

Eficiência energética nas edificações

Presentemente, o consumo de energia passou a ser um indicador de atividade e desenvolvimento de um país, porém esta percepção foi extrapolada entre consumo e desenvolvimento a todos os setores industriais e sociais, colocando de lado os parâmetros de eficiência no consumo de energia, sendo somente valorados pelos índices de rentabilidade em curto prazo, e isso leva a uma situação em que a implantação real das medidas de eficiência energética seja de menor impacto que o desejável.

Um sistema que valorize a eficiência energética exclusivamente em benefícios no curto prazo, pode conduzir a uma concepção do bem-estar imediato sem que haja medidas para a continuidade do conforto social a longo e médio prazo, enquanto que uma ação baseada em manter os índices de conforto e atividade utilizando técnicas eficientes de geração, transporte e consumo de energia, pode manter e inclusive incrementar tanto o conforto da sociedade quanto a produtividade industrial do país, diminuindo o número de megawatts consumidos. A redução do consumo fundamentado na eficiência energética implica em permitir um maior acesso da população à situação de conforto desejada, enquanto que a redução dos custos de produção aumentaria a competitividade da indústria, o que a transforma em um fator dinamizador da economia de um país, razão pela qual a área das edificações tem um potencial enorme no campo da eficiência energética. (FERRER e GARRIDO, 2013,p. 2). Em 2012, o consumo de energia elétrica no Brasil foi de 480,12 TWh, sendo que as edificações representaram um percentual de 46,7% (224,20 TWh) desse consumo, o setor residencial foi responsável por 23,3% (111,97 TWh); o setor comercial 15,45 (74,05 TWh) e o setor público, 8% (38,17 TWh). Em uma indústria, a maior parte da energia elétrica consumida provém das máquinas e motores, o que limita a atuação da arquitetura e engenharia no sentido de economizar energia. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 16)

Entende-se por Eficiência Energética em uma edificação, a adequação da construção ao entorno para reduzir sua demanda energética, assim como na utilização da energia solar ou complementares para suprir os requerimentos energéticos dos edifícios com relação ao aquecimento, refrigeração e iluminação com a finalidade de reduzir substancialmente consumo energético de energia convencional. Ao reduzir a demanda de energia, diminuem conseqüentemente as emissões de CO₂ e outros agentes de poluição atmosférica.

Segundo (FERRER e GARRIDO, 2013,p. 2), os objetivos que devem ser atingidos com a eficiência energética são:

- Propiciar condições adequadas para conseguir edifícios mais eficientes do ponto de vista energético tanto em novas obras, quanto em já existentes, considerando o clima ao redor sem ser alheio a arquitetura do edifício;
- Favorecer a utilização dos recursos naturais renováveis para o condicionamento dos edifícios, também conhecido como uso de técnicas naturais de condicionamento, considerando os componentes, as técnicas construtivas e a localização do edifício;
- Integrar os sistemas solares ativos de aquecimento térmico ou de produção de eletricidade como outro componente do edifício.

Para esses objetivos serem alcançados, é necessário o uso de técnicas arquitetônicas mais favoráveis ao clima na localidade da edificação, diferentes isolamentos, fachadas e distribuição dos espaços. Também é indispensável à utilização de energia solar passiva através de uma arquitetura coerente energeticamente, a isto se dá o nome de Arquitetura Bioclimática. Este tipo de arquitetura considera as técnicas naturais de acondicionamento desde o desenho, para que se obtenham edifícios energeticamente eficientes, assim como a utilização do sol de forma ativa, que é proporcionada com a integração dos sistemas de energia solar para aplicações térmicas e de aquecimento de fluídos, bem como para produção de eletricidade, usando coletores solares térmicos e módulos fotovoltaicos como elementos que compõem a edificação. Toda esta integração deve ser considerada já no início de projeto, já que o desenvolvimento e difusão da energia solar ativa nos países ditos industrializado passam por sua integração nos edifícios. Para estimular esse desenvolvimento, é necessário que os arquitetos, engenheiros e outros envolvidos conheçam os elementos disponíveis para esta integração. Há uma crescente preocupação social com a economia energética e com o meio ambiente, a isso se reflete o crescimento do setor de energia solar nas edificações e no urbanismo. Porém, um projeto energeticamente consciente passa pelo aproveitamento dos recursos naturais do lugar, dessa forma se faz necessário desenvolver e fortalecer as condições adequadas para o aproveitamento destes. Conseqüentemente, o planejamento urbano é uma condição fundamental para melhor aproveitamento dos recursos. A primeira barreira apresentada no momento de desenhar um edifício

consciente energeticamente é a estrutura urbana, que pode restringir ou facilitar as possibilidades de projeto. (FERRER e GARRIDO, 2013,p. 3)

Os impactos ambientais provocados pelo contínuo crescimento populacional têm se tornado tema de extrema importância nos meios científicos e acadêmicos. Em termos de arquitetura, o aumento da população mundial representa maior demanda de edificações e de consumo de energia. Como resultado, várias medidas preventivas estão em ação por todo o planeta, incluindo o Brasil.

A situação herdada na edificação das décadas passadas, nos quais o custo de combustível era acessível, deu origem a uma era de edificações que valorizavam quase exclusivamente os parâmetros estéticos, assumindo que a climatização estaria coberta pelos sistemas convencionais ativos, independentemente do consumo de toneladas equivalentes de petróleo que seriam gastos. Em 2008, a Agência Internacional de Energia, no informe “perspectivas sobre tecnologia energética”, definiu possíveis cenários e estratégias até 2050, no qual indica que as melhoras em eficiência energética nas edificações é uma das medidas que representam uma economia de maior nível com menor custo entre os cenários analisados. O preço da energia é um fator determinante no interesse das inversões em eficiência energética, pelo que pode ser oportuna a gestão e criação, se for necessário, de instrumentos financeiros específicos.

Para alcançar esse objetivo, sem que se reduza os níveis de conforto térmico exigido pelos indivíduos que os ocupam, nasceu um conceito mais amplo que engloba a utilização de energia solar passiva nos edifícios, denominada de Arquitetura Bioclimática ou Arquitetura Energeticamente Consciente. Sendo assim, este conceito pode ser definido como aquele que otimiza suas relações energéticas com o meio ambiente através de seu próprio desenho arquitetônico. É definitivamente uma arquitetura plana e lisa, sem nenhum tipo de adjetivos, na qual o clima proporciona uma série de condições que devem ser considerados no desenho arquitetônico. Esse conceito então pretende sentar as bases para a construção de edifícios racionalmente construídos, de modo que, com um consumo mínimo de energia convencional, mantenham-se constantes as condições de conforto requeridas. Portanto, devem-se considerar as estratégias de projeto que aproveitem de forma ideal as condições ambientais do meio (energia solar disponível, temperatura exterior, direção predominante do vento, entre outros). (FERRER e GARRIDO, 2013,p. 6)

Conforto térmico e economia de energia, ainda que sejam conceitos totalmente distintos, devem ser considerados simultaneamente no desenho de edifícios energeticamente conscientes, pois é possível obter edifícios com grande economia de energia mesmo que não se instalem sistemas de aquecimento ou refrigeração, apenas utilizando os materiais convencionais de construção e deixando flutuar livremente a temperatura na edificação. Porém na maioria das vezes, nos edifícios

convencionais e dependendo da climatologia exterior, não se conseguem temperaturas interiores dentro dos níveis de conforto aceitos, devido à sua grande variação. Por outro lado na maioria das construções existentes, os níveis de conforto são conseguidos com um grande gasto de energia convencional, pois ninguém se preocupou (nem o arquiteto em seus desenhos, nem os engenheiros que projetaram as instalações e nem mesmo o usuário que adquiriu o edifício) em saber qual seria o valor a pagar pela energia necessária ao longo do tempo para obter o conforto necessário. Pode-se observar que a noção de conforto é muito relativa, por isso busca-se níveis de conforto que são aceitos de forma geral.

5.1 Conforto ambiental

O conforto ambiental pode ser definido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo. O clima é distinto em todas as regiões do planeta, porém o ser humano é biologicamente parecido em todo mundo, sendo que se adapta a diferentes condições climáticas ao se utilizar de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura e a tecnologia. Antes de entender o funcionamento destes mecanismos, é necessário o estudo das variáveis de conforto térmico e visual. A importância delas se baseia na premissa de que existe uma forte correlação entre conforto e consumo de energia.

Todo edifício, desde a fase de desenho à fase de uso ao qual foi concebido, deve prever do ponto de vista energético e de conforto térmico, os efeitos do clima sobre a avaliação termodinâmica do sistema. Já que os elementos passivos são parte integrante da construção, quando não é a própria construção, é preciso considerar os dados climatológicos do princípio da concepção em todas as etapas do projeto.

5.1.1 Conforto térmico

O homem é um ser homeotérmico, ou seja, a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante independente das condições do clima. O oxigênio promove no organismo a queima das calorias existentes nos alimentos (metabolismo), transformando-a em energia, porém sempre há trocas térmicas entre o corpo e o meio, sendo elas ocorrendo por condução, convecção, radiação, evaporação e respiração. Existindo ganho ou perda de calor, pode haver uma tendência ao aumento ou à diminuição da temperatura interna do organismo (37°C), podendo causar danos à saúde e até mesmo a morte.

As variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico e podem ser diretamente medidas são a temperatura do ar ($T_{\text{ar}} - \text{C}^{\circ}$), a temperatura radiante

(TRM – C°), a umidade relativa (UR %) e a velocidade do ar (V – m/s), além destas variáveis, a atividade física (MET – met ou W/m²) e a vestimenta (I_{clo} – clo ou m².°C/W) também interagem na sensação de conforto térmico do homem.

5.1.2 Conforto visual

O conforto visual é um importante fator a ser considerado na determinação da necessidade de iluminação de um edifício. A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, assim como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento. Os ambientes internos e externos são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais (leitura, visão, manufaturas ou consertos, etc.), portanto é necessário que se saiba o que influencia a habilidade das pessoas em desempenhar estas tarefas. Conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições em determinado ambiente onde o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes. Estas condições podem ser classificadas, segundo a European Commission Directorate (1994 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 57) em:

- Iluminância suficiente;
- Boa distribuição de iluminâncias;
- Ausência de ofuscamento;
- Contrastes adequados (Proporção de iluminâncias);
- Bom padrão e direção de sombras.

Deve-se ressaltar que a boa distribuição de iluminâncias não é sinônimo de uniformidade e que o contraste e o padrão das sombras ideal dependem da tarefa realizada. É importante balancear a qualidade e a quantidade de iluminação em um ambiente, assim como escolher a fonte ideal de luz natural ou artificial. É um obstáculo, no entanto estimar as preferências humanas à iluminação, visto que este fator varia conforme a idade da pessoa, a hora do dia e as relações contextuais com o local. O emprego da luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação ou iluminâncias. Também pode se afirmar que quanto mais complicada a tarefa a ser desempenhada em um ambiente e quanto mais velha for a pessoa, tanto maior deve ser o nível de iluminação do local. A iluminação adequada pode causar fadiga visual, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas fixa as iluminâncias mínimas a serem atingidas em função do tipo de tarefa visual através da norma ABNT 5413 – Iluminância de Interiores. A Figura 13 exemplifica o nível de iluminância necessário.

Classificação	Nível de iluminação a ser obtido	Tarefa
BAIXA	100 a 200 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Circulação • Reconhecimento facial • Leitura casual • Armazenamento • Refeição • Terminais de vídeo
MÉDIA	300 a 500 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com alto contraste • Participação de conferências
ALTA	500 a 1000 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e baixo contraste • Desenho técnico

Figura 13 Nível de iluminação necessário.

Fonte: Lamberts; Dutra e Pereira (2014, p. 58)

5.2 Projeto e clima

Antes de se começar a projetar a edificação, é necessário possuir conhecimento do clima e do local, existe a obrigação de se produzir um estudo que forneça informações básicas à montagem do programa de necessidades. Um bom projeto de edificação inteligente deve responder simultaneamente à eficiência energética e às necessidades de conforto do usuário em função das informações obtidas da análise climática e formuladas no programa de necessidades. É importante o conhecimento das diferenças conceituais entre tempo e clima. Tempo é a variação diária das condições atmosféricas, enquanto que Clima é a condição média do tempo em uma dada região baseada em medições de longos períodos de tempo (30 anos ou mais). O projeto arquitetônico deve considerar o clima local e suas variáveis, que se alteram ao longo do ano devido a elementos de controle, tais como: altitude (a temperatura do ar tende a diminuir com o aumento da altitude na ordem de -1°C para cada 100 metros de altitude), barreiras montanhosas e correntes oceânicas. Os fatores climáticos atuam de forma intrínseca na natureza e a ação simultânea das variáveis climáticas exercerá influência no conforto do espaço construído. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 71). As variáveis climáticas podem ser quantificadas em estações meteorológicas e descrevem as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitação. Os dados climáticos mais difundidos no Brasil são as Normas Climatológicas, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e pelo Departamento Nacional de Meteorologia.

A organização Meteorológica Mundial (OMM) define normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos”. No caso de estações para as quais a mais recente Normal Climatológica não esteja disponível, quando a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos ou por outro motivo, Normais Provisórias podem ser calculadas. Normais provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos. (INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016, s.p.)

Existem dados de Normais Climatológicas para centenas de cidades brasileiras, que podem servir de modo satisfatório para a análise do clima local do projeto. Devido à variabilidade do tempo meteorológico de dia para dia e o fato da resposta térmica da edificação estar muitas vezes ligada ao dia anterior, a análise das Normais, de dias típicos de verão e inverno o de temperaturas de projeto, não é suficiente para avaliar o desempenho energético de um edifício com precisão. O Ano Climático de Referência (*Try – Test Reference Year*) é uma base de dados mais precisa para uma análise completa da adequação da edificação ao clima local, pois fornece a possibilidade de simulação horária do consumo de energia durante um ano, proporcionando a avaliação do custo-benefício de opções mais eficientes. Semelhante ao TRY, o Ano Meteorológico Típico (*Tmy – Typical Meteorological year*) já é disponível para vinte cidades brasileiras. Desenvolvidos pelo *Solar and Wind Energy Resource Assesment* (SWERA), pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Laboratório Labsolar da UFSC, os arquivos TMY podem ser visualizados diretamente em planilha eletrônica.

5.2.1 Variáveis climáticas

a) Radiação solar

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta, sendo fonte de calor e luz. O sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética, é possível aproveitar ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, dependendo das circunstâncias do projeto. O que normalmente se faz é adotar um dos enfoques (luz ou calor) como prioridade, deixando o segundo para ser controlado com sistemas artificiais. Para mudar esse paradigma, o projeto deve compreender de forma integrada os fenômenos térmicos e visuais em uma edificação. De todos os elementos climáticos, a radiação solar é o de comportamento mais conhecido, bastando marcar a altura e o azimute solar em uma Carta Solar, para saber onde está o Sol em determinado período do ano. A Carta Solar de uma determinada localidade é uma função da latitude do local. Em latitudes mais pró-

ximas à linha do Equador, o sol tem um comportamento mais parecido nos dois solstícios, sendo o número de horas de sol diário semelhante. Em latitudes mais distantes os dias são mais longos nos meses de verão, o que torna as estações mais distintas. É importante saber a latitude do local para obter a Carta Solar.

A radiação solar pode ser dividida em direta e difusa. Após sua penetração na atmosfera a radiação começa a sofrer interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre. A parcela que atinge diretamente a terra é chamada de radiação direta e sua intensidade depende da altura solar e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora. A radiação solar direta é a que mais influencia nos ganhos térmicos de uma edificação além de ser a fonte de luz mais intensa. Uma parte da radiação global incidente na atmosfera sofre um espelhamento, sendo essa parte denominada radiação difusa. A radiação difusa é proporcionalmente maior conforme mais nublado for o céu. Nestes casos a parcela direta da radiação solar se reduz bastante e as fachadas de uma edificação tenderão a receber a mesma quantidade de radiação difusa. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 73)

A radiação solar é a principal fonte de luz natural. Uma parte da luz que penetra em um edifício, principalmente a parcela direta, é absorvida e convertida em calor. Quando uma superfície refletora é iluminada por uma fonte de luz primária como a luz solar ou a luz do céu, esta é uma fonte indireta de luz. A qualidade desta luz é virtualmente idêntica à luz do céu admitida através de uma abertura de tamanho similar. Se uma superfície refletora for diretamente iluminada pelo sol, sua luminância pode atingir entre 5.000 a 10.000 cd/m², luminância superior à da abóbada celeste (entre 500 e 2000 cd/m²). A luz solar direta ilumina uma superfície normal com 60.000 a 100.000 lux, esse valor é muito intenso para ser utilizado no diretramente sobre o plano de trabalho (Pereira, 1993 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 76). Por este motivo, muitos projetistas preferem excluir completamente a luz direta do sol no interior da construção. Devido à sua importância como aquecimento solar passivo, a radiação solar direta é muitas vezes considerada indesejável para a iluminação por conta de sua radiação térmica, o que é uma concepção errônea já que a eficácia luminosa da luz natural direta é maior que a maioria das alternativas de luz artificial conhecidas. A luz natural direta introduz menor quantidade de calor por lúmem que a maioria das lâmpadas, sendo assim a luz natural é uma estratégia atrativa para diminuir a carga de resfriamento necessária em edifícios.

A luz difusa é consideravelmente mais baixa que a luz direta, gerando entre 5.000 e 20.000 lux para céu encoberto. embora quantificáveis, tanto a radiação solar quanto a luz natural podem variar enormemente de um instante para o outro. Para simplificar esta variação, são criados modelos padrões que representam alguns tipos de céu: céu limpo (claro), céu parcialmente nublado (anisotrópico) e céu nublado (isotrópico). (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 76)

b) Temperatura

A temperatura é a variável climática mais conhecida e de mais fácil medição. A variação da temperatura na superfície terrestre é resultado basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da recepção diferenciada da radiação solar de local para local. Quando a velocidade dos fluxos de ar é pequena, a temperatura é resultado consequente dos ganhos térmicos solares do local. Quando a velocidade do ar é alta, a influência dos fatores locais na temperatura do ar é menor. O projeto também pode tirar proveito das propriedades de inércia térmica da terra para amenizar as temperaturas no interior da edificação, já que o solo se mantém em temperaturas mais amenas que o ar exterior, sendo que pela inércia térmica a terra ganha ou perde calor lentamente se submetida a temperaturas respectivamente mais altas ou baixas. O calor armazenado no solo pode ser útil onde as noites são frias e os dias quentes, se a edificação for integrada à terra (edifícios semienterradas, taludes, coberturas com terra, etc.) há possibilidade de absorver esse calor nos horários mais frios do dia, o que possibilita mais conforto aos usuários. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 78)

Em uma região climática pode ocorrer variações significativas de direção e de velocidade de movimento do ar, por conta das diferenças de temperatura entre as diferentes massas de ar, que provoca o deslocamento da área de maior pressão (ar mais frio e pesado) para a de menor pressão (ar quente e leve). Através de diagramas, como a rosa-dos-ventos, o projetista pode conhecer as probabilidades de ocorrência do vento para as principais orientações e sua velocidade. Isso auxilia na colocação de aberturas, de modo que possa aproveitar o vento fresco em períodos quentes e evitar o vento forte em períodos frios. A presença de vegetação, outras edificações e obstáculos podem alterar as condições de ventos do local, assim como se pode utilizar o perfil topográfico de um terreno para canalizar os ventos, desviando-os ou trazendo para a edificação. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 78)

c) Umidade do ar

A pressão de vapor é a variável climática mais estável ao longo do dia. A umidade do ar resulta da evaporação de fontes de água e da evapotranspiração dos vegetais. O ar a certa temperatura pode conter uma determinada quantidade de água. Quanto maior a temperatura do ar, maior a densidade e quantidade de água que pode conter. A umidade relativa tende a aumentar quando há diminuição da temperatura a diminuir quando há aumento da temperatura. Em locais com alta umidade, a transmissão da radiação solar é reduzida já que o vapor de água e as nuvens absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo uma parte de volta ao espaço. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias; em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas. Altas umidades relativas do ar influem diretamente na capacidade da pele em evaporar o suor, o que aumenta a sensação de

desconforto térmico. É importante observar o comportamento da temperatura e a umidade ao longo do ano (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 79)

5.2.2 Bioclimatologia

Entendido os conceitos básicos que envolvem o ambiente em que o projeto vai ser instalado, deve-se então entender os efeitos destes fatores na construção e em sua eficiência energética. Pode-se tirar partido ou evitar os efeitos dessas variáveis, de forma a produzir um ambiente com as condições determinadas aos usuários. Há duas formas: a primeira é com o emprego de formas artificiais de climatização e iluminação. A segunda é utilizar estratégias de aquecimento, resfriamento e iluminação naturais. O importante é saber integrar ambos os sistemas, naturais e artificiais, traçando uma relação de custo/benefício em cada solução. Para utilizar as estratégias naturais de forma mais adequada, deve-se conhecer então a bioclimatologia, que aplica os estudos do clima (climatologia) às relações com os seres vivos, pois conhecendo os conceitos básicos que relacionam clima e conforto, pode-se compreender a importância da bioclimatologia aplicada aos edifícios inteligentes. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 84)

Na década de sessenta, os irmãos Olgay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano, assim criaram a expressão Projeto Bioclimático. (Olgay, 1973 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 84). A arquitetura dentro deste conceito busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. Foi desenvolvido por Olgay um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima, conhecido como Carta Bioclimática de Olgay (Figura 14).

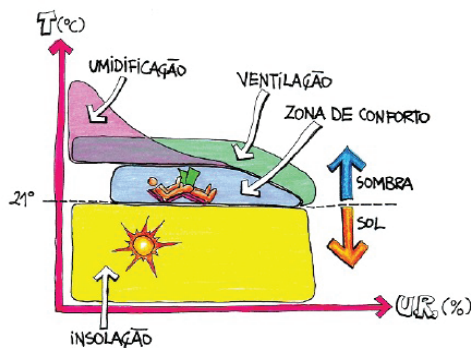


Figura 14 Carta Bioclimática de Olgay.

Fonte: Lamberts; Dutra e Pereira (2014, p. 84)

Em 1969 Givoni concebeu uma carta bioclimática para edifícios que corrigia algumas limitações do diagrama idealizado por Olgyay. A carta de Givoni é adaptada sobre a carta de psicrométrica, que é uma parte da termodinâmica que tem por objetivo o estudo das propriedades do ar úmido. Givoni propôs estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima, enquanto que Olgyay aplicava seu diagrama estritamente para as condições extremas. Em um estudo mais recente, Givoni (1992) explica que conforto térmico interno em edifícios não condicionados depende muito da variação do clima externo e da experiência de uso dos habitantes. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados, geralmente aceitam uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como situação normal, demonstrando assim a sua aclimatação. Givoni então concebeu uma carta bioclimática para países em desenvolvimento, onde os limites máximos de conforto da sua carta anterior foram expandidos. A Figura 15 demonstra as estratégias de controle climático a serem adotados no projeto de arquitetura visando o conforto térmico, segundo Watson e Labs (1983)

A Figura 15 relaciona princípios a serem considerados quando as condições climáticas proporcionam desconforto por frio (inverno) ou por calor (verão). Em períodos frios a intenção é evitar perdas de calor e promover ganhos térmicos, enquanto que em tempos quentes o objetivo é favorecer as perdas de temperatura. Cada um destes princípios é relacionado aos quatro mecanismos básicos de trocas de calor (condução, convecção, radiação e evaporação).

		CONDUÇÃO	CONVECÇÃO	RADIAÇÃO	EVAPORAÇÃO
INVERNO	Promover ganhos	Promover ganho de calor solar			
	Resistir às perdas	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar fluxo de ar externo Minimizar infiltração de ar		
VERÃO	Resistir aos ganhos	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar infiltração de ar	Minimizar ganho solar	Promover resfriamento evaporativo
	Promover Perdas	Promover resfriamento através do solo	Promover ventilação	Promover resfriamento radiativo	
Fontes de calor		Atmosfera		Sol	
Fontes de resfriamento		Solo	Atmosfera	Céu	Atmosfera

Figura 15 Estratégias de controle bioclimático.

Fonte: Lamberts; Dutra e Pereira (2014, p. 85)

A Figura 16 é construída sobre um diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Tendo conhecimento dos valores destas variáveis para os principais períodos do ano climático na localidade, o projetista poderá ter a direção sobre a estratégia bioclimática a ser adotada no desenho do edifício. Os dados de temperatura e umidade podem ser traçados diretamente sobre a carta, onde são identificadas as zonas bioclimáticas.

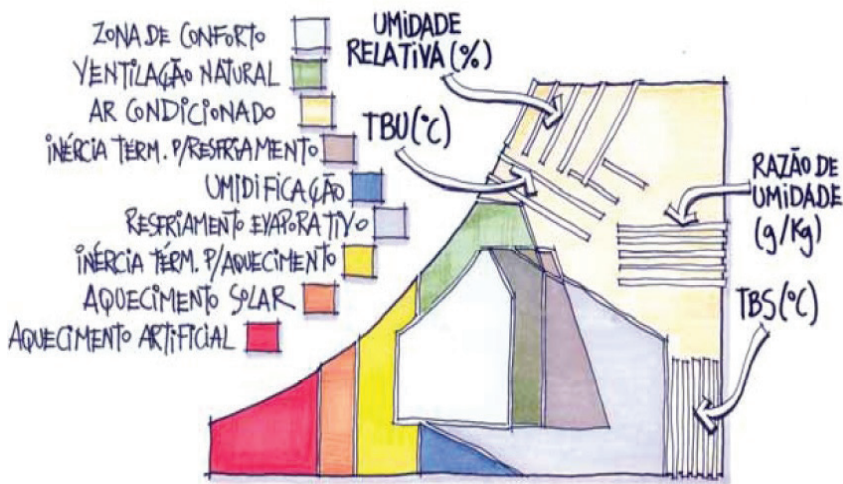


Figura 16 Carta Bioclimática adotada para o Brasil.

Fonte: Lamberts; Dutra e Pereira (2014, p. 86)

5.2.2.1 Diagrama psicrométrico

É possível através deste diagrama, representar graficamente a relação entre as temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade relativa e grau de umidade de misturas de ar e vapor de água sob uma pressão determinada (usualmente 1 atm). Portanto, um diagrama psicrométrico é uma representação gráfica das propriedades termodinâmicas do ar úmido, sendo útil em aplicações práticas. A escolha das coordenadas é arbitrária, ou seja, em abscissas pode-se representar a temperatura de bulbo seco e em no eixo das ordenadas a umidade específica ou a pressão parcial do vapor de água. As linhas verticais são, por definição, isotermas e as horizontais isolinhas de conteúdo de umidade ou de pressão parcial de vapor. O diagrama contém linhas de entalpia constante e temperatura úmida (linhas retas de inclinação negativa) e linhas de umidade relativa constante (linhas curvas). A Figura 17 representa um diagrama psicrométrico a nível do mar.

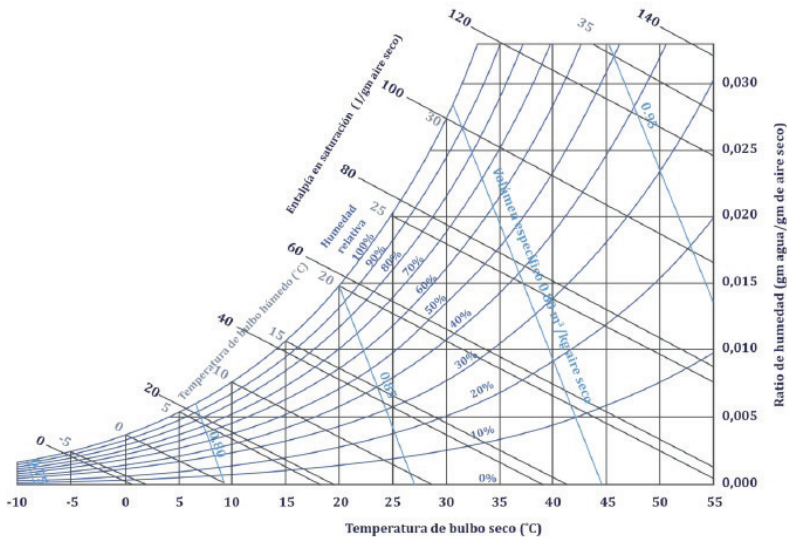


Figura 17 Diagrama psicrométrico.

Fonte: Ferrer e Garrido (2013, p. 18)

Segundo FERRER e GARRIDO (2013, p. 18), os usos mais comuns deste tipo de diagrama são:

- Determinação da umidade relativa e específica de uma massa de ar; conhecida sua temperatura de bulbo seco (t_s) e úmido (t_h), o estado higrométrico da massa de ar fica determinado pelo ponto de intersecção das isoterms $t=t_s$ e $t=t_h$. A ordenada deste ponto define a umidade específica da massa de ar; a umidade relativa é definida pela linha de umidade relativa constante que passa pelo ponto.
- Determinação da umidade específica de uma massa de ar; conhecida sua temperatura de ponto de condensação, a ordenada do ponto de intersecção da isoterma $t=t_r$ com a linha de saturação ($H_r=100\%$) é a que determina a umidade específica do ar.
- Determinação da umidade relativa de uma massa de ar que evolui à umidade específica constante.
- Determinação da temperatura seca e da umidade específica de uma massa de ar que evolui à umidade relativa constante.
- Determinação da quantidade de água evaporada ou condensada em um processo geral, etc.

5.2.2.2 Carta bioclimática

A carta bioclimática criada por Givoni sintetiza todos os resultados em uma única carta bioclimática que, dependendo basicamente da temperatura e umidade do exterior, característico da climatologia local, indica as estratégias a se adotar no desenho do edifício para que possa ser possível potencializar um ou outra técnica passiva. A Figura 18 exemplifica esta carta.

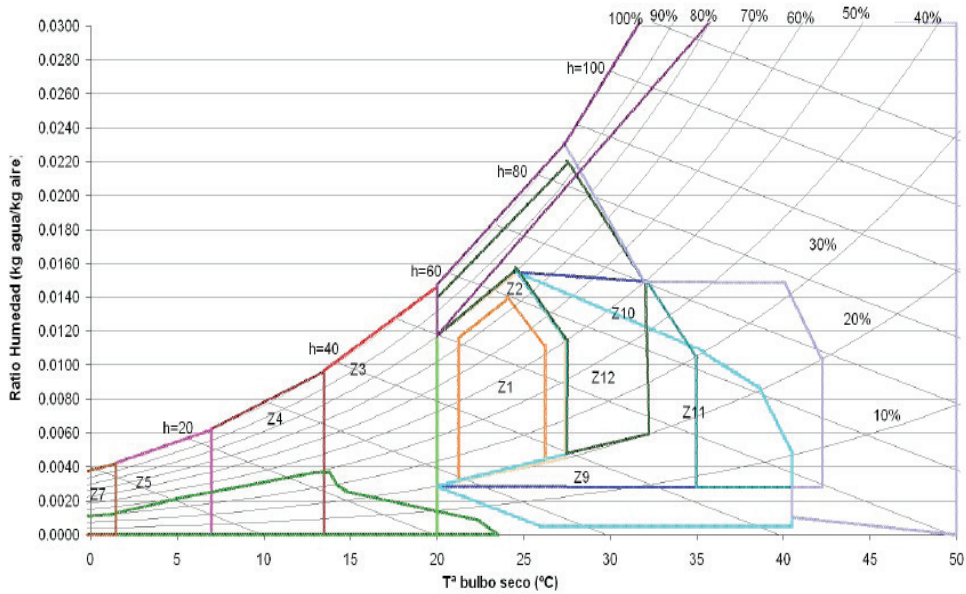


Figura 18 Diagrama de Givoni.

Fonte: Ferrer e Garrido (2013, p. 34)

De acordo com a legenda (Figura 19), cada uma das zonas indica quais estratégias devem ser adotadas:

- Zonas 1 e 2: Aumentar o isolamento, controlar os fluxos condutivos, evitar infiltrações, aumentar o ganho e minimizar os intercâmbios de ar (boa qualidade construtiva);
- Zonas 3 e 4: Restringir os ganhos solares (sombreamento);
- Zonas 6 e 8: Aumentar a ventilação natural;
- Zonas 8,10 e 11: Procurar resfriamento evaporativo
- Zonas 7 e 10: Procurar resfriamento radioativo;
- Zonas 12 e 13: restringir fluxos condutivos.

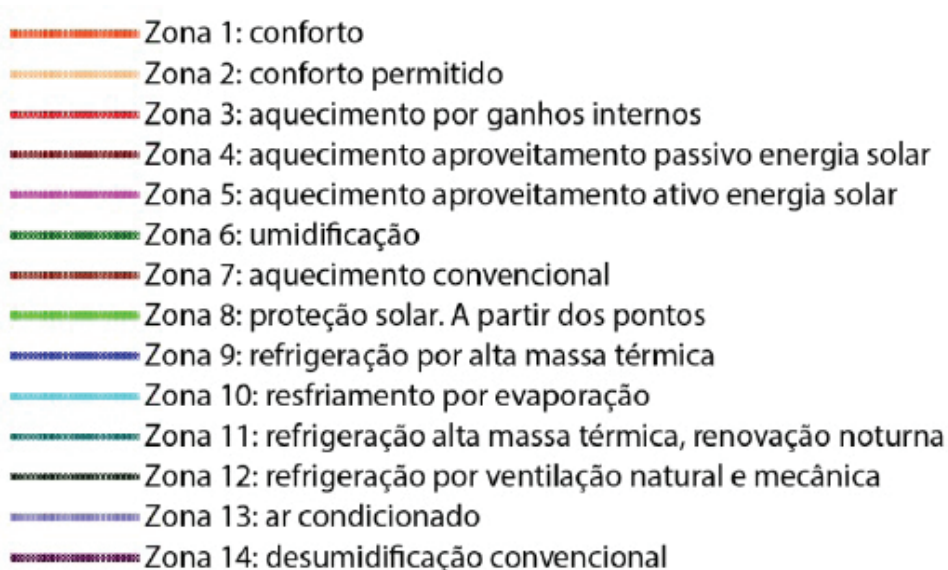


Figura 19 Legenda de zonas climáticas.

Fonte: Ferrer e Garrido (2013, p. 34).

5.3 Projeto de arquitetura bioclimática

tendo ciência sobre as principais variáveis envolvidas nas questões de conforto e desempenho energético em edifícios, pode-se concluir através dos conceitos pertinentes à bioclimatologia, quais os princípios bioclimáticos a se adotar em diversas situações. O primeiro passo é identificar nas edificações onde a maior parte da energia está sendo gasta e verificar, dentro desta problemática, quais soluções podem ser concebidas. De um modo geral, para se racionalizar o uso de energia em um edifício, as soluções devem ser pensadas de modo a reduzir o consumo de energia gasto para iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água. Pensando assim, segundo LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014, p. 259), “são basicamente três idéias a serem perseguidas no processo de concepção arquitetônica”:

- Usar sistemas naturais de condicionamento e iluminação sempre que possível;
- Usar sistemas artificiais mais eficientes e;
- Buscar a integração entre os dois (artificial e natural).

Existem diferenças significativas no consumo de energia do setor residencial para os setores comercial e público; primeiramente pela densidade de pessoas

ocupando determinado espaço. Em residências as pessoas compartilham vários ambientes, onde poucos são ocupados na maior parte do dia, mesmo em edifícios residenciais, excluindo o hall de entrada e circulação, a densidade de ocupação para cada ambiente é considerada baixa se comparada aos edifícios comerciais e públicos. Nestas edificações, um grande número de pessoas pode ocupar um único espaço (salas de aula, auditórios, teatros, escritórios, etc.) e o fluxo de pessoas que entram e saem destes ambientes podem ser contínuo (lojas, supermercados, etc.). Como resultado deste tipo específico de utilização dos setores públicos e comerciais, mais energia é consumida para climatização e iluminação.

Outra característica que é importante tomar conhecimento no consumo de energia é a função arquitetônica. É mais cômodo aos usuários de um espaço residencial determinar as condições ambientais que o satisfaçam, já em um ambiente de escritórios, por exemplo, é necessário adaptar-se às condições ambientais disponíveis. Esses fatores fazem do setor residencial o cliente ideal para o uso de sistemas naturais de condicionamento e iluminação. Embora os setores comercial e público tenham condições de emprego dessas soluções, é provável que haja a necessidade de se empregar sistemas artificiais, optando por selecionar equipamentos mais eficientes. É importante ressaltar que a integração entre sistemas naturais e artificiais é encorajada, pois além da economia de energia, propicia ambientes mais agradáveis. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 260). O consumo de energia nos setores comercial e público é fortemente influenciado pela grande quantidade de calor gerado no interior do edifício. Estes edifícios contam com maior densidade de usuários, equipamento e lâmpadas, que forçam o sobreaquecimento dos ambientes, mesmo em situações onde o clima exterior indica conforto térmico. A iluminação e o ar-condicionado são os grandes consumidores de energia nesses setores, representando aproximadamente 64% do consumo (44% para iluminação artificial e 20% para ar-condicionado). (Geller, 1994 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 260)

Antes de começar o desenvolvimento de soluções para o emprego de recursos naturais de condicionamento e iluminação no setor residencial, é preciso fazer um estudo do clima da região, para identificar quais estratégias bioclimáticas se mostram mais adequadas, sendo que este estudo pode ser realizado por intermédio da Carta Bioclimática. Ao se plotar na carta os dados climáticos para a cidade que se quer analisar, podem surgir uma ou mais indicações bioclimáticas. A cada uma destas indicações, lidas diretamente na carta ou nas tabelas de percentuais de necessidades das estratégias, correspondem diversos recursos de design, que podem ser adotados no projeto para responder às condições de conforto para o local. Já no espaço comercial e público, com dito anteriormente, existe uma grande diversidade no uso dos espaços, principalmente no setor comercial. Neste setor, as edificações podem funcionar durante o dia, durante a noite ou até em dois períodos, dependen-

do da função a que é destinada a construção. Em alguns casos a iluminação com boa qualidade e quantidade é imprescindível, como em escritórios de desenho ou de consertos delicados. Também existem locais onde a iluminação deve ser reduzida ou até evitada em boa parte do tempo, como em boates ou cinemas. Já em relação ao conforto térmico, para alguns ambientes sua necessidade é secundária (alguns tipos de depósitos, prédios de estacionamentos) e em alguns casos é o principal fator do ambiente (shopping centers, galerias comerciais, etc.). todas essas diversidades indicam a importância dos estudos sobre a apropriação espacial dos edifícios com o intuito de orientar as intervenções referentes à eficiência energética. Mesmo que as estratégias bioclimáticas indicadas pela carta bioclimática sejam válidas para a arquitetura comercial e pública, é mais urgente a necessidade de integração entre os sistemas naturais e artificiais, visto que o uso dos sistemas artificiais pode ser imprescindível para a produtividade do espaço interior.

Todos os conceitos apresentados devem ser aplicados no mínimo de forma qualitativa no projeto, e como já dito anteriormente, é mais fácil aplicar estes conceitos em edificações de pequeno porte ou de função residencial pois é menor o número de variáveis envolvidas e há maiores possibilidades de se explorar a iluminação e o condicionamento naturais. A sistematização de todas as variáveis pode ser à primeira vista complexa, porém pode-se definir a princípio uma sequência de procedimentos onde as questões discutidas integram-se em outros fatores levados em consideração, conforme exemplificado na Figura 20.

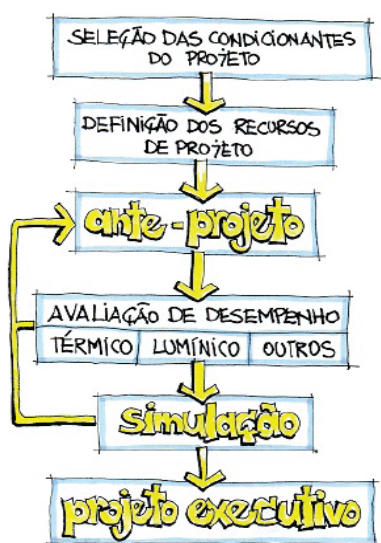


Figura 20 Método de projeto.

O esquema da Figura 20 ilustra um procedimento lógico de execução do projeto, podendo servir de base para outros métodos.

5.3.1 Análise do terreno

A análise do terreno inclui aspectos importantes como a legislação, dimensões, a orientação, topografia, presença de vegetação, água e outros edifícios ou barreiras que possam obstruir o vento e o sol. A legislação vigente, como por exemplo: o código de obra da cidade, estipula os afastamentos, o número máximo de pavimentos, e os recuos do edifício, entre outras determinações que podem influir no desempenho ambiental do mesmo. Mesmo sendo respeitados, os afastamentos e recuos laterais podem representar sombras indesejáveis no entorno da construção e falta de iluminação e ventilação natural nos ambientes internos dependendo dos elementos presentes no entorno. O número máximo de pavimentos não gera garantias na insolação adequada dos ambientes nem o acesso solar dos edifícios vizinhos.

A orientação permite identificar as melhores fachadas para distribuição dos ambientes, tendo como referência o acesso solar e a ventilação natural necessária ao longo do ano. Já o estudo da topografia, da presença de vegetação, de barreiras edificadas e água nas proximidades permite identificar os elementos que podem ser explorados e os que devem ser evitados como possíveis estratégias bioclimáticas a serem consideradas no projeto. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 261)

5.3.2 Análise do clima local

O clima fornece diversos fatores de como o projeto deve ser pensado. A análise climática informa quais estratégias bioclimáticas devem ser executadas em função do clima local e período do ano. Saber quais estratégias utilizar é um poderoso recurso na elaboração de qualquer projeto que vise o conforto e a eficiência energética. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 262)

5.3.3 Análise dos usuários e horários de uso

Esta análise define os parâmetros como a vestimenta mais provável que os ocupantes usarão nos ambientes, sua atividade, geometria do ambiente (que pode identificar problemas de desconforto visual e de assimetria térmica) e os horários críticos de uso, além de outros aspectos referentes aos usuários. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 262)

5.3.4 Programa de necessidades

O programa de necessidades básicas é definido após obter as informações dos itens anteriores. Deve incluir qualquer informação que possa ser útil ao projeto bioclimático (necessidade de iluminação e ventilação natural, sol ou sombra, necessidade de isolamento térmico condicionamento artificial, entre outros), estas informações adicionais ao programa de necessidades são um ferramenta de tomada de decisão que deve estar presente em todas as etapas do processo de projeto. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 262)

5.3.5 A função

A arquitetura considera que a função é ora consequência da forma, ora qua a forma segue a função. Segundo LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014, p. 262) “a alternativa mais correta seria considerar ambas com a mesma prioridade desde o início do projeto”. Mesmo qua a função a qual se destina a construção possa estar relacionada a uma forma preconcebida, ela é passível de sofrer modificações após a ocupação e uso do espaço. É possível que um projeto arquitetônico funcional possa tornar o uso desconfortável e ineficiente durante o desempenho de tarefas. Para se evitar isso, é necessário tomar ciência além das relações térmicas, acústicas e visuais, as relações antropométricas e proxêmicas entre o homem e o espaço. (Hall, 1981 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 262)

Segundo LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014, p. 262) “A função arquitetônica interage com a forma e a eficiência energética de um edifício. O mesmo projeto, se destinado a fins distintos como comércio ou habitação, pode resultar em comportamentos energéticos diferentes”. Isso explica como o estudo da função arquitetônica é de grande impacto na escolha de determinado critério ou estratégia bioclimática a se adotar. As funções residencial, comercial e pública são diferentes se for observar a dependência do clima e posteriormente seu consumo de energia.

5.3.6 A forma

A forma arquitetônica exerce influência no conforto ambiental e no consumo de energia. Ela interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e exterior, na quantidade de luz e calor solar recebidos pelo edifício. A luz natural além de ser uma variável ambiental, também pode ser enfocada como elemento de projeto. A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de um edifício é variável segundo a orientação e a época do ano, portanto, o mesmo volume de espaço interior pode agregar formas distintas, com comportamentos

térmicos e visuais particulares. Desse modo, a forma arquitetônica é uma importante influência para as condições de conforto e para o desempenho energético da edificação. Modificando a distribuição das janelas, por exemplo, colocando-as em outra superfície ou modificando a área de envidraçamento, já pode exercer influência nas variações térmicas e visuais do microclima interno. (Riveiro, 1985 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 264)

5.3.7 Os materiais construtivos

A especificação dos materiais construtivos é uma etapa delicada. É necessário observar a transmitância térmica do fechamento desejado, pois isso influencia no desempenho de trocas térmicas entre o interior e exterior. Outro ponto a se observar é a transmitância visível do material, propriedade que diz respeito à quantidade de luz que irá atravessar o elemento em direção ao ambiente interno e proporcionar iluminação natural e por conseguinte economia de energia. outro ponto a ser observado é a resistência térmica dos materiais empregados, variável relacionada ao isolamento térmico que cada material proporciona. O fator solar é outra variável a se observar, é relacionado com a quantidade de radiação solar que efetivamente penetra no ambiente pela fachada da edificação. A inércia térmica do material pode ser estimada através de sua capacidade térmica, assim como o atraso térmico que diz quanto tempo o calor levará para atravessar o material. A absorvidade é uma função da cor do material e indica o quanto do calor será absorvido e poderá ser emitido para o ambiente interior na forma de onda larga. A refletividade indica quanto do calor e da luz incidente serão refletidos para fora ou dentro do edifício. Outra variável importante a ser considerada é a sustentabilidade com o fato de que empregar materiais locais são mais adequados por exigirem menor gasto com transporte. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 268)

5.3.8 Integração das estratégias bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas, podem ser muitas vezes contraditórias. A ventilação, que é uma solução para o verão, pode ser um problema no inverno. Estratégias como o aquecimento solar e o sombreamento também tem suas necessidades invertidas de acordo com a estação do ano. A iluminação natural pode significar aumento indesejável do calor no interior da edificação, então mesmo que reduza a necessidade de iluminação artificial, pode levar a um maior uso de refrigeração ou ventilação forçada. Estas variáveis também devem levar em consideração os aspectos acústicos, dependendo do projeto., já que um ambiente que necessite de boa acústica pode precisar ser isolado e ir de encontro com as estratégias

adotadas de ventilação e iluminação no projeto. Em resumo, para se desenvolver soluções que respondam às necessidades corretamente, os envolvidos no projeto devem utilizar as estratégias bioclimáticas de forma integrada e isso só se realiza com profissionais que possuem conhecimento teórico e empírico adequados. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 268)

5.3.9 A expressividade arquitetônica

Segundo LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014, p. 268), “Toda e qualquer decisão de projeto influi na expressividade arquitetônica”. Sendo assim, os elementos que fazem parte do sistema de arquitetura bioclimática podem e devem ser explorados pela expressividade de forma, textura e cor. Por exemplo, uma parede de tijolo maciços pode dar, além de boa inércia térmica, um aspecto mais aconchegante, familiar e até rústico à edificação. Uma expressividade arquitetônica satisfatória pode ser alcançada através de estudos de cada alternativa de projeto, ponderando o desempenho dos materiais construtivos a serem empregados e sua participação nas sensações visuais e sinestésicas que se deseja aplicar na experiência dos usuários. Por conta disso, estes estudos de alternativas e composições somente são mais eficazes se realizados desde o início do projeto, onde a maior parte das decisões ainda está sendo tomada e é mais fácil realizar alterações substanciais como por exemplo, tipo de telhado, cores, sistema construtivo e a própria implantação do projeto para que se alcance os resultados esperados e adequados às condições locais. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 269)

5.4 Técnicas de projeto bioclimático

os elementos e estratégias bioclimáticas a serem empregados no projeto, dependem principalmente da análise bioclimática e do terreno. De acordo com os dados obtidos na carta bioclimática, pode-se aplicar diversas técnicas.

5.4.1 Ventilação

As técnicas que podem ser aplicadas para ventilação natural são as seguintes:

- a) Usar a forma e a orientação: maximizar a exposição da edificação às brisas de verão, orientando o edifício corretamente e empregando recursos aplicáveis à sua forma. O estudo da forma e da orientação também pode explorar a iluminação natural e favorecer ganhos solares de calor.
- b) Projetar espaços fluídos: os espaços interiores fluídos permitem a circulação de ar entre os diversos ambientes internos e entre o exterior. Podem ser utilizados

diversos dispositivos para permitir a ventilação natural e ao mesmo tempo manter a privacidade dos interiores, como por exemplo venezianas ou elementos vazados. Em locais com invernos rigorosos, estes dispositivos podem ser fechados para evitar infiltrações e perdas de calor interior.

- c) Ventilação vertical: o ar quente por ser menos denso, tende a se acumular nas partes mais elevadas do interior de um determinado espaço. A retirada do ar quente pode criar um fluxo de ar ascendente gerado por aberturas em diferentes níveis. Isto pode ser feito por meio de lanternins, aberturas no telhado, exaustores eólicos ou aberturas zenitais.
- d) Direcionar o fluxo de ar para o interior: pode-se utilizar os elementos que se destacam da volumetria ou do entorno do edifício para maximar o volume e a velocidade do fluxo de ar para o espaço interno. Os elementos inclusive podem ser utilizados para o sombreamento de aberturas.

5.4.2 Resfriamento evaporativo e umidificação

É uma estratégia que consiste na retirada de calor do ar pela evaporação de água ou evapotranspiração das plantas. As técnicas de resfriamento evaporativo que podem ser utilizadas para reduzir a temperatura do ar são as seguintes:

- a) Construir áreas gramadas ou arborizadas: uma superfície com cobertura vegetal exposta ao sol, consome parte do calor para realizar a fotossíntese. Outra parte é utilizada para evaporar a água (evapotranspiração das plantas). Isso resulta na criação de um microclima mais ameno que refresca os espaços interiores da edificação.
- b) Resfriamento evaporativo das superfícies edificadas: esta técnica é utilizada para diminuir a temperatura das superfícies de uma edificação. Coberturas porosas absorvem a água da chuva e do sereno noturno, sendo evaporadas posteriormente com a incidência do sol, desse modo a telha perde calor, o que reduz os ganhos térmicos por condução e a temperatura radiante. O incremento desta técnica pode ser obtido com o umedecimento periódico do telhado nos dias mais quentes, através de tubulações perfuradas colocadas próximas à cumeeira. Uma alternativa é molhar as áreas pavimentadas com este tipo de tubulação, outra medida é cobrir as paredes externas da edificação com vegetação, já que a temperatura é reduzida através da evapotranspiração e sombreamento da radiação solar. Em regiões com climas bem delimitados, a aplicação de vegetação com folhas caducas implica em proteção no verão e ganhos solares no inverno.
- c) Resfriamento evaporativo indireto: a aplicação desta técnica consiste em soluções arquitetônicas como a instalação de um jardim ou tanque de água sobre o telhado. A incidência do sol provoca a evaporação da água ou a

evapotranspiração do vegetal, retirando o calor da cobertura. Dessa forma a superfície do telhado é resfriado e conseqüentemente há a diminuição da temperatura no ambiente interno.

- d) Umidificação: em regiões que possuem a umidade relativa do ar muito baixa (inferior a 20%), são passíveis de causar desconforto (mucosas ressecadas e princípios de desidratação, etc.). a solução adotada é umidificar o ar através da evaporação da água por meio de fontes ou espelhos d'água próximos à construção de forma que se possa criar um microclima no entorno.

5.4.3 Uso da inércia térmica

O uso da inércia térmica pode ser útil tanto no frio quanto no calor, de acordo com o clima local, sendo que para utilizá-la visando o aquecimento interno, deve-se optar por construir fechamentos opacos mais espessos e diminuir a área de aberturas, orientando-as ao sol. A inércia térmica tem como característica acumular o calor recebido pela parede e devolvê-lo ao interior somente à noite, quando as temperaturas tendem a ser mais baixas. Em locais frios essa técnica é ideal, mesmo que o ar externo esteja a temperaturas relativamente baixas, a insolação direta pode aquecer as paredes e a cobertura. Já em locais quentes, o uso da inércia térmica pode ser utilizado para resfriar os ambientes interiores. Para isso, deve-se optar pelo uso de aberturas sombreadas e evitar a ventilação diurna, que pode aumentar a temperatura dos espaços ao trazer o ar quente exterior. À noite, o uso da ventilação seletiva retira o calor acumulado durante o dia e garante temperaturas internas mais amenas no dia seguinte.

5.4.4 Aquecimento solar passivo

As técnicas para se obter o aquecimento solar passivo são as seguintes:

- a) Ganho direto: esta técnica consiste em permitir o acesso da radiação solar diretamente ao interior, por meio de aberturas laterais (janelas e paredes transparentes) ou zenitais (clarabóias e domos). Os elementos transparentes geram um “efeito estufa” que aquece os ambientes. Um exemplo de aplicação desta técnica são os solários.
- b) Ganho indireto: uma das técnicas para se obter um ganho indireto de aquecimento, é construir jardins de inverno, que captam a radiação solar e a distribui indiretamente aos ambientes. Outra opção é construir paredes de acumulação, que são constituídas de materiais de elevada inércia térmica nas orientações mais expostas à insolação, acumulando o calor e distribuindo ao ambiente por radiação de onda larga e convecção. A colocação de vidro evita que a parede perca calor por convecção e radiação para o exterior. Conhecida

por parede trombe, esta técnica consiste em criar uma convecção induzida pelo aquecimento do ar no espaço entre o vidro e a parede. O ar quente tende a subir, sugando mais ar fresco pela abertura inferior do sistema.

5.4.5 Ar-condicionado

Haverão casos em que as condições climáticas demandarão o uso do ar-condicionado como a forma mais eficiente para garantir o conforto térmico dos usuários. Para uma maior eficácia, há de se garantir a estanqueidade dos ambientes, evitando assim a infiltração do ar exterior, e utilizar aparelhos mais eficientes, observando a correta instalação do equipamento e prevendo o isolamento térmico dos fechamentos da construção.

Nos edifícios comerciais e públicos o uso do ar-condicionado geralmente se faz necessário já que o desconforto pode levar a baixa produtividade nos escritórios e perda de clientes. Mesmo neste caso há como se desenvolver soluções para minimizar o uso de ar-condicionado e conseqüentemente de energia elétrica. As técnicas já expostas podem não ser completamente eficazes em geração de conforto por conta das grandes cargas internas, geradas pela iluminação artificial, grande número de ocupantes e equipamentos. Porém LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014, p. 277) aconselha adotar alguns critérios no projeto ou retrofit de edifícios antigos, com o objetivo de reduzir a demanda de climatização artificial:

- Redução da transmitância térmica das paredes, janelas e coberturas;
- Uso de proteções solares em aberturas;
- Uso de cores claras no exterior (reduz ganhos por radiação);
- Emprego da ventilação cruzada sempre que possível;
- Evitar ambientes sem contato com o exterior, pois não podem explorar a luz e a ventilação natural.

Um grande ícone das edificações comerciais modernas é a fachada de vidro. Quando não protegido, o vidro gera ganhos solares altos (efeito estufa), implicando em um consumo exagerado de energia para climatização artificial. Nessas situações é necessário a utilização de proteções solares para reduzir a incidência de radiação solar excessiva. No entanto deve sempre haver um equilíbrio já que bloquear a luz natural pode ocasionar em gastos excessivos de gasto com iluminação artificial. É aconselhável evitar o uso de vidros absorventes (fumê) pois eles reduzem consideravelmente a visibilidade para o exterior e a entrada de luz natural. Outro ponto a se observar em edifícios comerciais e públicos é a eficiência dos sistemas de ar-condicionado. Os problemas de consumo alto ligados ao equipamento de ar-condicionado podem ocorrer pela falta de manutenção, deficiência no isolamento dos dutos de ar ou tubulações de água,

superdimensionamento, equipamentos de baixa eficiência, entre outros. Com relação ao superdimensionamento, ele pode ser evitado ao se estimar a carga térmica dos ambientes.

5.4.6 Aquecimento artificial

É aconselhável o uso desta técnica quando a temperatura exterior não ultrapassa os 10,5 °C. para isso, é importante o bom isolamento térmico dos fechamentos, evitando a ventilação da cobertura, utilizando aberturas com vidro duplo e paredes com materiais de baixa condutividade térmica, evitando sempre a infiltração do ar externo.

5.4.7 Técnicas auxiliares para reduzir o consumo de energia

Além das estratégias bioclimáticas, a redução no consumo pode ser obtida com a aplicação de outras técnicas:

5.4.7.1 Cores em fachadas

A utilização de cores está relacionada com os conceitos físicos de conforto térmico e visual. Cores escuras podem aumentar o ganho de calor solar, da mesma forma que cores mais claras aumentam a reflexão à radiação solar, o que reduz os ganhos de calor pelos fechamentos opacos. No interior dos ambientes, o uso de cores mais claras por serem mais reflexivas, podem auxiliar os sistemas de iluminação natural e artificial.

5.4.7.2 Sistemas de aberturas

O sistema de aberturas possui diversas utilidades. É indispensável para o conforto, na promoção da ventilação, nos ganhos de calor solar, iluminação natural e contato visual com o ambiente exterior.

5.5 Legislação

nos países desenvolvidos, a crise de energia e o alto consumo nas edificações levaram à elaboração de normas de eficiência energética. Na Europa, diretrizes relativas ao desempenho energético dos edifícios foram aprovadas para implementação em 2006. Elas são medidas que visavam atingir a meta de redução de 8% das emissões de gases causadores do efeito estufa no período entre 2008 e 2012, conforme tratado no Protocolo de Kyoto. (Goulart e Lamberts, 2005 apud LAMBERTS,

DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 20). A preocupação com o efeito estufa e a degradação dos recursos ambientais nos Estados Unidos levou a reflexão e criação de novas leis que buscam melhorar a eficiência energética. O EAct de 2005 (*Energy Policy Act of 2005*), uma lei de 1.724 páginas, representa um esforço do governo Norte Americano em direção a uma política energética em edificações existentes e mesmo novas, obrigando os Estados Norte Americanos a terem normas de eficiência energética melhores ou iguais à ASHRAE Standard 90.1 (Standard 90.1, 2004). No Brasil, a lei nº 10.295 de 17 de Outubro de 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica, a qual visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Essa lei tem como ponto fundamental o estabelecimento pelo Poder Executivo dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, tendo como base indicadores específicos, também inclui a responsabilidade em se elaborar mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações.

Em dezembro de 2001 essa lei foi regulamentada pelo decreto nº 4.059 que, entre outras atuações, dá origem ao Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações. Este grupo tem como principais objetivos a avaliação da eficiência energética nas edificações, a criação de indicadores referenciais de consumo de energia nas edificações para certificação de sua conformidade com relação à eficiência energética e a determinação de requisitos técnicos para que os projetos a serem construídos atendam estes indicadores. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 20). O Brasil, além da lei e decreto supracitado, ainda possui normas referentes ao desempenho térmico e de iluminação natural. As normas de iluminação natural são as seguintes, segundo (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 20):

- NBR 15215-1 – Iluminação Natural – Parte 1: conceitos básicos e definições – descreve as variáveis e conceitos envolvidos no estudo e análise da iluminação natural em edificações numa espécie de grande glossário, que introduz o arquiteto e engenheiro aos termos mais importantes;
- NBR 15215-2 – Iluminação Natural – Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural – descreve os procedimentos de cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural em um determinado lugar, dependendo da posição e mesmo da presença do sol no céu, o momento em questão (horário do dia e dia do ano), a posição geográfica do local (latitude e longitude) e o tipo do céu sobre análise (céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto). O valor obtido de iluminância do céu pode ser utilizado nos cálculos de iluminação natural em ambientes internos, tratados na NBR 15215-3.

- NBR 15215-3 – Iluminação Natural – Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos – esta norma descreve o algoritmo utilizado no cálculo da Contribuição da Iluminação Natural (CIN), com significado semelhante ao do Fator de Luz Diurna (FLD), que determina a quantidade de luz natural em ambientes internos. A NBR 15215-3 também apresenta cartas solares a cada 4° de latitude para latitudes de 0° a até -36°
- NBR 15215-4 – Iluminação Natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição – descreve métodos para a determinação experimental da iluminação interior. Esta norma fala sobre os instrumentos de medição e prescreve como os mesmos devem ser utilizados.

Há também no Brasil cinco normas de desempenho térmico em edificações, aprovadas em 2005:

- NBR 15220 – 1 – desempenho térmico de edificações – parte 1: definições, símbolos e unidades – apresenta as variáveis referentes ao desempenho térmico em edificações, suas definições, símbolos e unidades.
- NBR 15220 – 2 – desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações – descreve com exemplos os métodos de cálculo das referidas variáveis.
- NBR 15220 – 3 – desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social – apresenta o zoneamento bioclimático e as diretrizes construtivas indicadas para cada região do Brasil. As diretrizes construtivas não estabelecem limites obrigatórios, mas faz recomendações de adequação da edificação às diferentes zonas bioclimáticas.
- NBR 15220 – 4 – desempenho térmico de edificações – parte 4: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida – método de medição para laboratórios das referidas propriedades térmicas dos materiais construtivos.
- NBR 15220 – 5 – desempenho térmico de edificações – parte 5: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico – outro método de medição para laboratórios das referidas propriedades térmicas dos materiais construtivos.

