada B, ou seja, há incidência solar a partir das 12h até o pôr do sol em todos os períodos. A diferença ocorre no horário em que o sol se põe. Podemos verificar isso na Figura 3.19.

Figura 3.19 | Determinação da insolação na fachada C



Fonte: elaborada pelo autor.

Durante o estudo da insolação das fachadas anote as informações em uma tabela semelhante à Tabela 3.5, desta forma ficará mais fácil a compreensão do comportamento da insolação na edificação durante os períodos estudados.

Tabela 3.5 | Horários de insolação de acordo com o estudo realizado

	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Fachada A	Não há incidência	Das 6h às 18h	Das 6:45 às 17:15
Fachada B	Das 5:15 às 12h	Das 6h às 12h	Das 6:45 às 12h
Fachada C	Das 5:15 às 18:45	Não há incidência	Não há incidência
Fachada D	Das 12h às 18:45	Das 12h às 18h	Das 12H às 17:15

Fonte: elaborada pelo autor.

O conhecimento dos horários em que o sol incide nas fachadas de uma edificação nos ajudará a analisar e determinar a melhor disposição dos ambientes internos e de suas aberturas de acordo com o clima local e com as necessidades dos usuários. Os ambientes de permanência como os dormitórios devem sempre oferecer a melhor temperatura aos usuários.

Exemplificando

Por exemplo, em climas quentes os espaços de permanência devem estar voltados para a insolação da manhã, pois durante a tarde e início da noite o ambiente perderá o calor ganho por radiação apresentando a temperatura agradável no horário de dormir. Em locais de clima frio os dormitórios e suas aberturas devem estar direcionados para o sol da tarde, pois haverá um período de armazenamento de calor durante a noite e início da madrugada, o que manterá a temperatura adequada para os habitantes durante o sono. No entanto, mesmo em regiões de clima quente durante todo o ano, os ambientes de permanência devem receber insolação em algum período do dia, especialmente no inverno.

Na próxima seção nós conheceremos uma outra ferramenta muito útil para o estudo da insolação e também receberemos mais instruções para a adequação da insolação dos ambientes internos.

Pesquise mais

Para ter acesso a cartas solares das latitudes 0° a 32° Sul consulte o anexo 13 do livro *Manual de conforto térmico* dos autores Frota e Schiffer.

É possível baixar um arquivo de extensão DWG com cerca de 50 cartas solares referentes a latitudes Norte e Sul no site do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) da FAU-USP. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>. Acesso em: 7 fev. 2018.

Sem medo de errar

Você apresentará uma tabela com o azimute e a altura solar durante o ano todo, uma tabela com os horários de insolação de cada fachada do edifício, resultado do estudo da insolação feito com base na carta solar da latitude mais próxima à da sua cidade e identificará qual dos apartamentos tem a insolação mais adequada.

Cada cidade terá uma latitude e consequentemente uma resposta. Nós resolvemos o exercício utilizando a cidade de Uberlândia - MG como exemplo. A carta solar usada foi a da latitude 18°, já que a latitude da cidade é 18° 55'.

O cálculo dos azimutes e alturas solar resultou na Tabela 3.6.

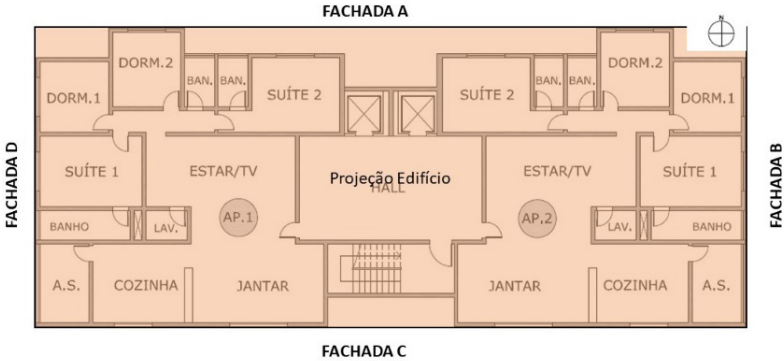
Tabela 3.6 | Azimute (A) e Altura Solar (H) para a latitude 18°

Horário		Solstício de verão	Equinócio de outono e primavera	Solstício de inverno
6h	Azimute (A)	112°	90°	-
	Altura (H)	7°	0°	-
7h	Azimute (A)	108°	86°	63°
	Altura (H)	20°	14°	6°
8h	Azimute (A)	107°	80°	57°
	Altura (H)	34°	28°	18°
9h	Azimute (A)	105°	73°	48°
	Altura (H)	47°	43°	29°
10h	Azimute (A)	106°	62°	36°
	Altura (H)	62°	56°	39°
11h	Azimute (A)	114°	41°	20°
	Altura (H)	75°	67°	46°
12h	Azimute (A)	0°	0°	0°
	Altura (H)	85°	73°	48°
13h	Azimute (A)	246°	319°	340°
	Altura (H)	75°	67°	46°
14h	Azimute (A)	254°	298°	294°
	Altura (H)	62°	56°	39°
15h	Azimute (A)	255°	287°	312°
	Altura (H)	47°	43°	29°
16h	Azimute (A)	253°	280°	303°
	Altura (H)	34°	28°	18°
17h	Azimute (A)	252°	274°	297°
	Altura (H)	20°	14°	6°
18h	Azimute (A)	248°	270°	-
	Altura (H)	7°	0°	-

Fonte: elaborada pelo autor.

Foi feito um retângulo sobre a planta do pavimento tipo do edifício estudado, representando a projeção daquela edificação, como se vê na Figura 3.20. As fachadas foram nomeadas de A a D em sentido horário.

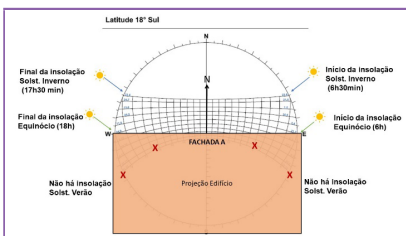
Figura 3.20 | Planta pavimento tipo e retângulo representando a projeção do edifício



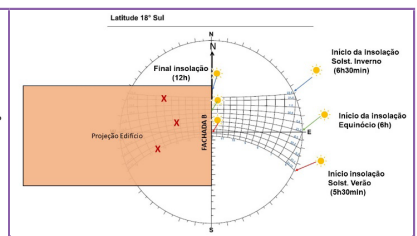
Fonte: elaborada pelo autor.

O estudo da insolação do pavimento tipo foi feito com a sobreposição da carta solar referente à latitude 18° à projeção do edifício. As etapas do estudo são mostradas nas Tabelas 3.7 e 3.8.

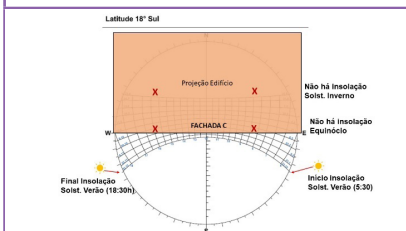
Figura 3.21 | Planta pavimento tipo e retângulo representando a projeção do edifício



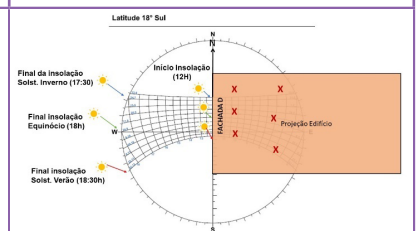
Fachada A



Fachada B



Fachada C



Fachada D

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3.7 | Resultados do estudo da insolação para latitude 18°

	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Fachada A	Não há incidência	Das 6h às 18h	Das 6:30 às 17:30
Fachada B	Das 5:30 às 12h	Das 6h às 12h	Das 6:30 às 12h
Fachada C	Das 5:30 às 18:30	Não há incidência	Não há incidência
Fachada D	Das 12h às 18:30	Das 12h às 18h	Das 12H às 17:30

Fonte: elaborada pelo autor.

A análise dos resultados do estudo da insolação aponta que, na cidade de Uberlândia - MG, o melhor imóvel para a família Teles é o apartamento 2.

Para a avó o ideal é a suíte 2, pois recebe sol durante o dia todo no inverno, no outono e na primavera e não recebe insolação direta no verão. O ambiente se manterá aquecido nos períodos mais frios e fresco no verão, não agravando seu problema de saúde.

Para o casal, suíte 1, pois recebe insolação da manhã durante o ano todo, mantendo-se sempre com temperatura agradável.

Para os filhos os dormitórios 1 e 2, o primeiro recebe insolação semelhante à suíte 2 e o segundo recebe insolação semelhante à suíte 1. Como os filhos não tem nenhuma restrição quanto a doenças, necessidades especiais, os dois dormitórios são adequados para ambos.

A área de serviço receberá insolação durante o período da manhã, o que é bom para secar as roupas sem superaquecer o ambiente durante a tarde.

A cozinha e sala de jantar terão incidência solar durante o dia todo apenas no verão, e não terão sol nos demais períodos. No entanto, esses ambientes estão na mesma posição nas duas unidades habitacionais. Como o inverno não é muito frio na cidade e a cozinha e a sala de jantar não são ambientes de permanência, a insolação está adequada. A sala de estar não recebe insolação direta, apenas indiretamente a partir da sala de jantar, o que não é um problema grave, pois não é um ambiente de permanência.

Os banheiros recebem boa insolação durante o dia todo ou manhã ao longo do ano todo.

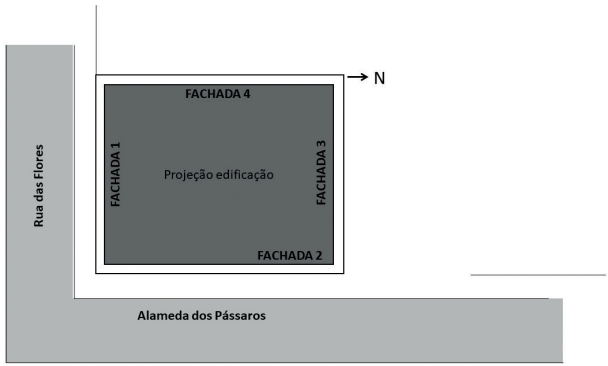
Avançando na prática

Insolação adequada da vitrine de uma loja de doces

Descrição da situação-problema

Você está fazendo o projeto de uma doceria. O imóvel, que fica em uma badalada esquina da cidade de Pelotas - RS, é uma antiga casa que está sendo adaptada. Antes de escolher em qual dos lados da esquina ficará a vitrine, você precisa saber com precisão o horário de incidência do sol em cada uma das fachadas, para evitar que os doces derretam. A Figura 3.22 mostra a projeção esquemática da edificação com a indicação do Norte.

Figura 3.22 | Planta de situação



Fonte: elaborada pelo autor.

Para ajudá-lo a tomar a decisão correta responda às seguintes perguntas:

- Qual a latitude de Pelotas - RS?
- Qual o horário de insolação das fachadas 1 e 2 no solstício de verão, nos equinócios de outono e primavera e no solstício de inverno?
- Qual a melhor fachada, 1 ou 2, para ser instalada a vitrine da loja de doces?

Resolução da situação-problema

A latitude de Pelotas - RS é 31° 46', portanto a carta solar mais adequada para o estudo da insolação é a da latitude 32°.

Os horários de insolação das fachadas 1 e 2 são os que constam da Quadro 3.8:

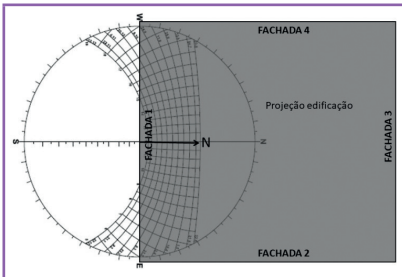
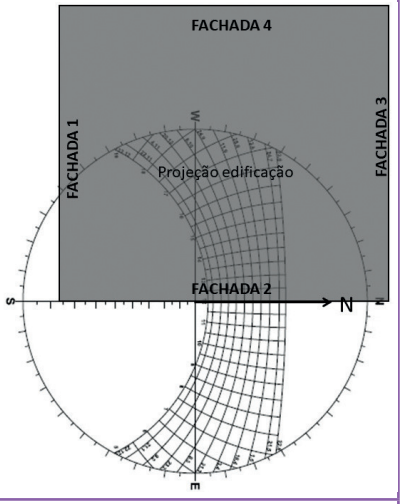
Quadro 3.8 | Resultados do estudo da insolação para latitude 24°

	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Fachada 1	Das 5h às 9h e das 15h às 19h	Não há incidência.	Não há incidência.
Fachada 2	Das 5h às 12h	Das 6h às 12h	Das 7h às 12h

Fonte: elaborada pelo autor.

A Tabela 3.9 mostra as etapas do estudo da insolação das duas fachadas de interesse.

Quadro 3.9 | Resultados do estudo da insolação para latitude 24°

	
Fachada 1	Fachada 2

Fonte: elaborada pelo autor.

De acordo com o estudo da insolação, as duas fachadas recebem insolação por algumas horas. A fachada 1 recebe radiação direta durante algumas horas da manhã e da tarde apenas no verão, enquanto a fachada 2 é banhada pelo sol durante toda a manhã, até às 12h no solstício de verão, equinócio de outono e primavera e no solstício de inverno. Quando analisamos a altura solar e o azimute solar no verão, nós percebemos que nos períodos que a fachada 1 recebe sol, a altura solar é muito baixa ou muito alta, o que quer dizer que o sol penetrará muito pouco pela vitrine. Além disso, se observarmos as datas seguintes ao solstício de verão, nos dias 09/02 e 04/11, por exemplo, o sol incidirá na fachada 1 até às 8h30 min e

depois das 15h30min; nos dias 23/02 e 20/10 haverá insolação na fachada até as 7h e depois das 17h. Portanto, o período de incidência solar nesta fachada é muito pequeno em relação à insolação na fachada 2, que recebe insolação durante toda a manhã, ao longo do ano inteiro. Assim sendo, é preferível que a vitrine esteja na fachada 1, que na prática quase não receberá radiação direta.

Faça valer a pena

1. Os diagramas solares, também conhecidos por cartas solares, são utilizados para se fazer o estudo da insolação das fachadas de uma edificação. Por meio dele é possível se determinar a exata posição do sol no céu, porém é necessário saber interpretá-lo para que seja uma ferramenta eficaz na elaboração de projetos bioclimáticos.

Quais são as informações possíveis de se extrair das cartas solares?

a) Azimute solar (A), latitude e longitude.

b) Latitude, clima e estratégias bioclimáticas para o local.

c) Azimute solar (A), altura solar (H) e estratégias bioclimáticas para o local.

d) Azimute solar (A), altura solar (H) e horário do nascer e pôr do sol de acordo com a orientação do dia do ano.

e) Latitude, horário do nascer e pôr do sol de acordo com a orientação o dia do ano e estratégias bioclimáticas para o local.

2. Utilizando-se a carta solar é possível determinar a posição exata do sol na abóbada celeste, em determinado horário e dia do ano. O cruzamento entre o azimute solar (A) e a altura solar (H) pode ser útil para determinarmos o posicionamento das aberturas nas fachadas, o tamanho dessas aberturas e apontar a necessidade de as sombrearmos caso haja excesso de incidência de radiação solar direta dentro do ambiente.

Qual será o azimute solar (A) e a altura solar (H) no solstício de verão às 9h em uma cidade situada na latitude 24° Sul?

a) A = 30° e H = 25°.

b) A = 25° e H = 30°.

c) A = 99° e H = 49°.

d) A = 49° e H = 99°.

e) A = 45° e H = 45°.

3. Sabemos que o Brasil é um país de dimensões continentais, por isso temos uma diversidade tão grande de características climáticas no nosso território. Ao compararmos o comportamento do sol em cidades nos dois extremos do país, perceberemos quão diferente será a duração do dia e a incidência solar nesses locais.

Utilizando as cartas solares referentes às latitudes 2° Norte e 32° Sul, determine o horário do nascer e do pôr do sol, no dia 22/06, nas cidades de Boa Vista - RR e Bagé - RS, respectivamente.

a) Boa Vista - RR (2° Norte) - nascer do sol: 7h e Pôr do sol: 17h. Bagé - RS (32° Sul) - Nascer do sol: 8h10min e Pôr do sol: 15h50min.

b) Boa Vista - RR (2° Norte) - Nascer do sol: 5h50min e Pôr do sol: 18h10min Bagé - RS (32° Sul) - Nascer do sol: 7h10min e Pôr do sol: 16h50min.

c) Boa Vista - RR (2° Norte) - Nascer do sol: 7h10min e Pôr do sol: 16h50min Bagé - RS (32° Sul) - Nascer do sol: 5h50min e Pôr do sol: 18h10min.

d) Boa Vista - RR (2° Norte) - Nascer do sol: 6h e Pôr do sol: 18h Bagé - RS (32° Sul) - Nascer do sol: 6h e Pôr do sol: 18h.

e) Boa Vista - RR (2° Norte) - Nascer do sol: 9h e Pôr do sol: 19h Bagé - RS (32° Sul) - Nascer do sol: 7h e Pôr do sol: 17h.

Seção 3.3

Ferramentas de avaliação e análise da insolação – heliodon

Diálogo aberto

Bem-vindo à última seção da Unidade 3. Nela você vai descobrir a importância de fazer o estudo da insolação em todos os seus projetos. Você será apresentado a um equipamento chamado heliodon, utilizado para fazer a simulação da insolação em maquetes físicas, e conhecerá algumas variações dessa ferramenta de estudo da geometria solar. No decorrer da seção você aprenderá como utilizar esse instrumento na prática para visualizar a trajetória solar ao longo do ano e extrair importantes informações sobe a incidência solar em determinada edificação e sobre o sombreamento gerado por edificações do entorno.

Depois de estudar o conteúdo da seção você estará pronto para praticar o que aprendeu. Você já realizou a indicação do apartamento mais adequado ao conforto térmico da família Teles, agora você deve fazer um estudo mais detalhado do apartamento escolhido. Para realizar sua tarefa de maneira eficiente siga as seguintes instruções:

• Faça uma maquete volumétrica, na escala 1:50, do apartamento. Não se esqueça de fazer as paredes internas e as aberturas de janelas e portas (internas e externas).

• Utilize a maquete elaborada e o equipamento heliodon para fazer a simulação da insolação das fachadas voltadas para o exterior do edifício.

• Em quais horários a radiação solar adentra os ambientes no solstício de verão, solstício de inverno e equinócios de outono e primavera? Faça uma tabela semelhante à Tabela 3.11, apresentada nesta seção, contendo apenas as informações referentes à entrada de insolação através das aberturas.

• É necessário se fazer a proteção solar de alguma das aberturas? Em quais delas? Por que elas precisam de proteção para evitar o

aquecimento excessivo ou o desconforto visual decorrente do ofuscamento?

Não pode faltar

A identificação dos horários de incidência solar é muito importante tanto para o conforto térmico quanto para o conforto luminoso. O estudo da trajetória aparente do sol é muito importante em todos os tipos de clima, pois por meio dele pode-se minimizar o ganho excessivo de calor ocasionado por radiação direta em climas quentes, enquanto em climas frios pode-se favorecer a captação da insolação a fim de aquecer os ambientes internos. Além disso, a entrada direta de radiação solar em um ambiente pode causar iluminação em excesso nas superfícies de trabalho, ou ofuscamento, o que prejudica o conforto luminoso/visual dos usuários, em qualquer tipo de clima. O ideal é que haja claridade no espaço interno sem a incidência direta da luz solar nas áreas úteis. Para que se alcance esses objetivos, após se identificar os horários de insolação em cada período do ano e hora do dia, é possível se fazer a implantação adequada da edificação; distribuir os ambientes de modo que sejam favorecidos pela insolação do local; escolher corretamente a orientação, tamanho e tipo de aberturas nas fachadas; e projetar protetores solares para o sombreamento das aberturas quando necessário.

Existem três principais métodos para se saber como o sol incide em uma edificação, todos eles nos dão como resultado a localização do sol na abóbada celeste. São eles: os métodos gráficos (cartas solares e transferidor de ângulo de sombra), os métodos físicos (modelos em escala como relógio solar, heliodon e solarscópio) e os métodos computacionais (KOENISBERGER et al., 1980).

Na última seção nós conhecemos um método gráfico, a carta solar, e aprendemos a usá-la para identificar os horários de nascer e pôr do sol, determinar a posição do sol no céu por meio do azimute e da altura solar, e reconhecer os horários em que o sol incide nas fachadas da edificação.

Nesta seção nós conheceremos uma outra ferramenta muito útil para avaliação e análise da insolação, o heliodon, um método físico. Esse equipamento, por meio da simulação do movimento aparente do sol, nos permite visualizar a trajetória solar ao longo

do dia de acordo com a época do ano e a latitude do local. Além das informações fornecidas pela carta solar, o heliodon também nos mostra a forma como a radiação solar penetra as aberturas da edificação e as sombras geradas em função do horário. Desta forma, conhecendo o comportamento do edifício em relação à insolação, é possível se realizar análise e definição da orientação da edificação, da distribuição dos ambientes, da localização das aberturas e, se necessário, o projeto de elementos de proteção solar.

Por ser um equipamento de grandes dimensões e de custo elevado, o seu uso normalmente restringe-se ao ambiente universitário, sendo, portanto, um instrumento pedagógico muito importante no ensino da geometria da insolação.

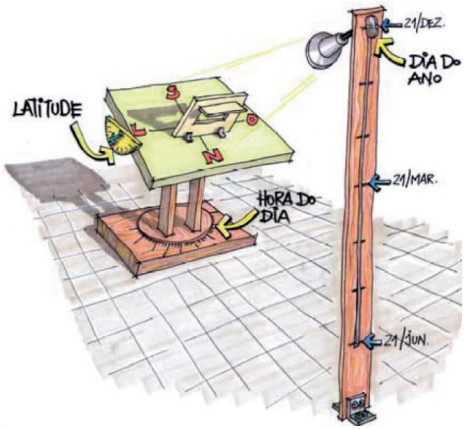
Existem pelo menos dez variações de heliodons, mas todos têm basicamente três controles, a latitude, o dia do ano e a hora do dia. Nós apresentaremos os três tipos mais utilizados pelas universidades atualmente, o heliodon de régua; o heliodon com arcos fixos e mesa inclinável; e o heliodon com arcos inclináveis e mesa fixa.

Assimile

Muitos autores usam dois termos distintos, heliodon e solarscópio, para diferenciar os vários tipos de heliodon, no entanto essa diferenciação não está correta. O termo heliodon é mais adequado para indicar aparelhos para simulação da trajetória solar aparente, enquanto solarscópio é melhor empregado para nomear equipamentos para observação do sol (FERNANDES; CUNHA, 2011).

Heliodon de régua: como podemos observar na Figura 3.23, neste tipo de equipamento tanto a mesa como a fonte luminosa são ajustáveis. O tampo, onde se coloca a maquete a ser estudada é inclinável e giratório. Primeiramente deve-se ajustar a latitude do local, inclinando-se a mesa. Depois, na régua ou trilho vertical, à frente da mesa, posiciona-se a lâmpada na posição que representa o dia do ano a ser estudado. Por fim, os diferentes horários do dia são simulados ao se girar o tampo em torno de um eixo vertical.

Figura 3.23 | Heliodon de régua



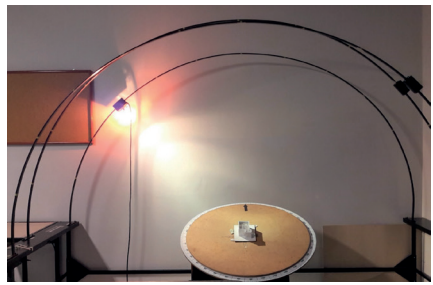
Fonte: Lamberts, Pereira e Dutra (2014, p. 141).

Segundo Fernandes e Cunha (2011), esse tipo de equipamento tem como vantagens a facilidade de construção a um custo relativamente baixo, não ocupar um espaço tão grande e permitir uma distância significativa entre a fonte luminosa e a maquete, aumentando a precisão do estudo por diminuir as distorções decorrentes da proximidade entre o objeto e a lâmpada. Como desvantagens os autores destacam que o aparelho é pouco intuitivo para alunos que não tem conhecimentos prévios sobre a geometria da insolação.

Heliodon de arco fixo com mesa inclinável: neste tipo de equipamento ajusta-se a latitude por meio da inclinação do tampo, assim como no heliodon de régua. Ao observar a Figura 3.24 notamos que acima da mesa onde fica a maquete, existem arcos que representam os dias do ano. Alguns modelos apresentam apenas um arco, outros têm três arcos representando os solstícios de verão e inverno e os equinócios de outono e primavera (o arco intermediário), portanto, quanto mais arcos, mais dias poderão ser simulados pelo aparelho. Para a simulação das horas do dia se desloca uma lâmpada ao longo de cada arco ou, em alguns modelos, os arcos possuem diversas lâmpadas fixas de acordo com a hora do dia. Segundo Fernandes e Cunha (2011), a vantagem desse tipo de heliodon é o desenho simples e o baixo custo, no entanto ele também não é muito intuitivo didaticamente, pois quando a mesa está na posição vertical ele simula os polos e na horizontal o Equador, o que é oposto aos planos imaginários dessas situações.

Além disso, os dias simulados são limitados ao número de arcos, e o deslocamento das lâmpadas ao longo dos arcos é um pouco complicado. Outros problemas relacionam-se às maquetes, que não podem ser muito grandes senão não cabem no equipamento e também a dificuldade para a sua fixação no tampo, já que quanto mais ele é inclinado maior é a tendência de ela cair.

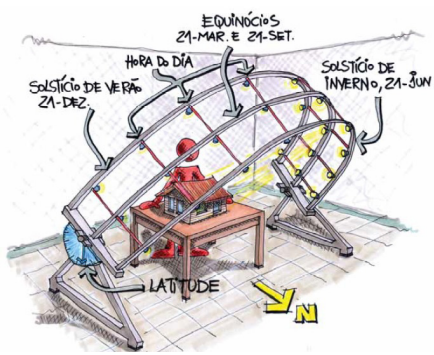
Figura 3.24 | Heliodon com 3 arcos fixos e mesa inclinável



Fonte: elaborada pelo autor.

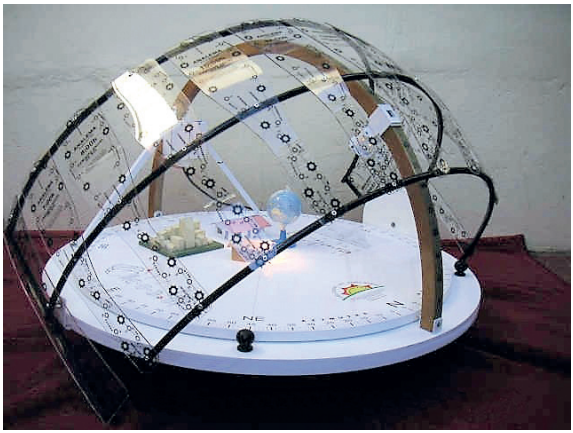
Heliodon com arcos inclináveis e mesa fixa: possui uma mesa fixa horizontal, onde se posiciona a maquete de acordo com sua orientação em relação ao norte. Os arcos representam os períodos do ano e são inclináveis de acordo com a latitude do local, as lâmpadas podem ser fixas nos arcos ou percorrê-los simulando o percurso do sol na cúpula celeste ao longo dos dias. A Figura 3.25 representa um aparelho desse tipo, nele podemos ver 3 arcos inclináveis que correspondem aos solstícios (2 arcos) e aos equinócios (1 arco), neste modelo as lâmpadas são fixas ao longo dos arcos, representando as horas do dia.

Figura 3.25 | Heliodon com arcos móveis e mesa fixa



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 142).

Figura 3.26 | Heliodon de analemas



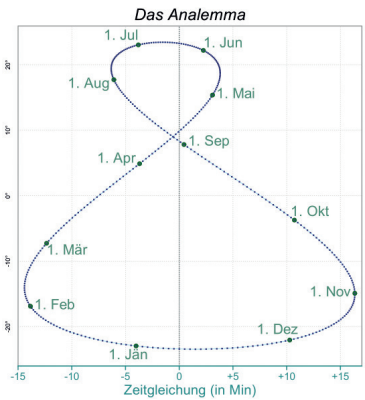
Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/Heliodon_de_analemas.jpg>. Acesso em: 9 jan. 2018.

A maquete de estudo é posicionada de acordo com a sua posição geográfica sobre o tampo fixo. Uma calota de acrílico onde estão demarcadas a posição do sol em cada dia do ano e horário do dia, formando o desenho de analemas, deve ser inclinada para que se ajuste à latitude do local.

Assimile

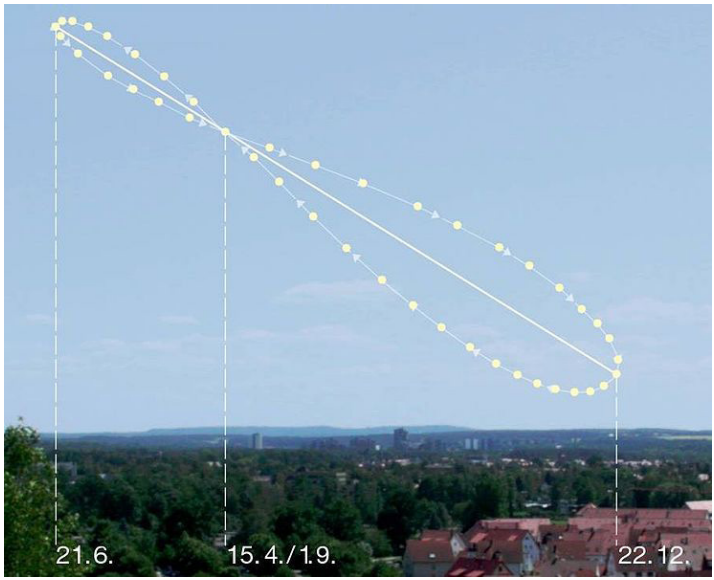
Analema solar é um desenho formado pela localização do sol no céu no mesmo horário ao longo de um ano. A figura que representa um analema é muito parecida com um 8 ou o símbolo do infinito. A Figura 3.27 é o desenho de um analema solar com a demarcação dos pontos onde o sol estará localizado nas datas indicadas. A Figura 3.28 é uma representação de um analema solar sobre uma fotografia.

Figura 3.27 | Representação gráfica do analema solar



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2e/Analemma.svg/545px-Analemma.svg.png>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Figura 3.28 | Analema solar sobre fotografia



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Analemma_pattern_in_the_sky.jpg>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Existe apenas um arco que gira em torno de um eixo vertical onde a fonte luminosa se move de acordo com o dia e a hora. Para fazer o posicionamento correto da lâmpada, deve-se mirar o centro da mesa através do círculo representativo do sol, desenhado na calota de acrílico. Depois se gira o arco até ele se posicionar à frente da mira, aí então a fonte de luz deve ser deslocada até a posição onde o sol estaria naquele dia e hora. Nesse caso é possível ainda se obter o azimute e a altura solar para aquele momento.

A grande vantagem desse tipo de aparelho é a visualização do sol em trajetórias mais próximas daquelas que observamos no nosso dia a dia. Os arcos facilitam o entendimento das variações do movimento aparente do sol durante o ano, aumentando a percepção das grandes alterações na altura solar e nos azimutes ao longo desse período. Como desvantagens podemos destacar o grande espaço ocupado pelo equipamento, e no modelo mais tradicional (com 3 arcos) a limitação em relação à latitude e aos dias do ano analisado. No entanto, esse segundo problema não acontece no heliodon de analemas.

Pesquise mais

Para conhecer melhor o funcionamento de um heliodon com três arcos fixos e mesa reclinável, assista ao vídeo HD92 *Heliodon – Simulador de trajetória solar – Hidrodidática,* acessando o link: <https://www.youtube.com/watch?v=qZa5u7vlMI0>.

No vídeo *Heliodon Analemas – Julho de 2009*, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=wjKwdvAp1Ls> você poderá acompanhar a simulação da insolação feita por meio de um heliodon de analemas.

Simulação e análise dos resultados

Para análise do comportamento da edificação em relação à insolação, normalmente opta-se pelo estudo nas datas representativas do ano, o solstício de verão, o solstício de inverno e o equinócio de outono e primavera e os horários entre 6h e 18h. Posiciona-se a maquete na mesa do heliodon corretamente orientada segundo o norte do terreno e anotam-se as fachadas onde o sol está incidindo e em quais aberturas ele está penetrando naquela data e horário. Para que o trabalho fique mais completo pode-se fotografar a situação para que se visualize posteriormente as sombras feitas pelo edifício no seu entorno e/ou as edificações no entorno projetam no terreno e na construção estudada. Por meio das fotografias também é possível que se estude melhor as manchas de luz dentro do ambiente geradas pela entrada de radiação por meio das aberturas nas fachadas.

Após a coleta desses dados, elabora-se uma tabela semelhante a Tabela 3.10 com o resumo das informações sobre a incidência solar nas fachadas e entrada de radiação pelas aberturas.

Tabela 3.10| Resultados da simulação da insolação para latitude 23,5° realizada no Heliodon

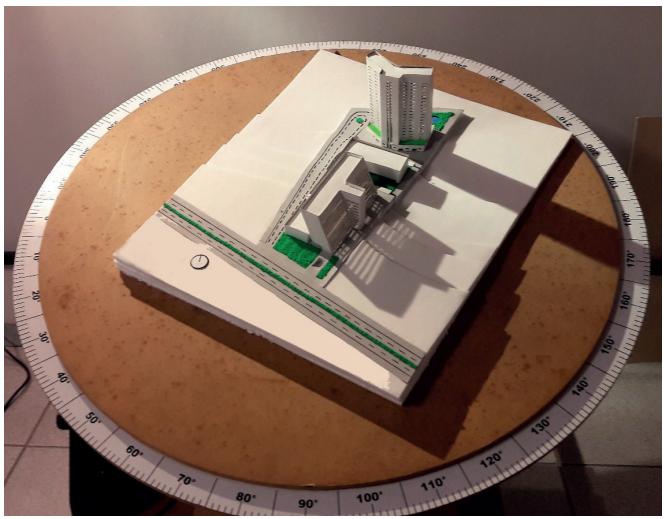
	Fachada A		Fachada B		Fachada C		Fachada D	
	Parede	Aberturas	Parede	Aberturas	Parede	Aberturas	Parede	Aberturas
Solstício de verão	X	X	Das 6 às 12h	Das 7 às 10h	Das 8h às 10h /14h às 16	X	Das 12h às 18h	Das 14h às 16h
Equinócios	Das 6h às 18h	Das 8h às 16h	Das 6 às 12h	Das 7 às 11h	X	X	Das 12h às 18h	Das 13h às 17h
Solstício de inverno	Das 7h às 17h	Das 9h às 15h	Das 7 às 12h	Das 8 às 12h	X	X	Das 12h às 17h	Das 12h às 16h

Fonte: elaborada pelo autor.

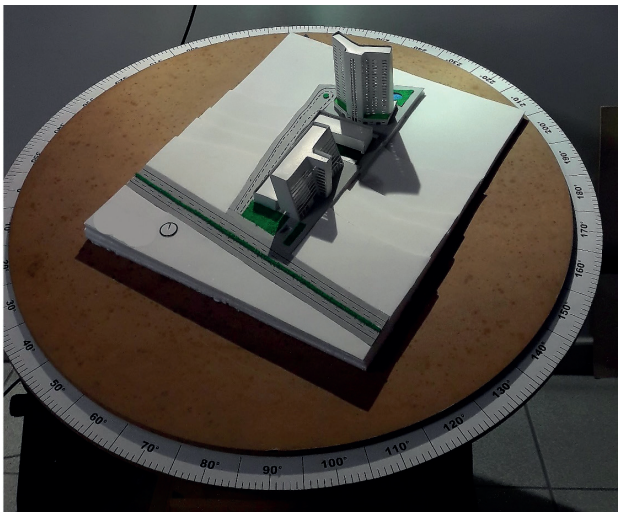
As fotografias devem der separadas de acordo com a época do ano e podem ser organizadas em sequência em relação aos horários. Na Tabela 3.11 podemos ver um comparativo da insolação e sombreamento que ocorrem nos horários das 9h, 12h e 15h, no solstício de inverno, para a latitude 23,5° (Trópico de Capricórnio).

Tabela 3.11 | Comparativo da insolação no solstício de inverno

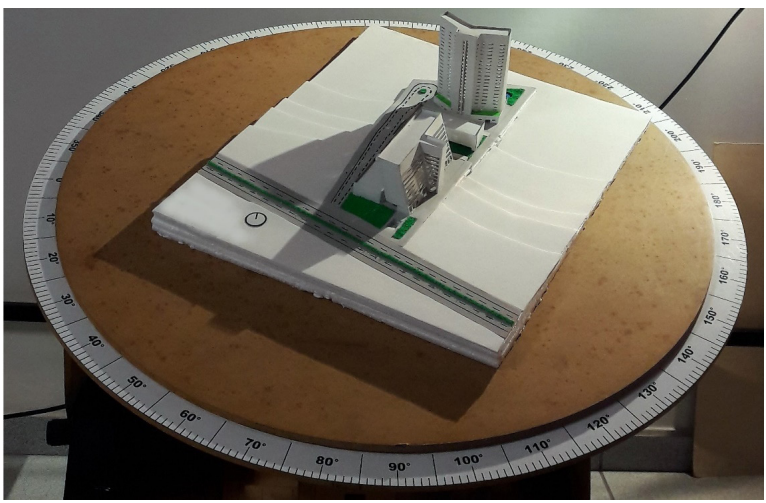
Latitude: 23,5°	Solstício de inverno	Horário: 9h



Latitude: 23,5°	Solstício de inverno	Horário: 12h



Latitude: 23,5°	Solstício de inverno	Horário: 15h



Fonte: elaborada pelo autor.

Desta forma será possível analisar se a incidência de sol nas fachadas e nos ambientes está adequada às necessidades climáticas do local; verificar se as sombras do edifício projetado não prejudicarão o entorno e vice-versa; e constatar a possível ocorrência de ofuscamento dentro dos espaços projetados em consequência da entrada direta de radiação solar.

Exemplificando

Sabemos que em locais onde o clima é quente, os ambientes de permanência, em especial os dormitórios, devem ficar orientados para as fachadas onde há insolação no período da manhã (fachadas leste e nordeste no hemisfério sul), especialmente no verão. As piscinas devem receber o maior período de radiação solar direta, até mesmo onde faz muito calor, para que a água tenha sempre a temperatura agradável. Os ambientes de trabalho não devem receber insolação direta nas bancadas de trabalho para não atrapalhar a visibilidade do usuário. As salas onde há projeção de imagens precisam estar protegidas da radiação direta e da claridade excessiva para evitar o ofuscamento.

Por exemplo, imagine que ao fazer o estudo da insolação por meio da carta solar você constate que a fachada leste receberá a radiação solar da manhã, e a fachada oeste, a insolação do período da tarde, em todas as estações. A área voltada para a direção norte é a que recebe o maior período de insolação ao longo do dia. De acordo com este estudo podemos concluir que a melhor fachada para as aberturas dos dormitórios estarem é a leste, que receberá o sol da manhã e a piscina deverá ficar na região norte do terreno, assim receberá bastante insolação ao longo do dia.

No entanto, ao fazer a simulação da mesma situação no heliodon você percebe que a fachada oeste recebe poucas horas de insolação no período da tarde em todas as estações e a região norte do terreno recebe no máximo duas horas de radiação solar direta ao longo do dia, durante o ano todo. Isso ocorre devido ao sombreamento causado pelas construções do entorno. Desta forma, é necessário que se repense a localização da piscina para que ela receba insolação. Os dormitórios devem continuar voltados para a fachada leste que não foi prejudicada pelo sombreamento do entorno. A bancada de trabalho da cozinha poderá estar voltada para oeste, já que somente no meio da tarde haverá um pouco de incidência solar direta. A sala de televisão pode ter suas aberturas voltadas para o norte, pois não há incidência direta de radiação na fachada ou mesmo dentro desse ambiente, o que minimizará o risco de ofuscamento da imagem da TV.

Ao estudarmos a geometria da insolação percebemos que para projetarmos ambientes com conforto térmico e luminoso, precisamos levar em consideração uma série de variáveis, como o perfil do usuário, a orientação do terreno ou das fachadas, a latitude do local e a configuração do entorno.

Reflita

O heliodon nos ajuda a entender tanto a forma como o sol incide em uma edificação como a influência desta na insolação do entorno e vice-versa. Pensando nisso, como podemos ter certeza do que estamos projetando quando não temos esse equipamento a nossa disposição? Existe algum software que pode nos ajudar a fazer essa simulação?

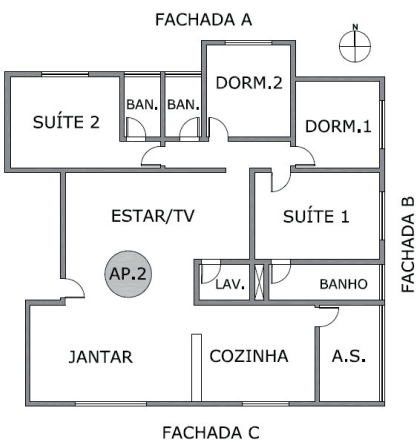
Sem medo de errar

Utilizando o heliodon, ajustado para a latitude da sua cidade, e uma maquete, você fará a simulação da insolação nas fachadas do apartamento escolhido e apontará os horários em que a radiação solar entra os ambientes. Caso haja necessidade serão identificadas as janelas que precisarão de proteção solar.

Cada cidade analisada gerará um resultado diferente. Adotamos a cidade de Uberlândia - MG para usá-la como exemplo da resolução do exercício.

• Seguindo a planta do apartamento escolhido como ideal para a família, o aluno fará uma maquete volumétrica na escala 1:50 do apartamento. Devem ser feitas as paredes internas e as aberturas de portas e janelas tanto internas como externas. No exemplo que estamos usando foi escolhido o apartamento 2 apresentado na Figura 3.29 por ser o mais adequado para a cidade de Uberlândia - MG.

Figura 3.29 | Planta apartamento 2



Fonte: elaborada pelo autor.

• Posicionar a maquete elaborada no equipamento heliodon, ajustar a latitude para fazer a simulação da insolação das fachadas, nos solstícios de verão e inverno e nos equinócios de outono e primavera, voltadas para o exterior do edifício, neste caso as fachadas A, B e C.

• Em quais horários a radiação solar entra nos ambientes no solstício de verão, solstício de inverno e equinócios de outono e primavera? Faça tabela semelhante à Tabela 3.12, apresentada na Seção 3.3, contendo apenas as informações referentes à entrada de insolação através das aberturas.

Tabela 3.12 | Resultados da simulação da insolação para latitude 18° (Uberlândia -MG) realizada no heliodon

	Fachada A	Fachada B	Fachada C
	Aberturas	Aberturas	Aberturas
Solstício de verão	Radiação não penetra	Das 7 às 10h	Radiação não penetra
Equinócios	Das 8h às 16h	Das 8 às 11h	Radiação não penetra
Solstício de inverno	Das 9h às 16h	Das 9 às 12h	Radiação não penetra

Fonte: elaborada pelo autor.

• É necessário se fazer a proteção solar de alguma das aberturas? Em quais delas? Por que elas precisam de proteção para evitar o aquecimento excessivo ou o desconforto visual decorrente do ofuscamento?

Na fachada A onde encontram-se as aberturas da suíte 2, do dormitório 2 e de dois banheiros, não há entrada de radiação solar no verão apenas nos equinócios e no inverno, desde a manhã até a tarde. A suíte 2 ficará para a avó que precisa de um ambiente mais aquecido, o dormitório 2 será de um dos filhos, embora não haja problema quanto ao superaquecimento, pode ser que ocorra ofuscamento se houver bancada de estudos, portanto uma persiana horizontal resolveria o problema. Para os banheiros que são ambientes úmidos a insolação está adequada.

Na fachada B, onde localizam-se as aberturas do dormitório 2, da suíte 1, do banheiro da suíte 1 e da área de serviço, há entrada de radiação direta pela manhã, no verão das 7h às 10h, nos equinócios

das 8h às 11h e no inverno das 9h às 12h, sempre durante 3 horas. Esse tempo de insolação é suficiente para deixar o ambiente com a temperatura adequada em todas as estações e para diminuir a umidade do banheiro e secar as roupas na área de serviço. Em relação ao conforto térmico não haverá qualquer problema, no entanto é importante estudar a distribuição dos mobiliários nos ambientes para ver se as manchas de luz causadas nos ambientes não prejudicarão o conforto visual. Caso isso ocorra, pode-se adotar a solução da persiana horizontal.

Por fim, a fachada C não recebe insolação direta em nenhum período do ano. Por ser uma cidade de clima quente e os ambientes com as aberturas voltadas para essa fachada não serem de permanência, não há qualquer problema relativo ao conforto térmico e visual.

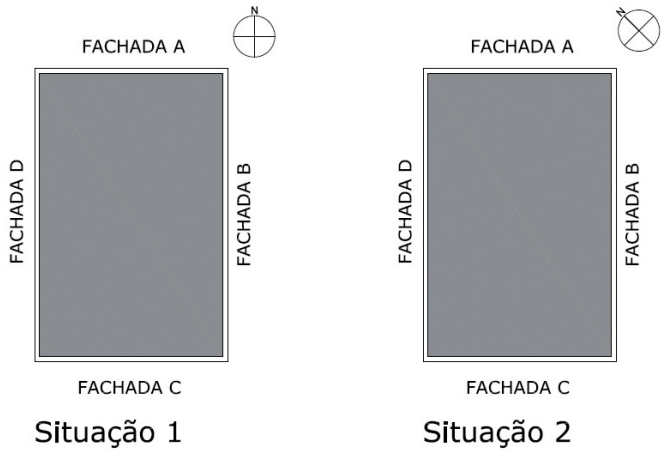
Avançando na prática

Uso do mesmo projeto em diferentes terrenos

Descrição da situação-problema

Um cliente procurou o escritório de arquitetura e design do qual você é sócio, na cidade de Sorocaba - SP, em busca de um projeto para sua nova residência. Ele conta que atualmente mora em uma casa e que gosta muito da sua configuração, por isso quer implantar o mesmo projeto no terreno que adquiriu. Segundo ele, só será necessário um projeto de interiores para que se escolham acabamentos e móveis mais atuais. Para convencê-lo de que será necessário que se faça um novo projeto arquitetônico, além do projeto de interiores, você resolveu usar uma caixa de sapato para simular o movimento aparente do sol no heliodon que o escritório possui. Você nomeou as fachadas de A, B, C e D e definiu dois nortes diferentes para fazer duas simulações. A Figura 3.29 mostra esquematicamente como o norte foi posicionado em cada situação.

Figura 3.30 | Situação 1 e 2



Fonte: elaborada pelo autor.

Quais os horários de insolação de cada fachada nas situações 1 e 2? Você deve anotar em uma tabela os horários de incidência solar em cada fachada. Depois mostre para o seu futuro cliente como a orientação em relação ao norte influencia na incidência solar e consequentemente no conforto térmico e luminoso dos usuários do ambiente.

Resolução da situação-problema

Os resultados dos estudos da insolação realizados no heliodon, nas situações 1 e 2, são apresentados nas tabelas 3.13 e 3.14.

Tabela 3.13 | Horários de insolação nas fachadas na situação 1

	Fachada A	Fachada B	Fachada C	Fachada D
Solstício de verão	X	Das 6h às 12h	Das 6 às 18h	Das 12h às 18h
Equinócios	Das 6h às 18h	Das 6h às 12h	X	Das 12h às 18h
Solstício de inverno	Das 7h às 17h	Das 7h às 12h	X	Das 12h às 17h

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3.14 | Horários de insolação nas fachadas na situação 2

	Fachada A	Fachada B	Fachada C	Fachada D
Solstício de verão	X	Das 6h às 10h	Das 16 às 18h	Das 16h às 18h
Equinócios	Das 7h às 10h	Das 6h às 9h	X	Das 14h às 18h
Solstício de inverno	Das 7h às 13h	X	X	Das 13h às 17h

Fonte: elaborada pelo autor.

Podemos notar que ao rotacionar o norte apenas 45° à esquerda, os horários de insolação mudaram bastante, por exemplo, se na situação 1 colocar os dormitórios na fachada B é uma ótima opção, na situação 2 não é, pois no inverno não haverá incidência solar naquela fachada. Ao analisarmos individualmente os horários de incidência solar em cada fachada percebemos que houve uma grande mudança, portanto não se pode utilizar o mesmo projeto em terrenos diferentes.

Faça valer a pena

1. Uma ferramenta muito utilizada no ensino da geometria da insolação é o heliodon. De acordo com Fernandes e Cunha (2011) este equipamento complementa o entendimento propiciado por diagramas solares e softwares, permitindo verificar a precisão de processos geométricos para o cálculo de insolação.

Comparando-se os resultados obtidos pelos estudos de insolação feitos por meio da carta solar e por meio do heliodon, qual a grande vantagem em se usar o segundo em aulas iniciais sobre a geometria da insolação?

a) O heliodon permite determinar os horários de nascer e pôr do sol.

b) O heliodon fornece automaticamente imagens com os resultados do ensaio.

c) Somente no heliodon é possível saber a altura e o azimute solar.

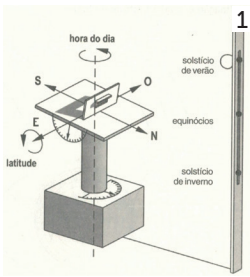
d) O estudo feito no heliodon mostra os horários de insolação de cada fachada.

e) O heliodon simula a trajetória do sol assim como se vê na abóbada celeste a partir da Terra.

2. Existe uma grande variedade de heliodons, mas todos permitem o ajuste de três variáveis, a latitude, o dia do ano e a hora do dia. Cada um apresenta vantagens e desvantagens se comparado com os demais. Observe a tabela a seguir:

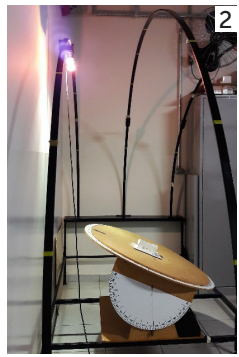
Tabela 3.16 | Tipos de heliodon

1



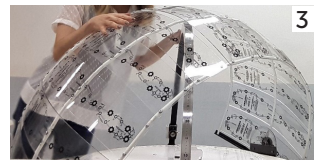
Fonte: Corbella e Yannas (2003, p. 229).

2



Fonte: elaborada pelo autor.

3



Fonte: elaborada pelo autor.

A tabela apresentada mostra imagens referentes a 3 tipos de heliodons. Escolha a alternativa que associa corretamente o número das imagens ao tipo de heliodon.

a) 1 - Heliodon de Analemas; 2 - Heliodon de arco fixo com mesa inclinável; 3 - Heliodon com arcos inclináveis e mesa fixa.

b) 1 - Heliodon de arco fixo com mesa inclinável; 2 - Heliodon com arcos inclináveis e mesa fixa; 3 -Heliodon de régua.

c) 1- Heliodon de régua; 2 - Heliodon com arcos inclináveis e mesa inclinável; 3 - Heliodon com arcos inclináveis e mesa fixa.

d) 1- Heliodon de régua; 2 - Heliodon de arcos fixos com mesa inclinável; 3 - Heliodon de Analemas.

e) 1 - Heliodon de arco fixo com mesa inclinável; 2- Heliodon de Analemas; 3 - Heliodon de arcos inclináveis e mesa fixa.

3. O heliodon é um método físico de simulação do movimento aparente do sol que nos permite visualizar a trajetória solar ao longo do dia de acordo com a época do ano e a latitude do local. O uso desse equipamento torna possível conhecer, por meio do uso de maquetes físicas, o comportamento do edifício em relação à insolação, e assim, definir a melhor orientação da edificação, dos ambientes internos, das aberturas, dentre outros.

Quais são as principais informações que se pode obter por meio da simulação do movimento aparente do sol no heliodon?

a) Horários em que o céu estará encoberto por nuvens; visualização das manchas de luz que atravessam as aberturas; horários de incidência solar nas fachadas.

b) Visualização das manchas de luz que atravessam as aberturas; horários de nascer e pôr do sol; longitude do local.

c) Horários de incidência solar nas fachadas; horários de nascer e pôr do sol; altura e azimute solar; visualização das manchas de luz que atravessam as aberturas; visualização das sombras geradas pela edificação e pelo entorno.

d) Altura e azimute solar; horários em que o céu estará encoberto por nuvens; períodos em que haverá eclipse solar.

e) Visualização das manchas de luz que atravessam as aberturas, períodos em que haverá eclipse solar; horários de nascer e pôr do sol.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

FERNANDES, C. L.; CUNHA, E. **Geometria solar**: proposta de heliodon interativo. XI ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no ambiente Construído. Rio de Janeiro: 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel. 2003. 243 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA. **Mapa de clima do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro, 2002.

KOENISBERGER, O. H. et al. **Manual of tropical housing and building**: climate design (Part one). New York: Longman Group Ltda., 1980.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Editora Pró-Editores, 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: [s.n.], 2016.

Conceitos de acústica aplicados ao design de interiores

Convite ao estudo

Seja bem-vindo à última unidade do nosso material didático, chegamos à reta final dos nossos estudos na disciplina de Conforto Ambiental. É muito importante que você continue se dedicando aos três momentos essenciais, pré-aula, durante a aula e pós-aula, para o desenvolvimento completo da sua aprendizagem.

Nesta unidade nós conheceremos os principais conceitos da acústica do ambiente construído e sua aplicação no design de interiores. Na primeira seção você aprenderá sobre os fundamentos do som, suas principais características e formas de propagação. Na Seção 4.2, conheceremos mais detalhadamente os ruídos e como isolar os ambientes internos para que não sejam prejudicados por eles. Na última seção, você adquirirá conhecimentos que o prepararão para projetar ambientes com bom desempenho acústico. Quando cada seção chegar ao final, você terá a oportunidade de praticar o que aprendeu em cada uma delas e fará isso resolvendo as situações-problemas associadas ao seguinte contexto de aprendizagem:

Paulo, 29 anos, solteiro, acaba de comprar seu primeiro imóvel. O escritório em que você trabalha foi contratado por ele para fazer o projeto de interiores do seu novo apartamento, que se localiza entre uma avenida e uma rua, ambas com alto fluxo de veículos e pedestres durante o dia.

O cliente, que morará sozinho, solicitou a conversão de um dos dois dormitórios em *home theater* e o fechamento da varanda, que será utilizada como um bar para receber os amigos. O projeto ainda deverá contemplar a substituição

dos pisos e revestimentos, escolha de nova paleta de cores, elaboração do leiaute dos ambientes e tratamento acústico onde houver necessidade.

Você ficou encarregado da elaboração desse projeto. Antes de começar, deverá fazer um relatório com a definição das funções de cada ambiente, o mapa de ruídos do apartamento e as definições preliminares dos tratamentos acústicos que deverão ser empregados no imóvel.

Para isso:

• Na Seção 4.1 você identificará as atividades e os sons por elas gerados dentro dos ambientes internos do apartamento e pelas edificações e ruas do entorno do edifício.

• Na Seção 4.2 você elaborará um mapa de ruídos do apartamento, identificará os tipos de ruídos gerados em cada ambiente e indicará quais tratamentos acústicos e materiais deverão ser empregados nos espaços onde existe necessidade de tratamento dos ruídos.

• Na Seção 4.3 você identificará os ambientes que necessitam de bom desempenho para propagação sonora, elaborará o layout preliminar desses ambientes identificando os materiais e formas das superfícies.

Depois dessas etapas, você apresentará ao seu supervisor um relatório contendo as informações coletadas e os estudos elaborados, para obter aprovação e dar continuidade à elaboração do projeto. Para isso, agrupe os desenhos e análises realizados nas Seções 4.1, 4.2 e 4.3.

Quais as necessidades acústicas da residência estudada? Como o designer poderá elaborar um projeto que proporcione ambientes silenciosos ao morador e que não propague ruídos para a vizinhança? Além disso, quais estratégias projetuais proporcionam qualidade acústica a ambientes especiais (salas de som, salas de música, *home theaters*, dentre outros)?

No final desta unidade, você estará pronto para aplicar todos os conhecimentos adquiridos nesta disciplina tão importante para a sua formação como designer de interiores!

Bom trabalho!

Seção 4.1

Fundamentos do som

Diálogo aberto

Prezado aluno, nesta seção você conhecerá melhor um outro aspecto do conforto ambiental, o conforto acústico. Para saber como colocar em prática os conceitos da acústica de ambientes construídos, primeiramente você aprenderá sobre os fundamentos do som, sua natureza e características mais importantes, além de conhecer como o som se propaga.

Depois de estudar o conteúdo, você poderá colocar seus conhecimentos em prática, resolvendo com tranquilidade a seguinte situação-problema:

Seu cliente, um jovem solteiro de 29 anos, comprou um apartamento localizado em uma avenida com grande fluxo de veículos. Seu escritório foi contratado para fazer o projeto de adaptação do imóvel de acordo com as necessidades do cliente. Antes de iniciar o projeto, você deverá fazer um relatório com a definição das funções de cada ambiente, o mapa de ruídos do apartamento e as definições preliminares dos tratamentos acústicos que deverão ser empregados no imóvel.

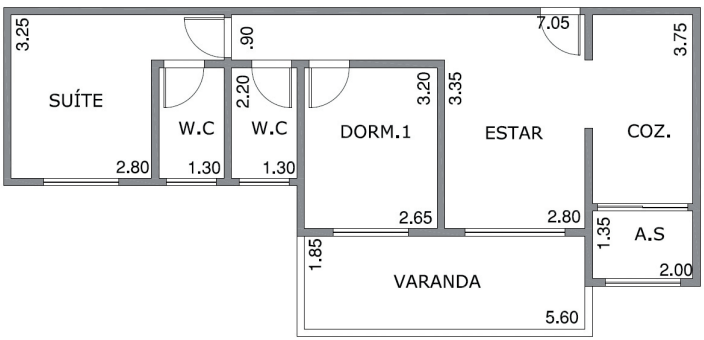
Dessa forma, você iniciará o projeto pela definição de alguns itens preliminares, como a identificação das atividades desenvolvidas nos ambientes e dos sons gerados por elas. Também serão apontadas as atividades e sons gerados pelos ambientes externos.

A partir da planta de localização (Figura 4.1), que apresenta informações sobre o entorno do edifício, e da planta do apartamento (Figura 4.2), você elaborará duas tabelas, respondendo às seguintes perguntas: Quais atividades acontecem em cada ambiente? Quais sons são gerados por tais atividades? Uma das tabelas deve relacionar os ambientes internos às atividades neles desenvolvidas, e os sons decorrentes delas. A segunda tabela relacionará os ambientes externos (edificações, ruas, espaços públicos, etc.) às atividades desenvolvidas nesses locais e aos sons decorrentes delas. O Quadro 4.1 apresenta um exemplo.

Figura 4.1 | Planta de localização do apartamento

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.2 | Planta do apartamento



PLANTA APARTAMENTO

Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 4.1 | Atividades e sons gerados nos ambientes

Ambiente	Atividades	Sons gerados
Sala de estar e TV	Receber visitas	Conversa
	Assistir televisão	Som da televisão
	Ouvir música	Som da música
Área de serviço	Lavar roupas	Som da máquina de lavar
Cozinha	Cozinhar	Panela de pressão, martelo carne
	Fazer refeições	Conversas, atrito entre pratos e talheres

Fonte: elaborado pela autora.

Não pode faltar

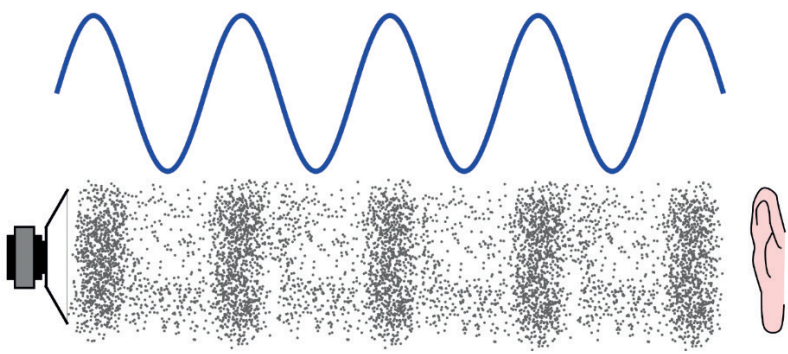
Todo ambiente deve proporcionar aos seres humanos condições para desenvolver suas atividades de forma segura e agradável. Ao projetar um espaço, nós precisamos sempre levar em consideração o bom desempenho e o conforto dos usuários. Para isso, devemos colocar em prática os conceitos relacionados ao conforto térmico, luminoso e acústico. Os conhecimentos sobre as áreas térmica e luminosa nós já adquirimos nas unidades anteriores, agora aprenderemos a projetar espaços com acústica adequada.

Ambientes com conforto acústico devem prever a ausência de ruídos que atrapalhem a tarefa que está sendo desenvolvida e a qualidade na propagação do som, especialmente quando o local tiver como função principal atividades relacionadas à geração de som, como salas de aula, auditórios, locais de apresentação, dentre outros.

É necessário, primeiramente, conhecer a natureza e as características do som e sua forma de propagação, para depois estudar e aplicar os princípios da acústica.

O som é gerado pela vibração de partículas em um meio material (sólido, líquido ou gasoso). Não é possível que haja som no vácuo devido à ausência de partículas no meio. As vibrações se propagam por pequenas alterações na pressão atmosférica, sendo criadas zonas de compressão e zonas de rarefação das partículas, originando-se a onda sonora, como podemos ver na Figura 4.3.

Figura 4.3 | Representação da onda sonora e dos ciclos de compressão e rarefação das partículas do meio



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/CPT-sound-physical-manifestation.svg>. Acesso em: 11 jan. 2018.

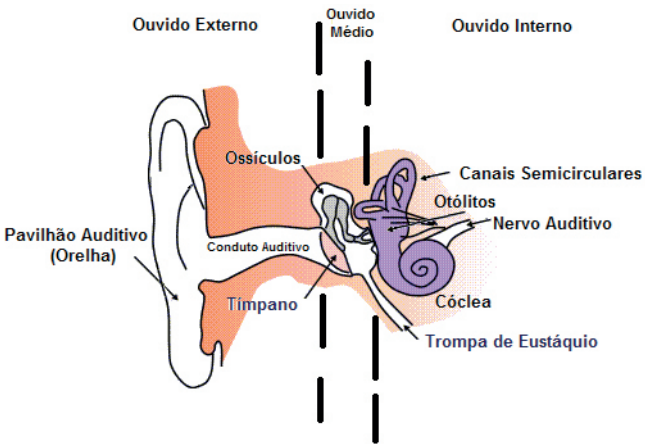
Ao sofrer estímulo sonoro, as partículas do ar vibram em torno do seu centro de equilíbrio, sofrendo sucessivas compressões e rarefações. Essa movimentação causa a vibração da partícula vizinha, resultando na propagação do som no meio (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009), da mesma forma como quando atiramos uma pedra na superfície da água de um lago: ocorre uma perturbação no ponto onde ela caiu e, a partir deste ponto, a água se movimenta em ondulações consecutivas em direção à margem do lago, e vice-versa, até a oscilação se extinguir. Observe um exemplo disso na Figura 4.4.

Figura 4.4 | Ondulação da água a partir de uma perturbação em sua superfície

Fonte: <https://media.istockphoto.com/photos/water-drop-picture-id176826259>. Acesso em: 18 dez. 2017.

Ao percorrer o ar, as vibrações são captadas pelo ouvido humano, que, de maneira mecânica, as transforma em estímulos elétricos interpretados pelo nosso cérebro como som. Para compreender como isso acontece, acompanhe a explicação a seguir observando a Figura 4.5.

Figura 4.5 | Anatomia do ouvido humano



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6b/Ear-anatomy-text-portuguese.PNG>. Acesso em: 18 dez. 2017.

Nosso pavilhão auditivo, ou orelha externa, capta as ondas sonoras que percorrem o ar e as envia para o canal auditivo. Ao percorrê-lo, estas se intensificam e, no final, encontram o tímpano, uma membrana muito fina que vibra ao ser estimulada. Depois dessa membrana encontram-se três ossículos, o martelo, o estribo e a bigorna, que fazem a ligação entre o tímpano e a cóclea. Diante da menor vibração esses pequenos ossos se movimentam, levando o estímulo à cóclea, onde existem células ciliadas que captam as vibrações no líquido e as convertem em impulsos elétricos, enviando-os ao nervo auditivo. Este transmite os impulsos elétricos ao cérebro, que os decodifica como o som que nós ouvimos.

Pesquise mais

Assista ao vídeo *Viagem ao ouvido* para visualizar o processo de transformação das vibrações sonoras em sons dentro do nosso ouvido.

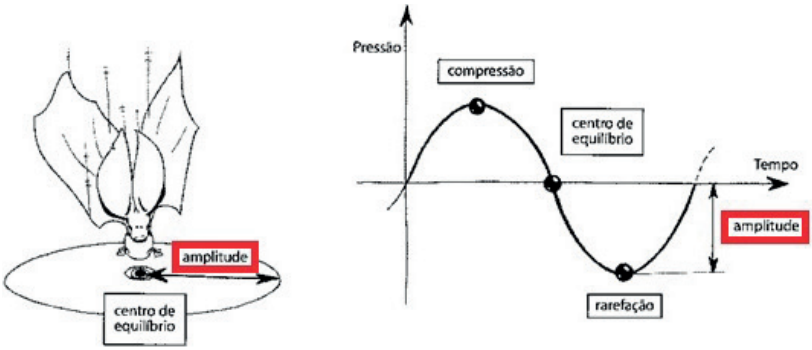
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Vfp0waljpXc>. Acesso em: 27 mar. 2018.

No entanto, nem toda flutuação da pressão atmosférica é traduzida pelo cérebro como som. Para "ouvirmos" as vibrações, estas precisam ser ondas sonoras, ou seja, devem estar dentro da faixa de frequência e intensidade audíveis pelos humanos. Para entendermos melhor, vamos conhecer algumas características importantes do som.

Características do som

Ao receber um estímulo e vibrar, uma partícula sofre um deslocamento em torno do seu centro de equilíbrio, que é a amplitude da onda sonora, como pode ser visto na Figura 4.6. O deslocamento máximo ocorre em função da pressão exercida sobre o meio. A intensidade do som está diretamente relacionada à amplitude da onda sonora, ou seja, quanto maior o deslocamento da partícula, mais intenso é o som.

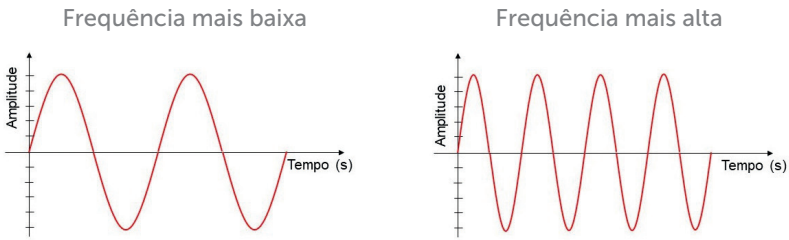
Figura 4.6 | Amplitude de onda sonora



Fonte: adaptado de Souza, Almeida e Bragança (2009, p. 25).

A frequência sonora é a quantidade de ciclos de compressão e rarefação que uma partícula completa em um segundo. Ela é medida em Hertz (Hz), que significa número de ciclos por segundo. Na Figura 4.7 há um comparativo entre duas ondas sonoras de mesma intensidade, porém com frequências diferentes.

Figura 4.7 | Frequência das ondas sonoras



Fonte: elaborada pela autora.

Essa é uma propriedade do som que conseguimos perceber, pois os sons de alta frequência são graves e os de baixa frequência são agudos. Também é usual classificar o som como alto (alta frequência) ou baixo (baixa frequência), mas não devemos confundir a altura (frequência) do som com seu volume (intensidade). Portanto, um som alto é um som de alta frequência e um som baixo é um som de baixa frequência.

Exemplificando

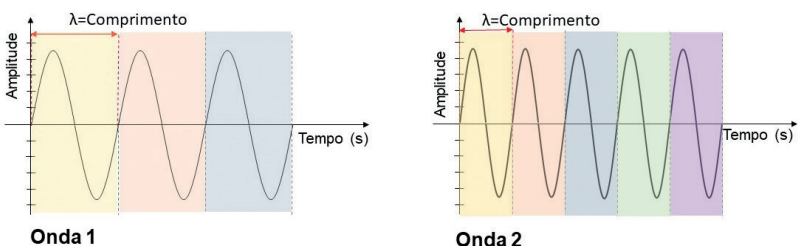
É perceptível a diferença na frequência dos sons gerados por instrumentos musicais, tanto que estes podem ser classificados em função da altura do som produzido. Existem instrumentos considerados como agudos (violinos), médios (saxofones altos) e graves (contrabaixos).

Outro exemplo interessante é a voz humana: é perceptível a diferença entre as vozes masculinas e femininas, em geral os homens têm a voz mais grave (grossa) e as mulheres, mais aguda (fina).

As frequências audíveis pelos humanos variam entre 20 Hz e 20.000 Hz. Normalmente, com o passar dos anos, nós vamos perdendo a percepção, ou deixando de ouvir, os sons de maior frequência.

Outra propriedade do som muito importante para o desempenho acústico de um ambiente é o comprimento da onda sonora, que é a distância percorrida pelo som a cada ciclo completo de vibração. Existe uma correlação direta entre frequência e comprimento de onda: quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda. Como a velocidade de propagação do som é sempre igual no mesmo meio, quanto menor a distância percorrida pela partícula, maior vai ser o número de vezes que esta completará um ciclo de vibração. Observando a Figura 4.8, que faz uma comparação entre duas ondas de frequências diferentes, percebemos que a Onda 1, com menor frequência, possui o maior comprimento, enquanto a Onda 2 tem que suprimir a frequência maior, possuindo menor comprimento.

Figura 4.8 | Comprimento de onda sonora



Fonte: elaborada pela autora.

Essa relação, inversamente proporcional, entre o comprimento de onda e a frequência é dada pela seguinte equação:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

onde:

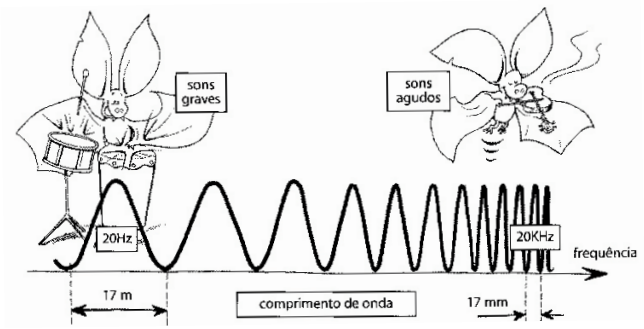
$\lambda =$ comprimento de onda sonora.

$c =$ velocidade da propagação do som (no ar= 344 m/s).

$f =$ frequência da onda (Hz).

A Figura 4.9 apresenta uma representação esquemática dessa correlação, em que a onda sonora de menor frequência audível pelos humanos (20 Hz) possui o maior comprimento de onda (17 m) enquanto a onda de maior frequência sonora que nós ouvimos (20.000 Hz) tem o menor comprimento de onda (17 mm).

Figura 4.9 | Frequências audíveis e comprimento de onda



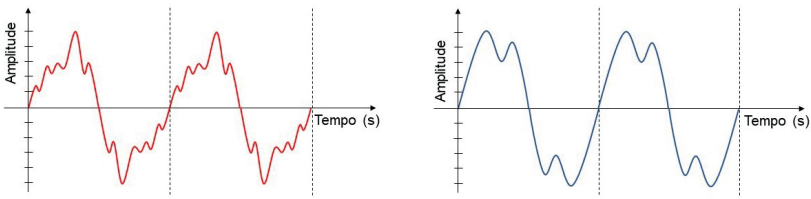
Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2009, p. 25).

Normalmente, nós representamos as ondas sonoras pela forma de uma onda senoidal, semelhante às das figuras anteriores. Esse tipo de onda se origina de um tom puro, que é um som de apenas uma frequência, no entanto, essa espécie de som não existe na natureza. Para emitir um tom puro é preciso utilizar um diapasão, instrumento usado para afinar instrumentos musicais. Todos os demais sons formam tons complexos, combinação de várias frequências relacionadas harmonicamente entre si. Eles resultam da composição da vibração principal gerada por uma fonte e das

vibrações secundárias produzidas por outros elementos ligados a ela.

O timbre é a forma como as frequências se combinam, constituindo o espectro sonoro (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009), ou seja, o formato da onda sonora. Ele é como a impressão digital do som emitido por determinada fonte sonora, nos permitindo distinguir sons de mesma frequência e amplitude emitidos por fontes distintas. Em função do timbre nós conseguimos diferenciar e reconhecer a voz de duas pessoas, o som de dois instrumentos musicais, dentre outros. A Figura 4.10 apresenta duas ondas sonoras de mesma frequência, porém com timbres diferentes.

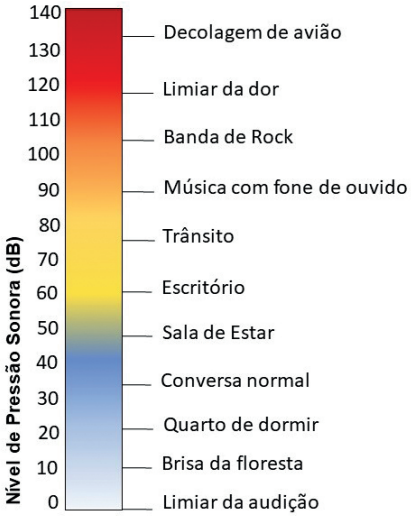
Figura 4.10 | Sons de mesma frequência, porém com timbres diferentes



Fonte: elaborada pela autora.

Como a onda sonora se propaga de forma esférica, à medida que o receptor se afasta da fonte a intensidade do som (W/m^2) decai, pois a área de distribuição da energia sonora aumenta. Para que se produza um som é necessária uma pequena quantidade de energia (potência). Isso quer dizer que para que o ouvido perceba uma vibração como som, a oscilação da pressão do ar é mínima ($2x10^{-15}$ N/m^2 ou 0,0002 mb) se compararmos com a pressão atmosférica, que no nível do mar é de 1000 mb. No entanto, a faixa de pressão audível varia bastante, entre 2x10-15 N/m^2 e 200 N/m^2. Diante desses valores de difícil compreensão prática, essa larga escala de pressão foi substituída por uma escala logarítmica, e tanto a pressão sonora quanto a intensidade passaram a ser medidas em decibel (dB), porém, nesse caso, nos referimos a elas como Nível de Pressão Sonora (NPS) e Nível de Intensidade Sonora (NIS). Dessa forma, a variação de valores entre o limite da audição e o limiar da dor está entre 0 dB e 120 dB (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009). A Figura 4.11 apresenta uma escala em decibéis relacionando o NPS a alguns sons conhecidos.

Figura 4.11 | Escala sonora em decibéis



Fonte: elaborada pela autora.

Quando duas fontes sonoras estão emitindo som simultaneamente no mesmo espaço não se pode fazer uma adição simples dos seus Níveis de Pressão Sonora (NPS) ou dos Níveis de Intensidade Sonora (NIS), pois se trata de uma escala logarítmica (dB). Para sabermos o NPS ou NIS resultante da combinação do som de duas fontes, a adição é feita de acordo com o Quadro 4.2, elaborado a partir do gráfico de adição de níveis de pressão sonora de Bruel e Khaer (1984).

Quadro 4.2 | Adição de níveis de pressão sonora

Diferença NPS	Acrescentar ao NPS mais elevado
0 a 1 dB	3 dB
2 a 3 dB	2 dB
4 a 8 dB	1 dB
Acima de 9 dB	0 dB

Fonte: elaborado pela autora

Para adicionar dois níveis sonoros a partir da tabela apresentada deve-se proceder da seguinte forma: 1) Calcular a diferença entre os dois níveis de pressão sonora (dB); 2) A partir da diferença calculada (coluna da esquerda), encontrar no Quadro 4.2 qual valor deve ser acrescentado (coluna da direita) ao maior NPS; 3) Acrescentar o

valor encontrado na coluna da direita ao nível mais elevado para obter o nível global.

Reflita

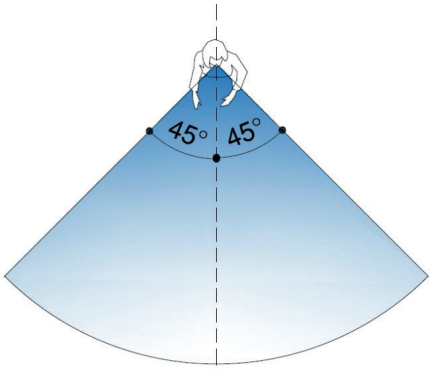
Ao analisarmos o Quadro 4.2 percebemos que quando duas fontes sonoras se sobrepõem, o nível de pressão sonora aumenta no máximo 3 dB e quanto maior a diferença entre os NPS, menor é o acréscimo de dB. Qual será o motivo de, a partir da diferença de 9 dB entre os níveis das duas fontes, não se aumentar mais o NPS da fonte de nível mais elevado? Será que a partir desse valor uma fonte não interfere mais na outra?

Muitas vezes estamos em algum lugar no qual não conseguimos ouvir direito a fonte sonora de interesse por existir interferência de outra fonte, como quando estamos tentando falar no telefone enquanto está passando um carro de som na rua. Isso acontece porque o som da outra fonte (o carro de som) está mascarando a fonte de interesse (voz da pessoa ao telefone). Para que um som não seja mascarado por outro, seu nível de intensidade sonora deve estar a partir de 15 dB acima do som mascarante. Além da influência do nível sonoro, as frequências das fontes também interferem na percepção dos dois sons. Normalmente o mascaramento ocorre mais para sons de frequências semelhantes. As frequências mais altas são mais facilmente mascaradas por sons de frequência mais baixa.

Propagação do som

A maioria das fontes sonoras tende a propagar o som com maior energia em uma determinada direção. Para a voz humana, as baixas e médias frequências se distribuem de maneira mais uniforme, já as frequências mais altas se concentram em torno do eixo longitudinal da fonte. Desse modo, o padrão da voz humana se mantém inalterado na região compreendida por um ângulo de 90° em relação ao eixo longitudinal, 45° para cada lado do eixo, como se pode observar na Figura 4.12. Quanto mais o ouvinte se afasta desse eixo, menos intenso o som fica. Por isso, em ambientes como auditórios, teatros, salas de músicas e salas de aula, os melhores lugares em relação à recepção dos sons diretos ficam ao longo desse eixo (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009).

Figura 4.12 | Área de maior concentração da voz humana



Fonte: elaborada pela autora.

Em espaços abertos, o som que ouvimos é proveniente principalmente das ondas sonoras diretas que chegam aos nossos ouvidos, enquanto em ambientes fechados o que escutamos é resultado da composição do som direto e das ondas sonoras refletidas pelas superfícies.

Ao ar livre, a propagação do som sofre influência das condições climáticas, como vento, temperatura e umidade. Na Seção 4.3 nós aprenderemos mais sobre a propagação do som e como esta é influenciada pelos materiais e pelas formas das superfícies.

Sem medo de errar

Você identificará as atividades desenvolvidas nos ambientes e os sons gerados por elas. Também serão apontadas as atividades e sons gerados pelos ambientes externos.

A partir da planta de localização, Figura 4.1, contendo informações sobre o entorno do edifício e da planta do apartamento, Figura 4.2, você elaborará duas tabelas respondendo as seguintes perguntas.

Quais atividades acontecem em cada ambiente? Quais os sons gerados por tais atividades?

Quadro 4.3 | Atividades e sons gerados nos ambientes internos

Ambiente	Atividades	Sons gerados
Estar	Receber visitas	Conversa.
Home theater	Assistir televisão	Som da televisão.
	Ouvir música	Som da música.
Varanda (bar)	Receber amigos	Conversa, barulho de copos, impacto dos sapatos no piso, atrito ao arrastar bancos e cadeiras, som de música.
Dormitório	Dormir	Não gera som relevante.
Banheiros	Higiene pessoal	Não gera som relevante.
Área de serviço	Lavar roupas	Som da máquina de lavar.
Cozinha	Cozinhar	Panela de pressão, martelo de carne, coifa.
	Fazer refeições	Conversas, atrito entre pratos e talheres.

Fonte: elaborado pela autora.

Quadro 4.4 | Atividades e sons gerados nos ambientes externos

Ambiente	Atividades	Sons gerados
Hipermercado	Entrada e saída de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.
	Alto fluxo de pessoas	Conversas.
Comércio	Fluxo de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.
	Fluxo de pessoas	Conversas.
Residencial	Entrada e saída de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.
	Pequeno fluxo de pessoas	Conversa baixa.
Praça	Alto fluxo de pessoas	Conversas.
	Recreação	Conversas, risadas, gritos.
Avenida 1	Alto fluxo de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.
	Fluxo de pedestres	Conversas.
Rua 6	Alto fluxo de veículos	Buzina, motor do carro, freio, etc.
	Fluxo de pedestres	Conversas.

Fonte: elaborada pela autora.

Avançando na prática

Conforto acústico em escola infantil

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para fazer o projeto de transformação de uma edificação residencial em uma escola de educação infantil para crianças de 2 a 5 anos. O projeto exigirá qualidade acústica dos ambientes para que as atividades que geram mais ruído não interfiram no andamento daquelas que necessitam de maior silêncio. Na primeira etapa projetual, deve-se fazer a distribuição dos ambientes de acordo com a intensidade dos sons gerados e da necessidade de mantê-los protegidos de ruídos. Para tanto, o primeiro passo será fazer uma lista dos ambientes principais da escola e organizá-los de acordo com a intensidade dos sons gerados.

Considere que a escola terá os seguintes espaços: estacionamento de veículos; administração; salas de aula; salas de aula de música; salas de descanso (dormitório); playground; e refeitório.

1. Faça uma escala de ambientes (de 1 a 7) de acordo com a intensidade do som gerado por cada um deles. Qual ambiente você acha que gera o som menos intenso? Qual ambiente emite o som um pouco mais intenso que o anterior? Responda essas perguntas sucessivamente até relacionar cada espaço com a intensidade do som gerado. O número 1 gerará o som de menor intensidade e o número 7 o de maior intensidade.

2. Organize os ambientes em três grupos distintos de acordo com a intensidade do som por eles emitido. O grupo A deve ser o dos ambientes silenciosos; o grupo B, dos intermediários e o grupo C, dos ambientes ruidosos.

Resolução da situação-problema

Para ajudá-lo na resolução dessa situação-problema, consulte a Figura 4.11 (Escala sonora em decibéis). Ao fazer a comparação entre as atividades mostradas na Figura 4.11 e aquelas que acontecerão na escola, você terá um parâmetro para determinar aproximadamente seus níveis de pressão sonora (NPS).

Resposta da questão 1:

De acordo com o a percepção sonora do ouvinte e a escala sonora em decibéis, os ambientes podem ser numerados gradativamente, em função da intensidade sonora, da seguinte forma:

1. Salas de descanso (dormitório).
2. Administração.
3. Salas de aula.
4. Estacionamento de veículos.
5. Refeitório.
6. Playground.
7. Salas de aulas de música.

Resposta da questão 2:

Com base na escala de intensidade sonora dos ambientes proposta na questão 1, os três grupos serão compostos da seguinte forma:

Grupo A – Silenciosos: salas de descanso (dormitório) e administração.

Grupo B – Intermediários: salas de aula e estacionamento de veículos.

Grupo C – Ruidosos: refeitório, playground e salas de aula de música.

Faça valer a pena

1. A frequência sonora é a quantidade de ciclos de compressão e rarefação que uma partícula completa em um segundo. Ela é medida em Hertz (Hz), que significa número de ciclos por segundo. O comprimento da onda sonora é a distância percorrida pelo som a cada ciclo completo de vibração. Essas duas características têm uma correlação entre si: quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda. Essa relação entre a frequência e o comprimento de onda é representada pela seguinte equação: $\lambda = \frac{c}{f}$.

Qual o comprimento (λ) de uma onda sonora cuja frequência é de 250 Hz, sendo que ela está se propagando pelo ar, cuja velocidade de propagação do som (C) é de 344 m/s?

a) λ = 1376 m.

b) λ = 0,72 m.

c) λ = 86.000 m.

d) λ = 1,38 m.

e) λ = 86 m.

2. É como a impressão digital do som emitido por determinada fonte sonora, nos permitindo distinguir sons de mesma frequência e amplitude emitidos por fontes distintas. Em função desta característica do som nós conseguimos diferenciar e reconhecer a voz de duas pessoas, o som de dois instrumentos musicais, dentre outros.

A respeito de que característica do som o texto acima está se referindo?

a) Frequência sonora (Hz).

b) Timbre do som.

c) Comprimento de onda (m).

d) Velocidade de propagação do som (m/s).

e) Nível de pressão sonora (dB).

3. Em relação ao som e às suas principais características, analise as seguintes afirmações:

I. O volume do som está relacionado à sua intensidade.

II. A característica que nos permite distinguir dois sons de mesma intensidade e frequência é a velocidade de propagação do som (m/s).

III. Quando dizemos que um som é alto, estamos afirmando que ele tem alta frequência (Hz).

IV. Quanto menor a frequência (Hz) do som, menor será seu comprimento de onda (m).

V. O limiar da dor é de 120 dB.

Assinale a alternativa que aponta apenas as afirmações corretas:

a) I, II, IV e V.

b) II, III, IV e V.

c) I, III e V.

d) I, III, IV e V.

e) III e V.

Seção 4.2

Isolando o ambiente interno dos ruídos

Diálogo aberto

Prezado aluno, seja bem-vindo à Seção 4.2 da última unidade de nosso material. Nesta seção você conhecerá aspectos práticos da acústica arquitetônica. Após compreender o que são ruídos, seus principais tipos e sua forma de propagação, você aprenderá como fazer o seu controle, por meio do isolamento de ruídos aéreos e isolação de ruídos de impacto e vibração. Serão apresentados os principais materiais e técnicas empregadas no controle de ruídos. É muito importante que você se dedique no período pré-aula, estudando todo o material disponibilizado e buscando mais informações nas fontes indicadas. Você também deve aproveitar a aula para tirar todas as suas dúvidas e trocar experiências com seu professor; e não deixe de fazer os exercícios propostos para depois da aula. Dessa forma, você estará pronto para resolver os problemas relacionados a ruídos que surgirem na sua vida profissional.

Agora, vamos dar continuidade ao projeto acústico do apartamento do seu cliente.

Nessa etapa, você identificará os ambientes que necessitam de tratamento para ruídos e apontará as soluções possíveis.

• Quais os tipos de ruídos gerados nos ambientes? Acrescente aos quadros elaborados na SP1 uma coluna à direita, identificando o tipo de ruído (aéreo, de impacto ou de vibração) decorrente das atividades desenvolvidas em cada ambiente.

• Como realizar um mapa de ruídos? Com esses dados, elabore um mapa de ruídos do apartamento e do seu entorno (vizinhos e área externa), de acordo com os exemplos vistos na Seção 4.2.

• Analisando o quadro e o mapa de ruídos, quais ambientes necessitam de tratamento dos ruídos? Esses ruídos estão sendo gerados por eles ou pelo entorno? Destaque esses ambientes no quadro.

• Quais tipos de tratamentos contra ruídos devem ser aplicados nos ambientes identificados? Desenhe esses tratamentos

esquematicamente em planta e/ou corte, de acordo com a necessidade.

• Quais os materiais mais apropriados para esse tipo de intervenção? Indique-os nos seus desenhos.

Vamos colocar em prática o conhecimento aprendido?

Não pode faltar

Para que um ambiente proporcione conforto acústico é preciso que haja ausência de interferência de ruídos e bom desempenho acústico (propagação adequada do som) em locais cuja atividade principal envolva o som. Na primeira fase projetual o arquiteto, o engenheiro ou o designer de interiores deve atuar no controle e prevenção de ruídos, pois todo ambiente necessita estar livre desse tipo de influência.

Assimile

Ruído é todo som indesejável à atividade que está sendo desenvolvida, ou perturbador ao nosso ouvido. Não há um tipo de som com características específicas que possa ser definido como ruído, pois sua intensidade, frequência, timbre e duração são variáveis. O incômodo causado depende da atividade de interesse e da atenção do receptor.

Por que é tão importante que os espaços utilizados por nós estejam protegidos dos ruídos? Além do incômodo perceptível, eles causam diversos efeitos prejudiciais aos seres humanos, tanto física como psicologicamente. Segundo Souza, Almeida e Bragança (2009), como consequências físicas podemos destacar a perda auditiva, a surdez permanente, dores de cabeça, fadiga, distúrbios cardiovasculares e hormonais, gastrites, disfunções digestivas, alergias, dentre outras. Em relação às sequelas psicológicas, ocorrem perdas de concentração e de reflexo, irritação permanente, perturbações do sono, sensação de insegurança, etc.

A origem e o meio de transmissão do ruído determinam o tipo de tratamento acústico a ser utilizado, por isso é importante conhecermos as características que os diferenciam. Ruídos se originam e se propagam tanto pelo ar quanto por estruturas sólidas. Os chamados ruídos aéreos são gerados no ar e transmitidos por meio dele. Tanto o ruído de impacto quanto o de vibração são

produzidos em uma estrutura sólida e se propagam através dela, sendo posteriormente transmitidos pelo ar. A diferença entre os dois é que o primeiro advém de uma pancada sobre um corpo sólido e o segundo da fricção ou vibração sobre a superfície.

Para projetar espaços com ausência de interferências de ruídos é importante seguir algumas etapas que direcionarão o responsável pelo projeto na busca por conforto acústico: 1) Levantamento de dados; 2) Implantação; 3) Distribuição dos espaços internos; 4) Tratamento dos ruídos.

Na etapa 1 é necessário fazer o levantamento de alguns dados antes de iniciar o projeto. Deve-se identificar as atividades que acontecem no entorno do terreno e os sons gerados por elas. É preciso ficar atento para os horários em que elas ocorrem a fim de verificar se interferirão no projeto. Também é importante elaborar uma lista das atividades que acontecerão dentro da edificação a ser projetada e dos sons que serão emitidos por estas. Após fazer o levantamento das atividades é necessário distinguir quais sons serão considerados ruídos. Para facilitar esse trabalho, pode-se fazer uma tabela semelhante ao Quadro 4.5, relacionando a atividade à geração ou não de ruídos e à necessidade de silêncio naquele espaço.

Quadro 4.5 | Classificação dos ambientes quanto à geração de ruídos e necessidade de silêncio

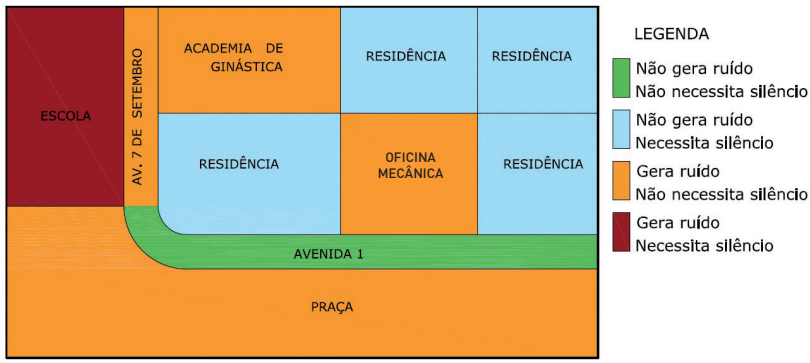
	Ambiente	Gerador de ruído	Necessita de silêncio
1	Avenida 7 de Setembro	Sim	Não
2	Rua sem saída	Não	Não
3	Academia de Ginástica	Sim	Não
4	Oficina mecânica	Sim	Não
5	Residência	Não	Sim
6	Praça	Sim	Não
7	Escola	Sim	Sim

Fonte: elaborado pela autora.

A partir da tabela elaborada, é feito um mapa qualitativo de ruídos, assim como o apresentado na Figura 4.13. Nele nós representamos, por meio de cores e/ou hachuras, informações qualitativas relacionadas às atividades e ruídos gerados. O mapa de ruídos aqui apresentado não traz dados quantitativos, como os níveis

de pressão sonora das áreas de interesse, nele nós visualizaremos com mais facilidade quais espaços geram mais e menos ruídos e quais requerem silêncio, e vice-versa. Esse esquema simplificado de classificação dos espaços quanto aos ruídos ajudará o arquiteto na Etapa 2, que será a implantação da edificação, e tanto o arquiteto quanto o designer de interiores na Etapa 3, distribuição dos espaços internos.

Figura 4.13 | Mapa de ruídos qualitativo



Fonte: elaborada pela autora.

É importante lembrar que o objetivo acústico em áreas urbanas é que tanto o espaço projetado não seja prejudicado pelos ruídos advindos do meio externo como que ele não ofereça prejuízo acústico para as edificações vizinhas.

Nestas duas etapas, 2 e 3, após serem considerados os parâmetros do projeto e identificadas as fontes de ruído, decide-se a implantação e a distribuição dos espaços internos do projeto pensando acusticamente. Deve-se observar como os espaços se integram, de forma que aqueles que geram mais ruídos e não necessitam de silêncio fiquem mais próximos entre si e que os ambientes nos quais o silêncio é indispensável estejam ao lado daqueles que não emitem ruídos.

Na última etapa (4), é realizado o tratamento dos ruídos que não poderão ser prevenidos por meio da implantação e distribuição adequada dos ambientes.

As fontes sonoras em conjunto causam um nível sonoro mínimo nos ambientes internos e externos, que são chamados de ruído

de fundo. Para fazer o controle e a prevenção de ruídos é preciso considerar tanto os que são gerados nas áreas externas como dentro da edificação, pois irão compor o ruído de fundo do espaço.

Os primeiros normalmente são causados pelas atividades que ocorrem no meio urbano, provenientes do transporte rodoviário e aéreo, das indústrias, das atividades recreativas, de igrejas, de escolas, de casas noturnas e bares, dentre outros. Eles podem causar problemas acústicos tanto nos espaços externos como nos internos. Quando nos referimos aos ruídos internos, estamos falando dos sons gerados tanto por atividades externas quanto internas à edificação que incomodam as tarefas desenvolvidas no interior do ambiente. Por isso, devemos nos colocar como receptores externos e também internos, e analisar as diversas situações possíveis para ver o que será mais vantajoso para ambos.

Exemplificando

Para o pedestre é mais interessante que o som não se concentre nas ruas, mas que permeie as quadras e as edificações, enquanto para o usuário do ambiente interno quanto mais ruído for devolvido ao meio urbano, melhor.

No entanto, devemos ter em mente que o controle dos ruídos tem por objetivo chegar ao limite mínimo de audibilidade. Para que não se perceba uma fonte sonora esta não precisa ter seu nível de pressão sonora igual a 0 dB, pois o ruído de fundo tem a capacidade de mascará-la a partir do momento em que seu NPS for maior que o da fonte. De acordo com Souza, Almeida e Bragança (2009), na prática, para ambientes comuns, isolar o ruído é reduzir a intensidade do som transmitido para dentro dos ambientes sem extinguir o ruído de fundo, pois este pode contribuir para a acústica do ambiente. Quanto maior o silêncio, maior será a percepção de sons de pequena intensidade, pois não haverá mascaramento desses sons por parte do ruído de fundo. Portanto, o ruído de fundo só deve ser eliminado em ambientes específicos, que necessitam de condições especiais de baixa intensidade sonora, como estúdios de gravação.

Reflita

Normalmente, durante o dia, os ruídos de fundo são mais intensos, principalmente nas áreas urbanas. Isso se dá devido à realização de mais atividades humanas no período diurno, como o fluxo de pessoas e veículos nas ruas, funcionamento do comércio e das indústrias, etc.

Já deve ter acontecido de você se deitar para dormir no período noturno e não conseguir pegar no sono por estar ouvindo o "tic-tac" do relógio, e depois, ao utilizar o mesmo ambiente durante o dia, nem perceber que os ponteiros do relógio estavam se mexendo por não os escutar. Será que isso tem alguma ligação com a diferença de intensidade dos ruídos de fundo durante o dia e a noite?

Como vimos anteriormente, a maneira como será feito o tratamento para redução de ruídos variará de acordo com o tipo ruído que deverá ser isolado. Para distinguir o procedimento aplicado para controle de ruídos segundo o seu tipo são usados os termos isolamento e isolação. Isolamento refere-se ao tratamento de ruídos aéreos e isolação trata-se do controle de ruídos de impacto e vibração. Para cada objetivo são utilizados materiais e técnicas diferenciadas.

Toda superfície colocada entre a fonte e o receptor tem a capacidade de reduzir a intensidade do som emitido, e essa redução varia de acordo com o material e com a frequência dos sons. O índice de atenuação é um valor que indica a capacidade que o material tem de isolar ruídos de certas frequências.

Isolamento acústico de ruídos aéreos

Os ruídos aéreos podem ser transmitidos para o interior do ambiente por passagem direta através de aberturas (portas e janelas), vãos e frestas. Ocorre também a transmissão por vibração de elementos, isto é, ao se propagar pelo ar, o som incide em uma superfície, fazendo com que esta vibre, e consequentemente o ar do outro lado dela também vibrará, passando o ruído para o ambiente adjacente.

Exemplificando

Para entendermos melhor, o primeiro caso acontece quando a televisão está ligada no mesmo ambiente em que estamos e nós ouvimos o seu som, que está se propagando diretamente pelo ar e chegando até nossos ouvidos. A situação em que há transmissão de ruído aéreo por vibração das superfícies ocorre, por exemplo, quando você está na sala do seu apartamento e ouve o som emitido pela televisão do vizinho. Nessa circunstância, o som se difunde pelo ar até encontrar a parede que divide os dois apartamentos, fazendo com que esta vibre e, consequentemente, cause a vibração do ar do outro lado, até chegar aos seus ouvidos.

Para isolarmos os ruídos aéreos, temos que agir de duas formas. 1) impedir sua passagem direta através de aberturas e vãos; 2) isolar as superfícies para impedir a vibração e transmissão de ruídos para outros ambientes.

Primeiramente, vamos ver como promover o isolamento por vedação dos acessos diretos de ruído. As portas, janelas ou quaisquer pequenas aberturas prejudicam muito o isolamento acústico de um ambiente. Esses elementos são os maiores vilões em se tratando da entrada de ruídos aéreos nas edificações, pois o som consegue passar por qualquer espaço aberto que exista entre os ambientes, por menor que seja. Por isso, é essencial que não haja vãos entre os ambientes internos e entre eles e o espaço externo.

Normalmente as janelas não oferecem um bom isolamento acústico. Por isso, a colocação de janelas voltadas para fachadas que recebem muito ruído deve ser bem estudada para que não se prejudique o isolamento do ambiente interno. Muitas vezes podem ser usadas janelas de vidro fixo para promover a entrada de iluminação natural e permitir a visão do exterior, adotando outra solução para a ventilação natural, pois os painéis fixos são mais isolantes que os móveis. Quando isso não for possível, será necessário utilizar esquadrias com vidros mais espessos, que são mais isolantes do que os finos, ou com vidros laminados, pois o plástico que existe entre as folhas de vidro é um bom atenuador das ondas sonoras. Quando essas soluções não forem suficientes devido à intensidade dos ruídos, a melhor opção são as janelas especiais com vidros duplos ou triplos, como a da Figura 4.14.

Figura 4.14 | Janela antirruído composta por vidro duplo

Fonte: iStock.

Para que esse tipo de janela seja eficiente, as lâminas de vidro devem estar bem isoladas entre si, podendo até mesmo haver um tipo de gás especial entre ambas para dificultar a propagação do som. Outro requisito importante é que as juntas entre os elementos não sejam rígidas, evitando a transmissão das vibrações dos painéis; para isso usam-se materiais flexíveis entre elas, que ainda ajudam a vedar eventuais vãos que permitiriam a passagem do som. Além disso, todas as janelas que têm por objetivo atenuar a transmissão de ruídos devem ter vedações resilientes, especialmente entre a parte fixa e a móvel, para aumentar o seu isolamento (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009).

O isolamento acústico oferecido pelas portas, que também são um ponto fraco em relação à entrada de ruídos aéreos, depende de fatores como a massa de sua folha, da forma de montagem e da selagem das suas bordas e orifícios. Para que a porta apresente um bom isolamento sua folha deve ser pesada, ou seja, não pode ser uma porta comum, oca internamente. Apesar de as portas de madeira maciça isolarem melhor os ruídos que as portas comuns, o ideal para locais sujeitos a uma grande intensidade de sons indesejáveis é o uso de portas acústicas. Estas portas especiais têm o interior de suas folhas preenchido por material isolante de alta densidade, que evita a passagem de ruídos de um ambiente para outro. Além das folhas com recheio, elas têm todo o seu contorno vedado por materiais resilientes, inclusive o orifício da fechadura e

o vão entre o piso e a porta, como podemos ver na Figura 4.15. O acabamento externo pode ser escolhido de acordo com o projeto. Quando for necessária a instalação de portas de vidro, estas seguem o padrão das janelas de vidro duplo ou triplo.

Figura 4.15 | Instalação de vedação no contorno de uma porta

Fonte: iStock.

Pesquise mais

Os catálogos e sites de fornecedores de janelas e portas acústicas trazem mais detalhes técnicos tanto sobre a vedação como sobre o isolamento das folhas. Veja alguns catálogos nos seguintes links:

<https://casa.abril.com.br/materiais-construcao/10-modelos-de-janelas-acusticas/>. Acesso em: 10 abr. 2018.

<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/hafele/veda%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2018.

<https://www.vibrasom.ind.br/produtos-acusticos/portas-acusticas.html>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Agora que já aprendemos a impedir que o som passe diretamente de um espaço para o outro, nós veremos como tratar as superfícies para que estas não transmitam a vibração recebida pelo ar para os ambientes adjacentes. Todos os elementos construídos que compõem os limites de um espaço (paredes, piso, teto) estão sujeitos à vibração sonora e a transmiti-las aos ambientes vizinhos. A capacidade de isolamento de uma superfície varia de acordo

com seu material e dependerá da sua densidade, rigidez e do seu potencial para amortecer os sons que o atravessam.

Em geral, as paredes de alvenaria são mais eficientes em isolar ruídos que divisórias ou paredes feitas de materiais leves; isso acontece porque quanto maior a massa do material, menor é a sua capacidade de vibrar e, por conseguinte, de transmitir o ruído aéreo. No entanto, na prática a eficácia do aumento da massa da superfície é limitada, pois além de não isolar tão bem os sons de baixa frequência, ao dobrar a massa do material a intensidade do som diminui em 4 dB. Portanto, a atenuação sonora é muito pequena em relação ao quanto devemos aumentar a massa da superfície, e isso faz com que essa alternativa seja muitas vezes inviável, especialmente nos casos em que a intensidade sonora é alta (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009).

Exemplificando

Imagine dois ambientes divididos por uma parede de 14 cm de largura, que reduz a intensidade sonora em 12 dB. Ao dobramos a massa dessa superfície, ou seja, se ela tiver 28 cm de largura, a atenuação sonora será de aproximadamente 16 dB, muito pouco em relação ao espaço perdido e ao material gasto.

Uma boa solução é a construção de paredes duplas entre os ambientes, pois economiza espaço e material, diminui a sobrecarga estrutural da edificação, além de isolar um pouco mais os sons de baixa frequência. Quanto maior o espaço entre elas, maior a atenuação sonora. No entanto, as suas partes devem estar bem isoladas entre si, pois elementos estruturais usados para uni-las transmitem as vibrações de uma para a outra, diminuindo o isolamento acústico.

Para aumentar a eficácia das paredes duplas, recomenda-se a colocação de materiais isolantes entre ambas. Materiais como espuma de poliuretano, lã de vidro, lã de rocha ou lã de pet podem ser usados entre as paredes para isolamento acústico. Pode-se optar também por aplicar o material isolante sobre a parede e depois revesti-la com um material de fechamento, como o *drywall* ou placas de madeira, ou mesmo fazer um sanduíche com placas de *drywall* e recheio de material isolante, como podemos observar na Figura 4.16.

Figura 4.16 | Aplicação de lã de vidro sobre parede de fechamento em placas de *drywall*

Fonte: iStock.

Isolação acústica – ruídos de impacto e vibração

Tanto os ruídos de impacto como os de vibração são causados por uma perturbação sobre uma estrutura sólida, por onde se propagam inicialmente até provocarem a vibração do ar. A diferença entre os dois é que a vibração acontece devido ao atrito entre dois corpos ou funcionamento de uma máquina, enquanto o impacto é proveniente de uma pancada de um sólido em outro, tem curta duração e normalmente intensidade maior que a do ruído de vibração.

O piso e o teto são as superfícies que mais recebem os impactos e as vibrações, e os ruídos causados por eles são os campeões de reclamação dos moradores de apartamentos.

Exemplificando

Os ruídos de impacto podem ser causados pelos passos de uma pessoa que usa sapato de salto, pela ação de um martelo sobre um prego em uma parede, por um objeto que cai no chão, dentre outros. Os ruídos de vibração acontecem quando a máquina de lavar, o liquidificador ou a batedeira estão funcionando, ou quando se arrasta a cadeira para se levantar, por uma serra cortando um pedaço de madeira, um caminhão carregado passando na rua, dentre outros.

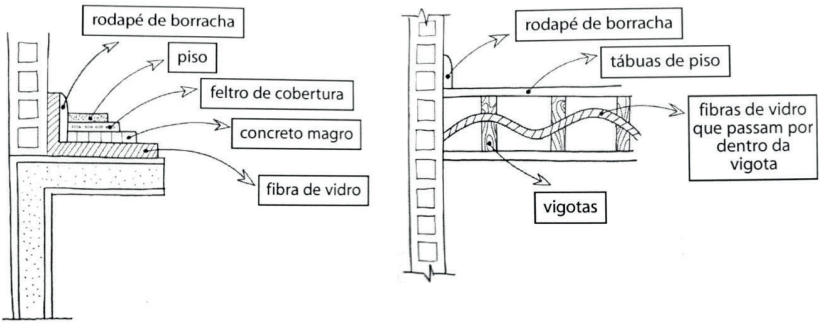
Geralmente, quanto maior a massa da estrutura por onde as vibrações irradiam, maior é a transmissão, portanto, ao contrário do que acontece com os ruídos aéreos, para isolação dos ruídos de impacto e vibração a lei da massa não costuma funcionar. Ou seja, embora as lajes tenham grande massa, estas não costumam isolar bem esses ruídos, basta observarmos os exemplos citados anteriormente (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009).

Existem três métodos principais para se fazer a isolação desses ruídos, dependendo da intensidade das vibrações podemos optar por usar materiais resilientes entre os sólidos; construir lajes flutuantes; ou estruturas interrompidas.

No primeiro caso, pode-se aplicar materiais flexíveis para amortecer o impacto ou a vibração causada na superfície sólida. Esses materiais podem ser utilizados para cobrir o piso antes de colocar uma máquina, ou sob os pés dos móveis, diminuindo o atrito e, consequentemente, a transmissão dos ruídos para o ambiente receptor, e também para o ambiente gerador. Alguns materiais usados com essa finalidade são feltros grossos, borracha, cortiça, dentre outros.

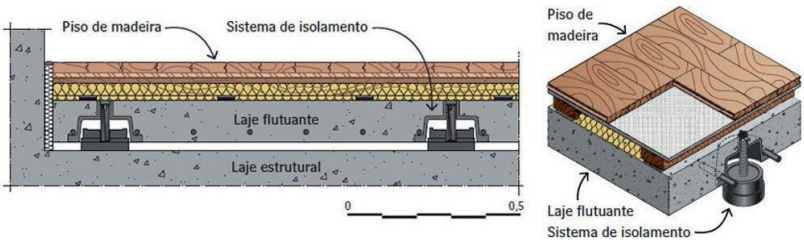
As lajes flutuantes são superfícies construídas sobre uma laje existente, porém isoladas acusticamente entre si, ou seja, são aplicados materiais resilientes entre ambas a fim de amortecer a onda sonora. Não pode haver nenhum ponto de ligação rígido entre elas para não haver passagem das vibrações de uma superfície para a outra. É preciso ficar atento ao seguinte: essa solução é eficiente para diminuir a passagem de ruídos de impacto e vibração para o ambiente receptor, mas não protege o ambiente causador dos próprios ruídos (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009). Existem diversos tipos de laje flutuante, desde as mais simples, chamadas pisos flutuantes, até as mais complexas, nas quais são instalados até mesmo sistemas amortecedores de vibrações. A escolha da técnica a ser utilizada depende da intensidade do impacto ou da vibração aplicados sobre o piso. As Figuras 4.17 e 4.18 apresentam três tipos diferentes de laje flutuante, os dois primeiros são mais simples e o terceiro é um sistema mais complexo.

Figura 4.17 | Esquema simplificado de laje flutuante



Fonte: adaptado de Souza, Almeida e Bragança (2009, p. 98).

Figura 4.18 | Laje flutuante com assoalho de madeira, corte e perspectiva



Fonte: adaptado de <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/190/artigo288013-3.aspx>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Pesquise mais

Leia na revista AU, edição 228 de março de 2013, o artigo Custos: laje flutuante, para conhecer um projeto que faz uso de um tipo de laje flutuante. Observe seus detalhes técnicos, materiais empregados e os seus custos.

Disponível em: <http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/228/custos-laje-flutuante-279030-1.aspx>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Por último, pode-se fazer a isolação por meio da descontinuidade das estruturas. É possível criar um ambiente independente do restante da edificação, interrompe-se a estrutura e são aplicados materiais resilientes entre elas. Isso acontece no caso da construção de um heliponto sobre um edifício: caso não fosse feita uma estrutura separada do restante da edificação, todo o prédio sentiria e ouviria a vibração do helicóptero. Na Figura 4.19 podemos notar

como a estrutura do heliponto é independente do corpo do edifício; a junção de ambas é feita por amortecedores especiais.

Figura 4.19 | Heliponto com estrutura independente do edifício

Fonte: iStock.

Na próxima seção nós veremos como melhorar a qualidade do som de interesse gerado dentro da edificação. Para isso, aprenderemos também a minimizar os ruídos de fundo gerados dentro do próprio ambiente. Até lá!

Sem medo de errar

Você deve elaborar um mapa de ruídos do apartamento, identificar os tipos de ruídos gerados em cada ambiente e indicar quais tratamentos acústicos e materiais deverão ser empregados nos espaços onde existe necessidade de tratamento dos ruídos

• Quais os tipos de ruídos gerados nos ambientes? Acrescente aos quadros elaborados na SP1 uma coluna à direita, identificando o tipo de ruído (aéreo, de impacto ou de vibração) decorrente das atividades desenvolvidas em cada ambiente.

Quadro 4.6 | Atividades, sons gerados nos ambientes internos e tipos de ruído

Ambiente	Atividades	Sons gerados	Tipo de ruído
Estar	Receber visitas	Conversa.	Aéreo.
Home theater	Assistir televisão	Som da televisão.	Aéreo.
	Ouvir música	Som da música.	Aéreo.

Ambiente	Atividades	Sons gerados	Tipo de ruído
Varanda (bar)	Receber amigos	Conversa, barulho de copos, impacto dos sapatos no piso, atrito ao arrastar bancos e cadeiras, som de música.	Aéreo, impacto e vibração.
Dormitório	Dormir	Não gera som relevante.	X
Banheiros	Higiene pessoal	Não gera som relevante.	X
Área de serviço	Lavar roupas	Som da máquina de lavar.	Vibração.
Cozinha	Cozinhar	Panela de pressão, martelo de carne, coifa.	Aéreo e impacto.
	Fazer refeições	Conversas, atrito entre pratos e talheres.	

Quadro 4.7 | Atividades, sons gerados nos ambientes externos e tipos de ruído

Ambiente	Atividades	Sons gerados	Tipo de ruído
Hipermercado	Entrada e saída de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.	Aéreo e vibração.
	Alto fluxo de pessoas	Conversas.	
Comércio	Fluxo de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.	Aéreo e vibração.
	Fluxo de pessoas	Conversas.	
Residencial	Entrada e saída de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.	Aéreo e vibração.
	Pequeno fluxo de pessoas	Conversa baixa.	
Praça	Alto fluxo de pessoas	Conversas.	Aéreo.
	Recreação	Conversas, risadas, gritos.	
Avenida 1	Alto fluxo de veículos	Buzina, motor do carro, freio, música, etc.	Aéreo e vibração.
	Fluxo de pedestres	Conversas.	
Rua 6	Alto fluxo de veículos	Buzina, motor do carro, freio, etc.	Aéreo e vibração.
	Fluxo de pedestres	Conversas.	

Fonte: elaborado pela autora.

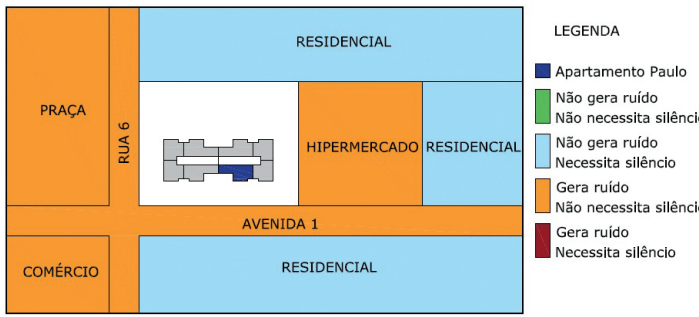
• Como realizar um mapa de ruídos? Com esses dados, elabore um mapa de ruídos do apartamento e do seu entorno (vizinhos e área externa), de acordo com os exemplos vistos na Seção 4.2.

Quadro 4.8 | Classificação dos ambientes externos quanto à geração de ruídos e necessidade de silêncio

	Ambiente	Gerador de ruído	Necessita de silêncio
1	Hipermercado	Sim	Não
2	Comércio	Sim	Não
3	Residencial	Não	Sim
4	Praça	Sim	Não
5	Avenida 1	Sim	Não
6	Rua 6	Sim	Não

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 4.20 | Mapa de ruídos qualitativo dos ambientes externos



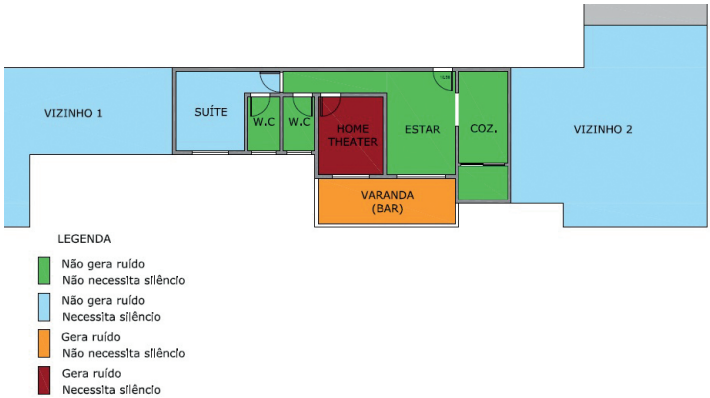
Fonte: elaborado pela autora.

Quadro 4.9 | Classificação dos ambientes internos quanto à geração de ruídos e necessidade de silêncio

	Ambiente	Gerador de ruído	Necessita de silêncio
1	Estar	Sim	Não
2	Varanda	Sim	Não
3	*Home theater* (dormitório 1)	Sim	Sim
4	Cozinha	Sim	Não
5	Área de serviço	Sim	Não
6	Suíte	Não	Sim
7	Banheiros	Não	Não
7	Apartamentos vizinhos	Não	Sim

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 4.21 | Mapa de ruídos qualitativo dos ambientes internos



Fonte: elaborada pela autora.

• Analisando o quadro e o mapa de ruídos, quais ambientes necessitam de tratamento dos ruídos? Esses ruídos estão sendo gerados por ele ou pelo entorno? Destaque esses ambientes no quadro.

Os ambientes que necessitam de tratamento de ruídos destacados nos Quadros 4.6 e 4.7 em amarelo são a varanda (bar) e o home theater.

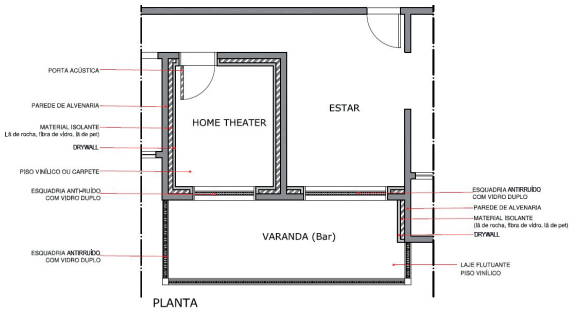
Ambos devem receber tratamento contra ruídos devido aos ruídos gerados dentro deles, para que os vizinhos não sejam incomodados

• Quais tipos de tratamento contra ruídos devem ser aplicados nos ambientes identificados? Desenhe esses tratamentos esquematicamente em planta e/ou corte, de acordo com a necessidade.

O home theater necessitará de isolamento de ruídos aéreos (paredes com recheio de material isolante, forro com material isolante, janela antirruído e porta acústica) e a varanda (bar) necessitará de isolamento de ruídos aéreos (paredes com recheio de material isolante, forro com material isolante, fechamento com janelas antirruídos e porta acústica) e de isolação (piso com laje flutuante) dos ruídos de impacto e vibração.

• Quais os materiais mais apropriados para esse tipo de intervenção? Indique-os nos seus desenhos. Observe a Figura 4.22.

Figura 4.22 | Tratamentos acústicos



Fonte: elaborada pela autora.

Avançando na prática

Tocando bateria sem incomodar a família e os vizinhos

Descrição da situação-problema

Guilherme tem 12 anos e está aprendendo a tocar bateria. Para que ele estude em casa, seus pais separaram um dos dormitórios para que ele pratique. Você foi procurado para preparar o ambiente para que os sons ali gerados não causem incômodo tanto para os vizinhos como para a família, quando estiverem usando os outros ambientes do apartamento. Eles moram no 4º andar de um edifício residencial. Primeiramente, você deve fazer anotações quanto aos tipos de ruídos gerados, depois indique o tipo de controle que deve ser feito. Para isso, responda às seguintes questões:

1. Quais superfícies do dormitório estão sujeitas aos ruídos gerados no interior do ambiente?

2. A quais tipos de ruído cada superfície está exposta?

3. Qual o tratamento para controle dos ruídos que cada superfície receberá?

Resolução da situação-problema

Para que os ruídos não sejam transmitidos para os ambientes adjacentes, nem para os vizinhos do mesmo andar, do andar de cima e do de baixo, devem ser tomadas algumas medidas de controle. Ao responder às seguintes perguntas, teremos uma solução para essa situação.

• Quais superfícies do dormitório estão sujeitas aos ruídos gerados no interior do ambiente?

Quando Guilherme toca bateria são geradas vibrações de grande intensidade no ar e estas chegam até as paredes, o teto, o piso, a porta e a janela do dormitório. Além disso o impacto das baquetas nos pratos da bateria também é transmitido para o piso.

• A quais tipos de ruído cada superfície está exposta?

As paredes, o teto, a porta e a janela estão expostos ao ruído aéreo. O piso recebe tanto o ruído aéreo quanto de impacto.

• Qual o tratamento para controle dos ruídos que cada superfície receberá?

As paredes devem receber material isolante e revestimento de alvenaria, drywall ou madeira.

No teto deve ser aplicado material isolante e revestimento de material leve.

A porta deve ser acústica, com bom isolamento da folha e vedação das suas bordas.

A janela deve ser antirruído com vidro duplo e vedações resilientes.

O piso deve ser flutuante, seguindo o mesmo método das lajes flutuantes.

Faça valer a pena

1. A origem e o meio de transmissão dos ruídos determinam o tipo de tratamento acústico a ser empregado, por isso é de extrema importância conhecer cada um e entender quais as características que os diferenciam. Ruídos se originam e se propagam tanto pelo ar quanto por estruturas sólidas.

Quais os diferentes tipos de ruído quanto à sua origem e meio de propagação?

a) Ruído de vibração e ruído sonoro.

b) Ruído de tráfego e ruído industrial.

c) Ruído aéreo, ruído de impacto e ruído de vibração.

d) Ruído industrial, ruído residencial, ruído de impacto e ruído de vibração.

e) Ruído aéreo, ruído de vibração, ruído sonoro e ruído de tráfego.

2. Existem muitas técnicas utilizadas para controlar a entrada e saída de ruídos dos espaços construídos. O uso de paredes duplas entre ambientes internos ou entre o ambiente interno e o externo é feito quando se tem a intenção de isolar ruídos.

Para a atenuação de qual tipo de ruído essa solução é mais apropriada?

a) Ruído aéreo.

b) Ruído de impacto.

c) Ruído de vibração.

d) Ruído de impacto e vibração.

e) Ruído de fricção.

3. Os ruídos de impacto e os de vibração são causados por uma perturbação sobre uma estrutura sólida, por onde se propagam inicialmente até provocarem a vibração do ar tanto do ambiente causador como do receptor do ruído. Os maiores receptores dos ruídos de impacto e vibração são o piso e o teto. A forma de tratamento desses tipos de ruídos é chamada de isolação.

Quais as principais soluções adotadas para a isolação de ruídos de impacto e vibração?

a) Janelas de vidro mais espesso, laje flutuante e aplicação de material isolante entre a paredes.

b) Portas acústicas, vedação dos vãos entre os ambientes e descontinuidade das estruturas.

c) Aplicação de materiais resilientes entre as superfícies, paredes grossas e laje maciça.

d) Aplicação de material resiliente entre as superfícies, construção de laje flutuante e descontinuidade das estruturas.

e) Janela de vidro duplo, portas antirruído e paredes duplas.

Seção 4.3

Bom desempenho acústico do ambiente interno

Diálogo aberto

Prezado aluno, seja bem-vindo à última seção do nosso material didático. Nela você compreenderá como a forma do ambiente e das superfícies internas exerce influência na propagação e no direcionamento do som no ambiente interno. Você também entenderá como os materiais empregados no revestimento das superfícies internas e, consequentemente, a sua capacidade de absorção sonora podem atuar como atenuadores do ruído de fundo gerado no ambiente e como controladores do tempo de reverberação. Aprenderemos a calcular a absorção sonora dos ambientes e seu tempo de reverberação, dois requisitos muito importantes para a qualidade acústica dos recintos fechados.

Depois de se dedicar aos estudos do conteúdo descrito você poderá colocar em prática seus conhecimentos, propondo soluções para aumentar a qualidade acústica de um ou mais ambientes do apartamento do seu cliente.

Agora que você já fez o levantamento dos ruídos a serem isolados e já indicou as possibilidades de tratamento, você irá trabalhar o bom desempenho acústico dos ambientes.

• Quais ambientes necessitam de alta qualidade acústica? Por quê?

• Qual a melhor disposição do mobiliário para que a acústica seja favorecida?

• Que formas e ângulos devem ter as superfícies internas do ambiente (parede, teto, piso, etc.)?

• Quais materiais de acabamento deverão ser usados nas paredes, piso, forro, janelas, mobiliário, dentre outros?

Bom trabalho!

Não pode faltar

Nem todos os espaços abrigam atividades que geram sons de interesse para os usuários, na maioria deles (os chamados ambientes comuns, como cozinha, dormitório, escritório, lojas de roupas, dentre outros) apenas o controle adequado dos ruídos, desde a implantação, basta para que haja conforto acústico no local. No entanto, em ambientes cuja atividade principal envolva a geração e difusão de sons, como escolas, auditórios, teatros, salas de televisão, etc., a qualidade acústica compreende, além da ausência da interferência de ruídos, a propagação sonora adequada, sem distorções e falhas por todo o espaço interno.

Nesta seção aprenderemos como a forma das superfícies internas e os seus materiais influenciam a propagação do som e, portanto, devem ser considerados desde a concepção do projeto, pois são essenciais para o bom desempenho acústico de um ambiente.

Para começar, vamos compreender algumas propriedades da propagação do som em ambientes fechados ou semifechados. Ao incidir em uma superfície, parte do som é refletida, parte absorvida e parte transmitida, em proporções que dependem da dimensão, da forma e do material da superfície. Em ambientes internos, o som que ouvimos é composto pelo som que é emitido pela fonte e pelo som refletido pelas superfícies internas. O raio sonoro direto diminui a sua intensidade conforme vai se afastando da fonte e aumentando sua área de propagação, e os raios que sofrem contínuas reflexões, o som reverberante, permanecem no ambiente. Na prática, isso significa que perto da fonte sonora predomina o som emitido diretamente pela fonte, enquanto longe dela, o som reverberante (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009).

A direção dos raios refletidos é determinada pela forma da superfície, pois assim como acontece com a luz, o ângulo de reflexão do som é igual ao seu ângulo de incidência. A intensidade do raio sonoro refletido depende primeiramente da intensidade do som emitido (raio direto), e depois da porcentagem de energia sonora absorvida pela superfície em que ele incidiu, ou seja, quanto mais absorvente for o material, menor será a intensidade do som refletido, e vice-versa.

Para que uma sala tenha boa difusão sonora, os raios sonoros

devem se propagar para todas as direções, distribuindo-se de maneira uniforme por todo o ambiente, e ter a mesma intensidade em qualquer lugar do recinto.

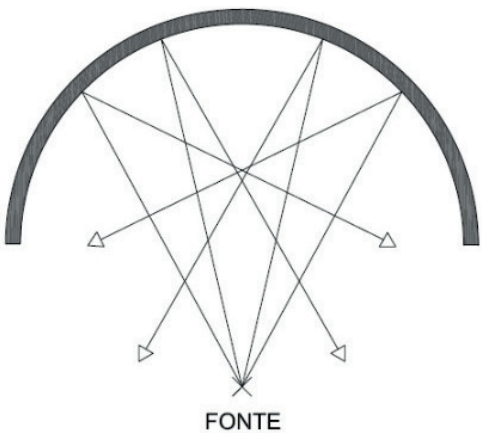
Vamos ver como fazer isso?

Formas das superfícies do ambiente

Devemos sempre considerar o formato e o posicionamento das paredes, do teto, do piso, do mobiliário e dos objetos ao fazer um projeto de espaço que necessite de qualidade acústica, pois esses elementos podem alterar a direção para onde o som será refletido. Podemos aproveitar as formas das superfícies internas para direcionar o som para onde for preciso. No entanto, é necessário fazer um estudo gráfico da projeção dos raios sonoros ao desenhar os planos internos do ambiente, visando impedir a criação de erros acústicos, como áreas com intensidade sonora insuficiente, sombras acústicas, eco, ondas estacionárias, dentre outros.

É preciso evitar o projeto de superfícies côncavas, circulares e elípticas, pois estas causam má distribuição do som dentro do ambiente em consequência da concentração do som refletido. Ao observarmos a Figura 4.23, percebemos que existem alguns pontos de alta concentração dos raios refletidos, nos quais ocorre a intensificação do som, e outras áreas pelas quais o som não se propaga.

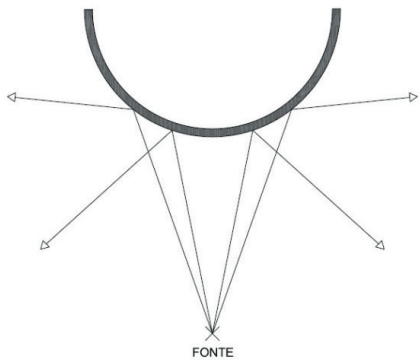
Figura 4.23 | Reflexão sonora em superfície côncava



Fonte: elaborada pela autora.

Caso não seja possível fugir dessas formas, como quando projetamos um ambiente dentro de uma edificação já construída, podemos utilizar materiais absorventes sobre essas superfícies, evitando que o som que nelas incidir seja refletido, ou instalar faces difusoras, modificando o ângulo de reflexão dos raios sonoros. Quando houver preferência por formas arredondadas, podem ser projetadas superfícies convexas, pois estas não geram problemas acústicos, já que promovem a boa difusão dos raios sonoros refletidos ao espalhá-los de maneira uniforme pelo ambiente, como podemos ver na Figura 4.24.

Figura 4.24 | Reflexão sonora em superfície convexa



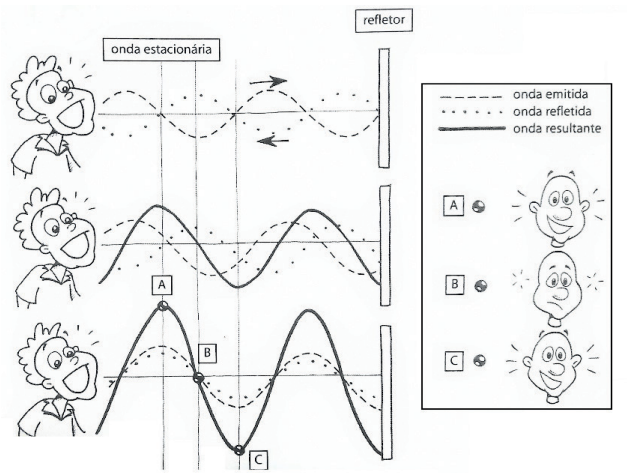
Fonte: elaborada pela autora.

A concentração excessiva dos raios sonoros também pode acontecer quando as superfícies posicionadas em frente à fonte sonora formam ângulos retos ou agudos entre si. Além de haver sobreposição dos raios sonoros, também ocorre o excesso de som refletido de volta para a fonte. Para evitar esses problemas, podemos usar ângulos obtusos, mesmo que forem aplicados anteparos sobre as superfícies construídas.

Assimile

Um problema acústico que pode acontecer em função da existência de superfícies internas paralelas entre si é um fenômeno chamado de ondas estacionárias. Estas correspondem à sobreposição de ondas sonoras que se deslocam em direções opostas, devido às reflexões contínuas em superfícies paralelas. Ocorrem distorções do som, havendo grande diferença na intensidade sonora dentro do ambiente. Em alguns locais o som se intensifica devido à coincidência das fases de compressão e rarefação das duas ondas, enquanto em outros acontece o oposto, não havendo som, em consequência das duas ondas estarem em fases contrárias, ou seja, uma está em compressão e a outra em rarefação, anulando-se acusticamente (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009). A Figura 4.25 nos mostra esquematicamente como as ondas estacionárias se comportam.

Figura 4.25 | Ondas estacionárias



Fonte: adaptado de Souza, Almeida e Bragança (2009, p. 42).

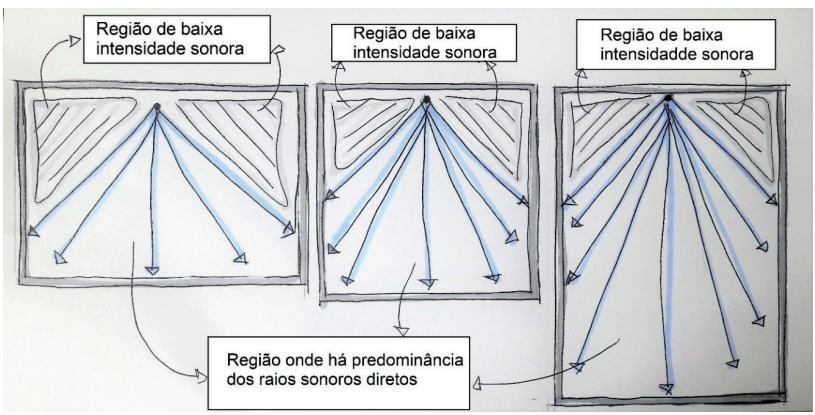
O paralelismo das paredes, ou do piso e do teto, pode causar as ondas estacionárias, por isso deve-se ter cuidado ao projetar ambientes com muitas superfícies paralelas e próximas umas às outras. Uma maneira simples de impedir esse problema é projetando superfícies com pequenas diferenças entre seus ângulos ou pelo uso de elementos difusores. Tanto a inclinação das paredes como dos difusores pode ser usada para direcionar e reforçar o som em locais

distantes da fonte sonora. A ocorrência das ondas estacionárias também pode ser evitada se a largura, altura e comprimento do ambiente não forem múltiplos entre si.

Quando for possível usar o piso escalonado, em auditórios, teatros, cinema, dentre outros, não haverá paralelismo entre o chão e o teto. Além de evitar a ocorrência das ondas estacionárias e garantir a visibilidade entre a plateia e o palco, o aumento gradual da altura da audiência a cada fileira favorece a chegada do som direto ao receptor. Portanto, o som direto será melhor aproveitado se o projeto previr o escalonamento do piso.

Considerando a direcionalidade longitudinal da voz humana, estudada na Seção 4.1, chegou-se a um consenso de que, para a palavra falada, plantas mais alongadas são melhores para aproveitamento do som direto do que as plantas quadradas ou alargadas. Na Figura 4.26 podemos observar esquematicamente como o som se propaga nas três situações.

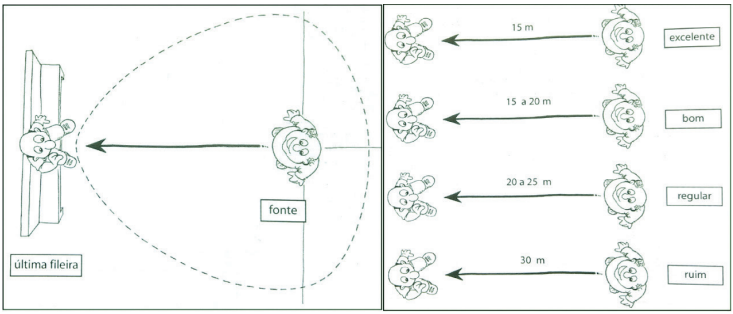
Figura 4.26 | Esquema comparativo entre a forma da planta e a propagação do som direto



Fonte: elaborada pela autora.

No entanto, a distância entre a fonte e o último receptor é limitada, devido à diminuição da intensidade sonora em função da distância percorrida pelo som e da absorção sonora da plateia. A Figura 4.27 (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009) mostra as distâncias máximas a serem seguidas, de acordo com o contorno da inteligibilidade da palavra falada.

Figura 4.27 | Região com a mesma inteligibilidade da palavra falada



Fonte: adaptado de Souza, Almeida e Bragança, (2009, p. 118).

Para salas de música, se for tocado apenas um instrumento, pode-se seguir as mesmas recomendações da palavra falada, no entanto, caso o local seja usado para apresentações com muitos instrumentos musicais, os limites serão maiores e irão variar conforme esses instrumentos. Por isso, o ideal é que nesses espaços sejam usados elementos para alterar o tamanho do ambiente, de acordo com a apresentação que for feita.

Assimile

Como já aprendemos, o som que ouvimos é composto pelo som direto e pelo som refletido. Embora o raio direto chegue aos nossos ouvidos antes do raio refletido, devido à menor distância por ele percorrida, normalmente nós percebemos ambos como se fossem apenas um som. No entanto, quando a distância percorrida pelo som refletido é muito maior que a do som direto, nós ouvimos o raio direto bem antes do refletido, e os percebemos como sons distintos. Esse defeito acústico é chamado de eco. Para que ele não ocorra, a diferença entre as distâncias percorridas pelos dois raios sonoros não pode ser maior que 11 metros, para que o intervalo de tempo entre a chegada dos dois ao nosso ouvido não seja maior que 1/30 segundos.

Um cuidado a ser tomado é em relação ao pé-direito muito alto e a paredes e lugares muito distantes da fonte, pois podem causar eco dentro do ambiente. Para evitá-lo podemos aplicar material absorvente no teto e também nas paredes no fundo da sala, visando impedir que o som reflita a partir dessas superfícies. Apenas devemos ter atenção para que os revestimentos absorventes não sejam colocados em superfícies que serão usadas como refletoras.

Algumas soluções viáveis podem ser adotadas durante a tomada de decisões projetuais, como posicionar a parede posterior não muito afastada da fonte para não gerar reflexões que percorram mais de 11 metros antes de chegar ao ouvinte, ou projetar o teto de forma que direcione as reflexões sonoras para os receptores, dentre outras.

Exemplificando

Esses problemas acústicos são comuns não apenas em espaços de apresentações, mas também em ambientes residenciais, e as soluções sugeridas também podem ser aplicadas nesses casos. Por exemplo, em salas de estar ou de televisão com pé-direito duplo, frequentemente a diferença entre o percurso do som direto e do som refletido é maior que os 11 metros recomendados, prejudicando a qualidade acústica do ambiente por causa do eco e da perda da intensidade do som. Por isso, muitas vezes torna-se desagradável conversar ou assistir televisão nesses ambientes. Para amenizar o eco pode-se usar um forro acústico (absorvente), que diminuirá consideravelmente as reflexões a partir do teto. Visando aumentar a intensidade do som da televisão que chega ao receptor, pode-se instalar uma superfície refletora acima do aparelho, como uma prateleira de madeira, que reforçará o som a partir da reflexão dos raios sonoros em direção ao usuário.

Assim como o teto, outros elementos do interior do ambiente podem ser usados para direcionar o som para onde for necessário. Os espelhos acústicos são superfícies refletoras especialmente projetadas para reforçar a intensidade sonora em pontos específicos do ambiente. Eles podem ser instalados nas paredes ou no teto do local, com angulação calculada de acordo com o local onde se pretende que o som chegue. São feitos de materiais que refletem os raios sonoros (pouco absorventes) para que o som não perca a intensidade ao incidir neles. Quanto mais próximos os espelhos acústicos estiverem da fonte, mais intenso será o som refletido. Eles também não devem redirecionar o som para pontos muito distantes, para evitar a produção de eco. Normalmente são muito utilizados em auditórios, teatros e salas musicais, mas também podem ser aplicados em outros ambientes, desde que sejam feitos estudos geométricos da reflexão dos raios sonoros para que eles cumpram seu objetivo e não causem defeitos acústicos no ambiente. A Figura 4.28a nos mostra espelhos acústicos aplicados no teto e a Figura 4.28b nos mostra espelhos acústicos aplicados nas laterais de auditórios.

Figura 4.28a | Espelhos acústicos aplicados no teto

Fonte: iStock.

Figura 4.28b | Espelhos acústicos aplicados nas paredes do auditório

Fonte: iStock.

Reflita

Você já esteve em algum ambiente cujo pé-direito é bem alto em relação à sua largura e o teto tem forma de cúpula, como as basílicas ou catedrais católicas? Você percebeu como o som é confuso nesses ambientes, principalmente a palavra falada? Por que será que isso acontece? Quais erros acústicos você consegue identificar nesses locais?

Materiais e absorção sonora

A qualidade acústica de um ambiente sofre grande influência dos materiais que o compõem. Os materiais com os quais o som entra em contato são os grandes responsáveis pela intensidade do som refletido, pelo tempo de reverberação e pelos ruídos de fundo dentro do ambiente.

Na Seção 4.2 nós aprendemos a impedir a entrada de ruídos externos, porém muitos ruídos são gerados no próprio ambiente. Para reduzir a propagação dos ruídos de fundo emitidos dentro do local, o uso de materiais absorventes é indicado, pois atenua as reflexões ocorridas no próprio ambiente.

A aplicação de materiais absorventes no teto de escritórios, aeroportos, estações de trem e metrô, linhas de produção de fábricas, oficinas mecânicas, shopping centers, dentre outros espaços, é uma solução rotineiramente adotada para diminuir a reflexão dos ruídos gerados no local. Podem ser colocados materiais absorventes como revestimento diretamente no teto, também podem ser usados forros acústicos, ou ser pendurados painéis absorventes com essa finalidade. As paredes podem ser revestidas por absorvedores acústicos. Esse recurso é usado em corredores expostos a ruídos a fim de diminuir a intensidade do som que chega até o ambiente receptor.

Exemplificando

Em ambientes corporativos, onde muitas pessoas trabalham em uma grande sala, o uso de materiais absorventes no teto ameniza as reflexões do som gerado pelas conversas, impedindo que o ruído de fundo atrapalhe os trabalhadores. Na Figura 4.29 vemos um ambiente corporativo no qual foram usadas divisórias com tratamento acústico, painéis absorventes verticais pendurados no teto, paredes parcialmente jateadas com celulose e carpete no piso, com o objetivo de amenizar o ruído de fundo gerado pelas atividades.

Figura 4.29 | Ambiente corporativo com painéis e biombos absorventes

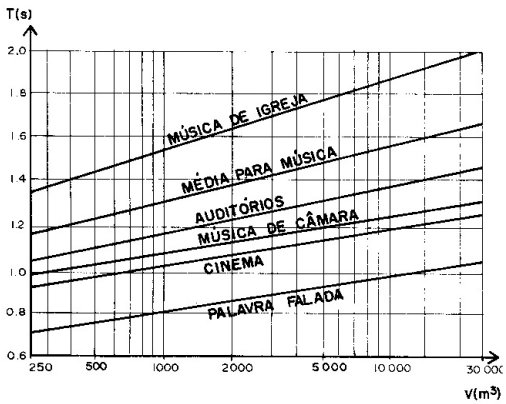
Fonte: <https://arcoweb.com.br/projetodesign/tecnologia/alexandre-sresnewsky-davi-akkerman-jose-augusto-nepomuceno-conforto-acustico-10-09-2007>. Acesso em: 29 jan. 2018.

As antecâmaras de teatros e auditórios costumam ser tratadas com material absorvente para enfraquecer a intensidade dos ruídos que vem do foyer, para que estes não cheguem até o interior da sala. Halls de entrada de casas noturnas também podem receber os mesmos revestimentos para amenizar os ruídos que vão para o exterior.

Além de serem usados como redutores de ruídos de fundo, os materiais absorventes têm grande importância como controladores do tempo de reverberação. Mas, afinal, o que é o tempo de reverberação (TR)? É o tempo durante o qual a vibração sonora permanece no ambiente após a fonte sonora parar de emitir o som, ou seja, é o tempo durante o qual o som se mantém audível no local. Quanto mais reflexões o som sofrer, mais tempo ele permanecerá no ambiente, porém, cada vez que ele se reflete em uma superfície, perde um pouco de sua energia, diminuindo assim a sua intensidade, até se tornar inaudível. O tempo de reverberação é um parâmetro muito importante para a acústica dos ambientes, pois ele determinará a qualidade do som que chegará aos ouvintes. Ele varia em função do tamanho (volume) e da absorção sonora do ambiente, pois quanto maior for o local, mais espaço haverá para o som se propagar; e quanto maior a absorção das superfícies de incidência, menor será a energia dos raios sonoros refletidos e, consequentemente, menor o tempo de reverberação.

Todo ambiente que tem a emissão de som como atividade principal deve apresentar o tempo de reverberação adequado, e o TR ideal varia de acordo com a finalidade do espaço. A NBR12179-92 (ABNT, 1992) traz um gráfico de tempo de reverberação ideal, apresentado na Figura 4.30. Para identificarmos o TR ideal basta cruzarmos a curva da atividade de interesse com a linha do volume (m^3) da sala e veremos, no eixo y, qual o tempo de reverberação, em segundos, indicado para aquela atividade de acordo com o volume da sala.

Figura 4.30 | Tempos de reverberação ótimo (ideal) para frequência de 500 Hz



Fonte: adaptado de NBR 12179-92 (ABNT, 1992, p. 9).

Pesquise mais

Para entender melhor os efeitos da variação do tempo de reverberação na qualidade acústica do recinto, acesse o seguinte link e ouça vários exemplos de reverberação da fala e da música para ouvir a diferença.

Disponível em: <http://www.armstrong-brasil.com.br/reverb/main.jsp?lang=pt&measure=m&domain=br&intcid=promo_RTC_TotalAcoustic>. Acesso em: 13 abr. 2018.

Para sabermos se uma sala apresenta o tempo de reverberação apropriado nós precisamos primeiro calcular a absorção sonora de todas as suas superfícies, para depois fazer o cálculo do TR. O cálculo da absorção sonora baseia-se na área da superfície e no coeficiente de absorção (α) do material. O coeficiente de absorção

do material expressa a porcentagem de energia sonora que é absorvida em relação à energia sonora incidente, seu valor varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, mais absorvente é o material, e quanto mais próximo de 0, menos absorvente ou mais refletor é o material. Cada material tem seu coeficiente de absorção variável de acordo com a frequência do som incidente. Esses valores são fornecidos pela NBR12179-92 (ABNT, 1992), por livros de acústica e por fornecedores de materiais acústicos.

Para quantificar a absorção sonora total de uma sala, nós somamos a absorção individual de cada superfície, móvel, objetos e das pessoas. A unidade usada para a absorção sonora é sabines-métricos (Sm), em homenagem a Wallace Clemente Sabine, físico americano, pioneiro na acústica arquitetônica. Para determinar a absorção de uma superfície multiplica-se a área do material pelo coeficiente de absorção, ou seja:

$$\mathrm{A}i = \alpha i \times si$$

Onde:

$\mathrm{A}i =$ Absorção da superfície (Sm).

$si =$ Área da superfície (m^2).

$\alpha i =$ Coeficiente de absorção da superfície.

Depois de obtermos a absorção sonora de todas as superfícies, nós as somamos para saber a absorção total do ambiente. Não podemos nos esquecer de acrescentar a absorção promovida pelos objetos, mobiliário e pessoas, pois eles representam grande absorção nos ambientes. Normalmente, para esses elementos são dados valores de absorção por unidade, e não pelo cálculo da área de sua superfície. Também é preciso atentar às portas e janelas, subtraindo sua área das superfícies que são feitas de outro material e calculando essa absorção separadamente. Portanto, a absorção da sala é calculada da seguinte maneira:

$$\mathrm{A}total = \mathrm{A}1 + \mathrm{A}2 + ... + \mathrm{A}n + \mathrm{A}pessoas + \mathrm{A}objetos + \mathrm{A}mobiliário$$

Onde:

$\mathrm{A}total =$ Absorção total da sala (Sm).

$\mathrm{A}n =$ Absorção superfície n (Sm).

$\mathrm{A}pessoas =$ Absorção pessoas (Sm).

$\mathrm{A}objetos =$ Absorção objetos (Sm).

$A mobiliário$ = Absorção mobiliário (Sm).

Após calcular a absorção sonora total do ambiente, nós usamos a fórmula desenvolvida por Sabine para estimar o tempo de reverberação:

$$TR = \frac{0{,}161 \times V}{A total}$$

Onde:

$TR =$ Tempo de reverberação (segundos).

$V =$ Volume da sala (m^2).

$A total =$ Absorção total da sala (SM).

Deve-se comparar o TR ideal ao TR real calculado. Caso o TR real esteja menor que o ideal, será necessário trocar materiais absorventes por outros mais refletores (menor coeficiente de absorção), porém, se o TR real for maior que o TR ideal devem ser acrescentados materiais mais absorventes no recinto. É importante lembrar que o tratamento proposto deve ser distribuído para balancear as absorções do ambiente, evitando a concentração excessiva de materiais absorventes ou reflexivos em áreas impróprias.

Em resumo, as etapas a serem seguidas para a adequação do TR são as seguintes: 1) identificação do TR ótimo; 2) determinação do TR real do ambiente; 3) comparação entre o TR ótimo e o real; 4) acréscimo ou diminuição da área de materiais absorventes, em função da comparação, para que se alcancem valores próximos ao TR ótimo.

Sem medo de errar

Você identificará os ambientes que necessitam de bom desempenho na propagação sonora, e elaborará o leiaute preliminar desses ambientes identificando os materiais e formas das superfícies.

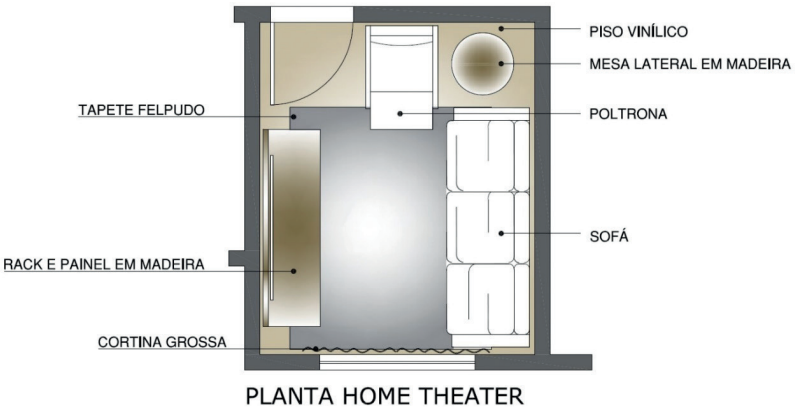
Quais ambientes necessitam de alta qualidade acústica? Por quê?

O ambiente que necessita de melhor desempenho acústico é o *home theater*, pois nele serão assistidos filmes e outros programas, assim, a qualidade acústica será muito importante para o bom aproveitamento do ambiente.

Qual a melhor disposição do mobiliário para que a acústica seja favorecida?

Cada profissional poderá propor a disposição de mobiliário que julgar melhor. Na Figura 4.31 temos um exemplo de leiaute para o *home theater*.

Figura 4.31 | Sugestão de leiaute para o *home theater*



Fonte: elaborada pela autora.

Que formas e ângulos devem ter as superfícies internas do ambiente (parede, teto, piso, etc.)?

A pergunta permite diversas respostas corretas, dependendo apenas do repertório e da criatividade de cada profissional. Observe alguns parâmetros que devem ser considerados na escolha das formas do ambiente interno:

• Deve-se evitar superfícies côncavas, elípticas e circulares.

• Também é necessário ter cuidado ao distribuir as fontes sonoras, para que não fiquem posicionadas à frente de paredes formando ângulos de 90º ou agudos.

• Dependendo do tipo e número de assentos, o piso pode ser escalonado para que a fileira da frente sempre fique num nível abaixo da fileira seguinte.

• No teto e nas paredes podem ser instalados painéis que funcionem como espelhos acústicos, direcionando melhor o som para os ouvintes.

• É preciso observar a sala como um todo para evitar o paralelismo das superfícies.

Quais materiais de acabamento deverão ser usados nas paredes, piso, forro, janelas, mobiliário, dentre outros?

Dentro de ambientes como esse é importante que sejam usados painéis de madeira ou outro material que reflitam equilibradamente o som, porém, como o som emitido pelos equipamentos de áudio tem grande intensidade e o ambiente é relativamente pequeno, é preciso que se use materiais absorventes que ajudarão diminuir essa intensidade sonora e adequar o tempo de reverberação. Tapetes, cortinas, almofadas, dentre outros são elementos que contribuirão para a acústica da sala.

Na Figura 4.31 estão indicados alguns materiais apropriados para o uso nesse ambiente.

Avançando na prática

Qualidade acústica de sala de aula

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para fazer o projeto de design de interiores de uma escola. As salas de aula seguem um padrão, cuja planta está na Figura 4.32. Inicialmente, é necessário analisar as condições acústicas da sala, que ainda está vazia, para depois tomar decisões sobre a troca dos materiais de revestimento e sobre a escolha do mobiliário adequado.

Figura 4.32 | Planta da sala de aula e informações para o cálculo da absorção sonora e TR

Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 4.10 | Dados da planta

Identificação	Unidade
Pé-direito	4 metros
Janela	4,00 x 1,20 metros
Porta	1,00 x 2,10 metros (a unidade)
Lotação	30 pessoas
Sim	Não
Sim	Não

Fonte: elaborado pela autora.

Qual a absorção sonora da sala? Para responder a esta pergunta, preencha o Quadro 4.11.

Quadro 4.11 | Cálculo da absorção sonora

Superfície	Coeficiente de absorção	Área (m^2)	Absorção da superfície (Sm)
Parede A	0.25		
Parede B	0.10		
Parede C	0.20		
Parede D	0.15		
Piso	0.10		
Teto	0.12		
Portas	0.15		
Janela	0.10		
Pessoas	0.40		
		Absorção Total	

Fonte: elaborado pela autora.

Qual o tempo de reverberação da sala?

Resolução da situação-problema

Qual a absorção sonora da sala? Para conhecer essa resposta, observe o Quadro 4.12.

Quadro 4.12 | Cálculo da absorção sonora

Superfície	Coeficiente de absorção	Área (m^2)	Absorção da superfície (Sm)
Parede A	0.25		
Parede A	0.25	27.8	6.95
Parede B	0.10	24	2.4
Parede C	0.20	32	6.4
Parede D	0.15	19.2	2.88
Piso	0.10	48	4.8
Teto	0.12	48	5.76
Portas	0.15	4.2	0.63
Janela	0.10	4.8	0.48
Pessoas	0.40	**30**	12
		Absorção Total	42.3

Fonte: elaborado pela autora.

A absorção total da sala é de 42,3 Sm.

Qual o tempo de reverberação da sala?

TR = 0.161 X Volume(m^3)/Absorção total (Sm)

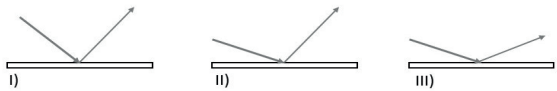
Volume = 6x8x4 = 192m^3

TR = 0.161x192/42.3

TR = 0,73 segundos

Faça valer a pena

1. As formas das superfícies internas de um ambiente são muito importantes na qualificação acústica do espaço. Para aproveitarmos a forma do espaço interno, precisamos estudar graficamente a área de reflexão dos raios sonoros desenhando as superfícies e os raios sonoros incidentes e refletidos. Desse modo, além de impedir a criação de defeitos acústicos, nós podemos direcionar as reflexões sonoras para os pontos onde há necessidade.



Com base no texto acima, analise a figura e escolha a alternativa que indica qual(is) esquema(s) de reflexão sonora está(ão) correto(s).

a) I.

b) II.

c) III.

d) I e II.

e) I e III.

2. Ao incidir em uma superfície, parte do som é transmitida para os ambientes adjacentes, parte é absorvida e parte é refletida de volta ao recinto. A quantidade de energia sonora que será absorvida dependerá do material da superfície e da frequência do som.

Supondo que será instalado na sala de televisão de uma residência um painel de madeira de 2,5 metros de largura por 2,0 metros de altura, cujo coeficiente de absorção para 500 Hz é de 0,55. Calcule a absorção sonora promovida pelo painel para ondas sonoras de 500 Hz.

Agora, assinale a alternativa que aponta a absorção sonora do painel de madeira:

a) 2,75 Sm.

b) 9,09 Sm.

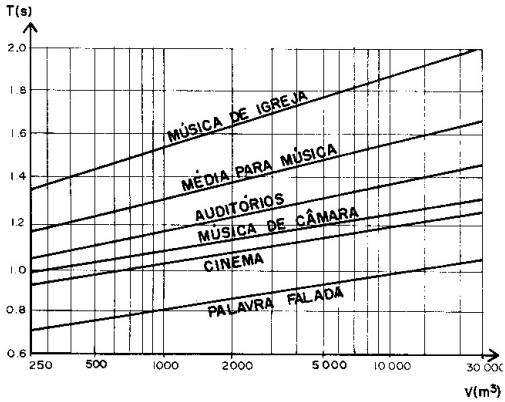
c) 2,47 Sm.

d) 1,37 Sm.

e) 0,0055 Sm.

3. Uma sala de aula (palavra falada) tem 8 metros de largura, 10 metros de comprimento e pé-direito de 3,5 metros. Visando ao conforto acústico e ao melhor aproveitamento das aulas que ali acontecerão, a escolha dos materiais de revestimento e de seu mobiliário será feita para que a sala tenha o tempo de reverberação adequado.

Tempos de reverberação ótimo (ideal) para frequência de 500 Hz:



Fonte: NBR 12179-92 (ABNT, 1992, p. 9).

Analisando a figura, determine qual o tempo de reverberação ideal para a sala.

a) 2,0 segundos.

b) 0,85 segundos.

c) 1,0 segundo.

d) 0,25 segundos.

e) 0,5 segundos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Tratamento acústico em recintos fechados**: NBR 12179. Rio de Janeiro, 1992.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2011. 380p.

CAMARGO, Ana Carolina de. Custos: laje flutuante. **Revisa AU Arquitetura e Urbanismo**, [on-line], ed. 228, março de 2013. Disponível em: <http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/228/custos-laje-flutuante-279030-1.aspx#.Wm9xGOz4rcQ.email> Acesso em: 18 dez. 2017.

MEASURING sound. Dinamarca: Brüel & Kjaer, 1984. Disponível em: <https://www.bksv.com/media/doc/br0047.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2018.

SOUZA, L. C. L.; AMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 1 ed. São Carlos: Edufscar, 2009. 149p.

Anotação

Anotação

ISBN 978-85-522-0665-1