

Dialogue between Building Shape and Thermal Performance

Aline Calazans Marques

Universidade Federal do Rio de Janeiro | Brasil | alinecalazans@fau.ufrj.br

José Augusto Recker Felício

Universidade Federal de Juiz de Fora | Brasil | jose.recker@arquitetura.ufjf.br

Abstract

This paper deals with the research of the building shape in a constant and dialectical relationship with thermal performance. The purpose of this research is to understand and explore the dialogue between shape and performance with generative strategies. The method was based on the works by Oxman (2010), Olgyay (2015), and Di Mari & Yoo (2012), by means that relate the form to performance issues. The thermal performance data found to result from the relationship between thermal conditions, the shape of the envelope, and the characteristics of the eight Brazilian bioclimatic zones.

Keywords: Building shape; Thermal performance; Generative system; Teaching observation.

INTRODUÇÃO

O interesse na relação entre arquitetura e desempenho tem sido retomado na última década, quando o termo aparece frequentemente vinculado à envoltória da edificação (Hensel, 2012, p.25-28) e às ferramentas digitais de simulação e análise (Hensen; Lamberts, 2011). A pesquisa relatada neste artigo tem como ponto de partida o interesse pela forma da edificação atrelada ao seu potencial termodinâmico e faz parte de um dos estudos desenvolvidos no grupo de pesquisa “A Educação do Olhar” - PROARQ UFRJ.

Ao tratar de desempenho da edificação, é necessário reconhecer a diversidade dos aspectos envolvidos: composição e forma da envoltória, entorno, trocas térmicas, ventilação natural e mecânica, radiação, conforto higrotérmico, luminoso e acústico, consumo energético, custo, ciclo de vida e, entre outros, o indivíduo. A abordagem pode ser mono ou multi criterial, a depender da fase de projeto, dos objetivos definidos e dos resultados almejados. Ainda assim, a complexidade envolvida é um desafio constante e requer um processo de tomada de decisão consciente e fundamentada. O avanço das ferramentas digitais de análise ambiental encoraja o enfrentamento do problema complexo que se tem posto no processo de concepção projetual e, ao mesmo tempo, afasta o ferramental disponível de análises básicas e fundamentais.

Diante da problemática exposta, a pesquisa teve por objetivo se dedicar a um recorte bem definido e restrito por acreditar que o mais simples, quando observado por diferentes perspectivas, é capaz de expor conexões que

contribuem e fortalecem o debate no âmbito do conforto ambiental.

DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA

A envoltória típica de uma edificação é o objeto deste estudo e será analisada sob a lente do conforto térmico, com ênfase na radiação direta incidente sobre sua superfície. A envoltória de uma edificação se constitui como um elemento dual, atuando simultaneamente como: (i) camada que separa o interior da edificação e o ambiente externo; (ii) conector imagético entre o objeto construído e seu meio (Aksamija, 2013). Esta camada é formada por um conjunto de barreiras, protetores e conectores responsáveis pela transição entre o interior e o exterior, e são superfícies de fachadas, cobertura e base (Romero, 2001). “Um dos desafios ao se projetar com modelos digitais é como avaliar a relação entre a forma e seu desempenho” (Tang, 2014). A conexão entre a geometria da edificação e seu desempenho resultante deve, portanto, permanecer sendo estudada, a fim de que seus signos não sejam incorporados ao projeto de forma aleatória e arbitrária.

A envoltória interage constantemente com as condicionantes ambientais, tais como, temperatura, umidade, iluminação natural, sons, vistas, ventilação natural e qualidade do ar (Lovell, 2010). Tais condicionantes devem permear o processo de projeto desde as etapas preliminares de concepção, e cabe aos projetistas buscar embasamentos para as tomadas de decisão necessárias ao longo deste processo. A concepção da envoltória de uma edificação tem

incontáveis condicionantes envolvidas, por vezes, conflitantes. Portanto, entendê-la como um elemento dual que transita entre o caráter imagético e o funcional requer compromisso com as premissas e objetivos estabelecidos para o projeto como um todo. "A concepção da forma é o entendimento das forças que a originaram, tal como a representação de uma forma é um diagrama de forças em equilíbrio" (Olgay; Lyndon; Reynolds e Yeang, 2015).

O projeto, quando comprometido com o desempenho ambiental, tem na interação com as condicionantes climáticas, um de seus primeiros desafios. A NBR 15.220-3 (2003) que trata do Desempenho Térmico de Edificações, propõe o zoneamento bioclimático brasileiro e divide o território em oito zonas. Cabe dizer que esta norma está em processo de revisão e que existem publicadas pesquisas que apontam incongruências nos limites propostos por este zoneamento. Contudo, optamos por partir destas oito zonas pré-definidas, na expectativa de encontrar novos agrupamentos possíveis, reconhecendo que, diferentes zonas bioclimáticas demandam diferentes estratégias de projeto com vistas a minimizar impactos e a alcançar maiores índices de eficiência (Aksamija, 2013).

A representação de uma edificação e seu entorno, a partir de uma simplificação máxima, definidos apenas pela geometria de suas envoltórias é capaz de criar um modelo fértil quando vinculado à diferentes zonas bioclimáticas. "Na representação, (...) alguns aspectos do objeto são enfatizados e outros suprimidos" (Scheer, 2014), o mesmo acontece na simulação: este movimento se alterna de acordo com os objetivos do ensaio.

A ênfase deste estudo está na radiação direta de ondas curtas do sol incidente na envoltória e nas horas de conforto no ambiente externo ao longo do ano para determinada cidade. Segundo Olgay (2015, p.35) "para calcular impactos radiantés, é preciso primeiro conhecer a energia recebida na incidência normal em relação à altitude solar". Neste caso, a simplificação geométrica do modelo pode agilizar o processo sem comprometer os resultados, pois, por vezes, um modelo com excesso de informações gera ruídos e erros no processo de simulação. A exemplo de Szalapai (2005), para controlar a forma, o modelo digital (edificação e entorno) foi definido geometricamente usando equações paramétricas com intenção de explorar potenciais deformações formais em benefício do estudo.

O princípio da parametrização está associado à capacidade de manipulação das variáveis de um cenário. "O programa paramétrico fornece aos arquitetos uma série de ferramentas para avaliar idéias desde a fase inicial do projeto" (Tang, 2014). Além das propriedades geométricas,

podem também ser parametrizados aspectos, tais como, ambientais, normativos e outros.

A concepção do projeto arquitetônico, no seu conjunto complexo de relações, "é realizada e controlada por projetistas, e não por algoritmos de computador automatizados (...). Ao conectar várias variáveis, o computador simplesmente as conecta, não pensa criticamente sobre como se conecta" (Szalapai, 2005). Tal afirmação reforça a ideia de que o projetista é responsável pelas tomadas de decisão ao longo do processo de projeto e isto não muda por estar em frente à tela do computador. Simular, ensaiar e experimentar soluções, exigem capacidade e conhecimento para gerir as informações e interpretar os dados de saída, conduzindo-o a uma dinâmica constante de retroalimentação destas informações no processo de concepção arquitetônica.

MÉTODO

A pesquisa se orientou pelo método analítico e estabeleceu três premissas como ponto de partida: (i) A adoção de modelos paramétricos e algoritmos capazes de realizar simulações de desempenho permite explorar soluções da forma de acordo com definições pré-estabelecidas (Oxman, 2010); (ii) os índices de radiação solar incidentes nas superfícies da envoltória do edifício têm relação com a latitude e a altitude, e a forma e orientação desta envoltória definem o quanto cada superfície estará exposta à radiação (Olgay, 2015); (iii) uma edificação pode ser estudada a partir de sua morfologia, ou seja, por meio de operações formais relativas à superfície e ao volume. Di Mari & Yoo (2012) demonstraram a padronização tipológica de tais operações, assim como a denominada "Inclinar - Skew" que se tornou protagonista para o estudo relatado neste artigo.

Partindo deste recorte, foi escrito um código (Figura 1) no software *Rhinoceros v.6.0*, com auxílio do *plug-in Grasshopper*, incorporado em sua última versão, e do *add-on Ladybug 0.0.68*, um complemento específico para simulações de conforto ambiental em ambiente digital que simula o volume de uma edificação hipotética inserida em um cenário controlado e parametrizado.

O código tem por objetivo criar um ambiente parametrizado que simule o índice de radiação incidente em uma superfície inclinável da envoltória, localizada em cidades de diferentes latitudes e altitudes. As estratégias de ação foram divididas em quatro etapas: (i) dados de entrada; (ii) ferramentas de processamento dos dados; (iii) dados de saída; (iv) análise dos dados. Esta última etapa é apresentada no tópico "Resultados Comentados" deste artigo.

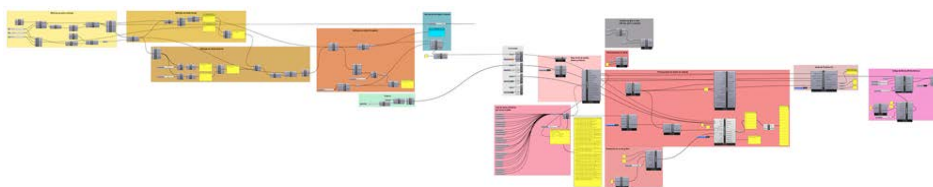


Figura 1. Código escrito no *plug-in Grasshopper*. Fonte: Acervo dos autores

DADOS DE ENTRADA

Existem dois dados de entrada no código, o primeiro é o modelo 3D hipotético que conta com o prisma da edificação e seu entorno (Figura 2); o segundo, é um conjunto de arquivos de dados climatológicos em formato *.EPW (*EnergyPlus Weather File*).

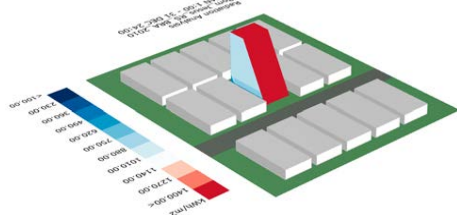


Figura 2. Modelos geométricos no Rhinoceros v6.0: Prisma hipotético e entorno genérico. Fonte: Acervo dos autores.

Para que os resultados gerados sejam confiáveis e processados adequadamente através dos algoritmos do *Ladybug*, o prisma necessita de duas características físicas constantes: (i) a área da superfície referente à fachada principal voltada para Norte, com largura e altura fixadas nas dimensões de 10 metros de largura por 20 metros de altura, no sentido e na aresta da inclinação e, (ii) seu volume, neste caso totalizando 2.000 m³. Com essas características fixadas, alguns desdobramentos no campo da geometria espacial são revelados: as modificações de outras variáveis, pouco relevantes para os cálculos do algoritmo — a altura da edificação e seu comprimento ao longo do lote, alterando consideravelmente sua forma, em prol da análise da fachada Norte, que permanece com a dimensão constante.

Um entorno genérico foi modelado digitalmente a fim de garantir o funcionamento da ferramenta de análise e conta com o gabarito equivalente a um pavimento para minimizar possíveis interferências no cálculo da radiação final recebida pela fachada principal. As dimensões das edificações do entorno são de 10 m de largura, por 22 m de comprimento, por 3 metros de altura, distantes 2 m entre si e do modelo de análise principal. O modelo utiliza a unidade de medida “metro” (de acordo com o Sistema Internacional de unidades - SI) e os resultados da radiação solar incidente na superfície são expressos em kWh/m². A configuração do Norte para o algoritmo, é relacionada ao sentido do eixo Y, como padrão do modelo digital ortogonal.

Quanto aos dados climáticos, foram utilizados arquivos climáticos INMET disponíveis no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (acesso em janeiro 2020). Utilizando a referência do Zoneamento Bioclimático Brasileiro na NBR 15.220-3 (2003), foram selecionadas três cidades para cada uma das oito zonas propostas pela norma, totalizando 24 cidades para a pesquisa (Figura 3). Elas estão distribuídas em Zona Bioclimática 1: Curitiba (PR), Maringá (PR), Bom Jesus (RS); Zona Bioclimática 2: Passa Quatro (MG), Piracicaba (SP), Passo Fundo (RS); Zona Bioclimática 3: Muriaé (MG), Foz de Iguaçu (PR), Juiz de Fora (MG); Zona Bioclimática 4: Brasília (DF), Patos de Minas (MG), Ribeirão Preto (SP); Zona Bioclimática 5: Governador Valadares (MG), Garanhuns (PE), Santos (SP); Zona

Bioclimática 6: Bom Jesus da Lapa (BA), Paracatu (MG), Goiânia (GO); Zona Bioclimática 7: Sobral (CE), Goiás (GO), Cuiabá (MT) e; Zona Bioclimática 8: Rio Branco (AC), Fortaleza (CE) e Rio de Janeiro (RJ).

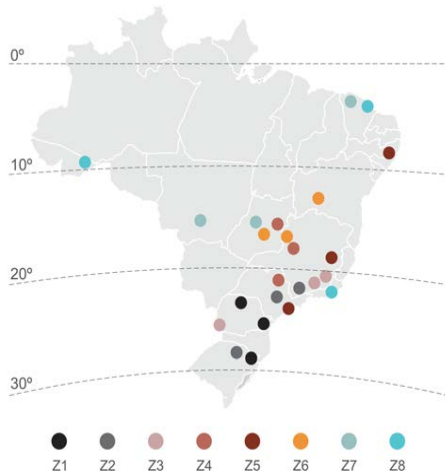


Figura 3. Mapa esquemático com indicação das cidades identificadas pelas suas respectivas zonas bioclimáticas. Fonte: Acervo dos autores.

Contudo, “dados climáticos típicos, como quaisquer medições reais, contêm itens errados ou ausentes” (Hensen; Lamberts, 2011). Portanto, é possível que os dados climáticos das cidades selecionadas tenham esta característica e considerar certo índice de incerteza é necessário na simulação. Para aumentar o índice de confiabilidade, optou-se por adotar as três amostras (cidades de referência) para cada zoneamento com a intenção de identificar possíveis tendências e/ou incongruências.

FERRAMENTAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para processar os dados e obter resultados da simulação, optou-se por escrever um código (Figura 1), que está dividido em 4 grupos: o primeiro refere-se à modelagem digital do edifício hipotético em análise, bem como do seu entorno imediato, conforme explicado anteriormente em “Dados de entrada”; o segundo grupo permite a interação da inclinação da fachada do edifício, a fim de compreender as diferentes relações entre ângulo da fachada e níveis de radiação solar; o terceiro grupo está relacionado ao controle da base de dados climáticos e; o quarto grupo é responsável por apresentar em gráficos, cores e valores numéricos os resultados da análise de radiação solar. Além do código gerado no *Grasshopper*, os dados foram trabalhados posteriormente no Excel, a fim de apurar os resultados e gerar gráficos específicos.

Sobre o grupo do código responsável pelo controle da inclinação, foram testados ângulos na faixa de -45° a 45° (como referência a aresta inferior frontal do volume), com uma das amostras sendo simulada a cada 5, 10 e 15 graus. Percebeu-se que os resultados formavam uma curva no gráfico e que reduzir o espaçamento entre os ângulos não alterava significativamente a configuração desta curva. Diante disto, optou-se por realizar as demais análises com

o intervalo de 15° (Figura 4). Esta decisão contribuiu para diminuir o tempo de simulação sem perda na qualidade dos resultados para as 168 simulações realizadas.

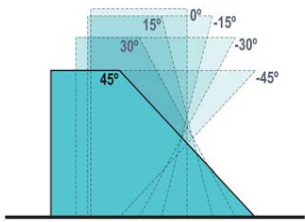


Figura 4. Diagrama do intervalo de 15° adotado para as análises. Fonte: Acervo dos autores.

No terceiro grupo do código que trabalha a base de dados em arquivos .EPW foram inseridas 3 cidades de cada zona bioclimática, com latitudes e altitudes diferentes, a fim de testar e compreender a relação entre os resultados. Foram realizadas 24 trocas entre os arquivos de cada cidade.

Dentro do código, os componentes relativos às ferramentas de análise ambiental do Ladybug, são respectivamente: LadyBug_Radiation Analysis, escrito para fornecer os resultados de radiação nas superfícies, em kWh/m²; LadyBug_Outdoor Comfort Calculator, que apresenta dentre os resultados possíveis, o percentual do Tempo de Conforto no exterior ao longo do período de análise (configurado nesta simulação para considerar 365 dias do ano, de acordo com o calendário gregoriano), o percentual do "Stress Térmico de Calor" e do "Stress Térmico de Frio", relativos aos dias do ano com temperaturas compreendidas na faixa entre "moderada à extrema", segundo o Índice Termoclimático Universal (UTCI - Universal Thermal Climate Index).

DADOS DE SAÍDA

No último grupo, por fim, os dados foram gerados e refinados para uma melhor leitura final. Entre eles, as cores das legendas, a indicação do símbolo do Norte e, ainda, os valores numéricos relativos à radiação nas superfícies.

Os dados numéricos, extraídos da simulação gerada pelo Ladybug, foram organizados no Excel e alguns destes produtos estão expostos neste artigo em formato gráfico

Zona bioclimática		Z1			Z2			Z3			Z4			Z5			Z6			Z7			Z8		
Latitude (graus)		-25	-23	-28	-22	-22	-28	-21	-25	-21	-15	-18	-21	-18	-8	-23	-13	-17	-15	-3	-15	-15	-9	-3	-22
Altitude (m)		924	542	1048	1040	573	684	297	231	950	1160	940	549	263	823	3	440	711	770	83	512	151	220	26	45
Cidades analisadas		Curitiba - PR Maringá - PR Bom Jesus - RS			Passo Quatro - MG Princípio - SP Passo Fundo - RS			Muriá - MG Foz do Iguaçu - PR Juiz de Fora - MG			Brasília - DF Patos de Minas - MG Ribeirão Preto - SP			Governador Valadares - MG Garanhuns - PE Santos - SP			Bom Jesus da Lapa - BA Paracatu - MG Goiânia - GO			Sobral - CE Goiás - GO Cuiabá - MT			Rio Branco - AC Fortaleza - CE Rio de Janeiro - RJ		
Inclinação do Plano de análise (graus)	-45	113	122	173	115	118	118	115	109	108	112	138	149	115	107	152	110	133	110	108	112	113	100	117	109
	-30	229	251	384	239	243	236	228	219	223	227	332	338	229	196	333	218	316	223	208	228	227	191	221	225
	-15	384	433	670	415	419	397	388	375	385	408	632	609	395	331	581	390	610	399	405	407	403	336	403	387
	0	571	658	1024	633	635	605	589	575	579	627	995	938	602	507	878	611	969	617	689	627	619	522	659	583
	15	782	916	1413	886	887	844	833	811	793	883	1426	1328	858	740	1219	888	1396	876	1045	887	875	744	977	807
	30	968	1144	1739	1114	1114	1053	1058	1021	985	1129	1826	1683	1101	1007	1521	1174	1803	1128	1461	1134	1123	970	1339	1007
	45	1111	1317	1945	1287	1287	1210	1234	1182	1130	1323	2127	1951	1294	1247	1745	1408	2115	1330	1859	1329	1322	1160	1681	1160

Figura 5. Síntese dos resultados da simulação. Fonte: Acervo dos autores.

com vistas a refletir sobre as diversas relações que podem ser estabelecidas a partir do objeto estudado.

RESULTADOS COMENTADOS

Utilizar os recursos de parametrização em uma simulação aparentemente simplificada é instigante, as perspectivas de observação são infindáveis e cada resposta abre oportunidade para novas perguntas.

Com o propósito de alcançar o objetivo de investigar os índices de radiação solar incidente em uma superfície inclinável da envoltória e associá-los à diferentes latitudes e altitudes, optamos por apresentar alguns resultados organizados em gráficos e seguidos de comentários. Cabe observar que outras análises podem ser feitas a partir da mesma planilha base (Figura 5), onde estão organizados os dados brutos. A planilha base conta com: (i) 24 cidades organizadas entre as zonas 1 e 8; (ii) latitude e altitude referentes às respectivas estações meteorológicas.; (iii) 7 posições da superfície principal da envoltória nas inclinações de -45° a 45°; e, (iv) radiação incidente na superfície (kWh/m²).

O primeiro cruzamento dos dados propõe observar a relação entre radiação e latitude. A planilha (Figura 5) está condicionada ao parâmetro radiação a partir da paleta de cores, sendo azul para os menores índices e vermelho para os maiores. Cada uma das 24 cidades conta com a informação da altitude e latitude referente às suas respectivas estações meteorológicas.

Ao observar cidades de mesma latitude, como Brasília-DF (Z4), Goiânia-GO (Z6), Goiás-GO (Z7) e Cuiabá-MT (Z7), localadas à 21° Sul de latitude, percebe-se índices de radiação semelhantes, que variam de 1.322 a 1.330 kWh/m². Em contraponto, a relação com a altitude não fica clara a partir das amostras analisadas e precisa ser mais estudada.

O segundo cruzamento propõe a observação da curva no gráfico de radiação solar incidente sobre o plano de análise nas cidades agrupadas por zona bioclimática. Os próximos gráficos apresentam os resultados das cidades enquadradas nas zonas 1 (Figura 6) e zona 8 (Figura 7).

A escolha por esta amostra se deu pela oportunidade de apontar as disparidades e semelhanças em cidades de zonas com características térmicas diferentes. Sendo a Z1 com médias de 21°C no verão, e umidade próxima a 80%,

enquanto a Z8 conta com temperaturas elevadas, com médias de 28°C, umidade acima de 80%, sem diferença entre inverno e verão. (ABNT, 2005).

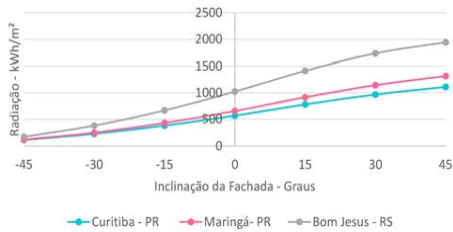


Figura 6. Radiação solar incidente no plano principal da envoltória em cidades da Zona Bioclimática 1. Fonte: Acervo dos autores.

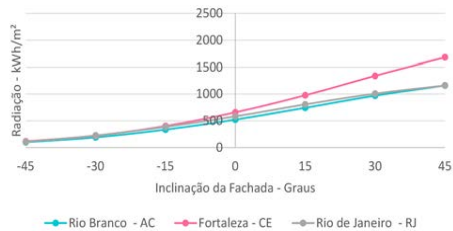


Figura 7. Radiação solar incidente no plano principal da envoltória em cidades da Zona Bioclimática 8. Fonte: Acervo dos autores.

Os gráficos tomam como referência a posição de 0° da superfície analisada, equivalente a um plano perpendicular ao solo, comum a maioria das fachadas de edificações prismáticas. À esquerda, nota-se os resultados equivalentes a inclinação negativa, auto sombreada, enquanto à direita, os resultados da superfície inclinada a favor de maior exposição à luz solar. Cabe dizer, que a partir de 45°, os valores tendem a uma constante aproximada da máxima radiação medida no plano horizontal de cobertura do modelo simulado.

Nota-se que as curvas seguem uma tendência uniforme, seja na zona 1 ou na 8. O comportamento é semelhante e as diferenças podem estar relacionadas à latitude ou outro parâmetro que contribua para o um maior índice de radiação solar incidente em determinada cidade. Esta questão merece uma investigação mais aprofundada, mas cabe lembrar, que a origem da simulação se dá no arquivo de dados climáticos, que pode, como já exposto, conter erros ou lacunas.

Quando os resultados expostos nas curvas são planejados (Tabela 1) e a relação entre os diversos índices são avaliados com base na superfície de referência 0°, nota-se que a proporção é muito semelhante, mesmo quando os índices de incidência na superfície vertical são muito diferentes, como nos casos da cidade de Curitiba (571 kWh/m²) e Bom Jesus (1024 kWh/m²). Ainda assim, nos dois casos utilizados como exemplo neste artigo (como também constatado nos demais), nota-se que a radiação incidente na superfície inclinada à 45°, tal como na cobertura (plano horizontal - 90°) é praticamente o

dobro da incidente quando a mesma superfície se encontra perpendicular ao solo (0°). Quando inclinada 15°, seja no sentido positivo ou negativo, a superfície recebe 30 a 40% a mais (15°) ou a menos (-15°) de radiação do que quando se encontra a 0°.

Tabela 1. Radiação Solar – Zona Bioclimática 1: Curitiba (PR), Maringá (PR) e Bom Jesus (RS). Fonte: Dos autores.

Inclinação (graus)	Radiação (kWh/m²)			Diferença (%) em relação a superfície de inclinação		
-45	113	122	173	80	81	83
-30	229	251	384	60	62	63
-15	384	433	670	33	34	35
0	571	658	1024	0	0	0
15	782	916	1413	37	39	38
30	968	1144	1739	70	74	70
45	1111	1317	1945	95	100	90
90	1180	1395	1968	107	112	92

Curitiba - PR	Latitude: 25 S	Altitude: 924 m	Rad. Cobertura: 1180 kWh/m²
Maringá - PR	Latitude: 23 S	Altitude: 542 m	Rad. Cobertura: 1395 kWh/m²
Bom Jesus - RS	Latitude: 28 S	Altitude: 1048 m	Rad. Cobertura: 1968 kWh/m²

O terceiro cruzamento se concentra na superfície posicionada a 0°, equivalente a um plano perpendicular ao solo, sendo esta a referência para as demais inclinações. O gráfico de colunas (Figura 8) está organizado com as cidades dispostas lado a lado na mesma sequência da planilha base apresentada anteriormente, ou seja, começa à esquerda com as cidades da Z1 e termina com as cidades da Z8. Neste gráfico, nota-se as cidades que se destacam com maiores e menores índices de radiação incidente na superfície a 0° e, pode-se afirmar que não existe evidência de correlação com a divisão proposta pelo zoneamento, caracterizado pelas médias de temperatura e umidade locais.

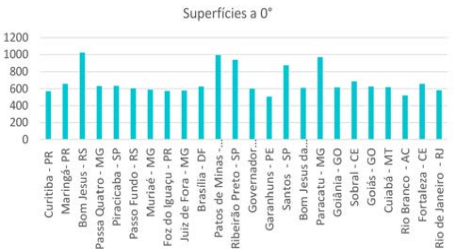


Figura 8. Índices de radiação em superfícies a 0°. Fonte: Acervo dos autores

O quarto cruzamento ainda se encontra incipiente e se concentra na análise das horas de conforto no ambiente externo para cada cidade. O gráfico resultante (Figura 10) se assemelha a um código de barras e por trás de uma simplicidade gráfica, é composto de informações muito importantes. As marcações em preto indicam os períodos de stress térmico, por frio com temperaturas abaixo de 9°C e por calor com temperaturas acima de 38°C. Os gráficos apresentam as horas de conforto e stress térmico para as cidades da Zona 1. Curitiba-PR com 92% do período em

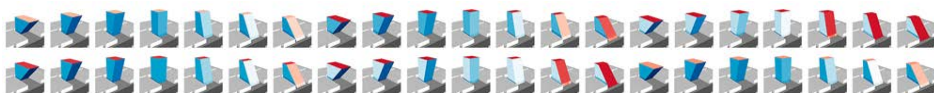


Figura 9. Testes da simulação para as cidades da Z1 e da Z8. Fonte: Acervo dos autores.

conforto; Maringá-PR com 75% em conforto e 11% do período de stress térmico por calor; Bom Jesus-RS com 75% do período em conforto e 3% de stress por frio. O período restante permanece na faixa de desconforto aceitável antes do stress térmico. As faixas horizontais indicam o período do dia (24h), dividido de 6/6h, sendo as duas faixas centrais referentes ao período do dia. As faixas verticais representam os meses, são 12 faixas, de janeiro a dezembro, permitindo observar diferenças entre verão e inverno. Sendo assim, a observação do terceiro gráfico, referente à Bom Jesus, indica o período de stress térmico (por frio) prevalecendo nas faixas de 0/6h e 18/24h (durante a noite), nos meses de abril a outubro, um período de inverno estendido.

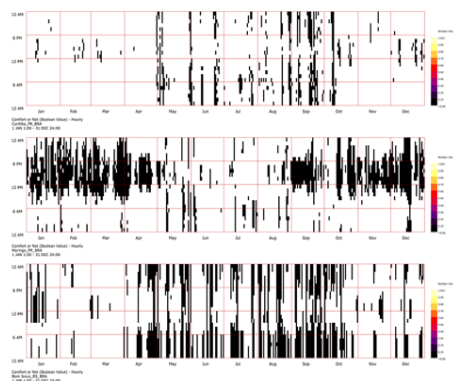


Figura 10. Stress térmico nas cidades analisadas da Zona Bioclimática 1. Fonte: Acervo dos autores.

Apesar dos dados referentes a horas de conforto no ambiente externo se encontrarem organizados, pouco se concluiu a respeito de suas conexões com os índices de radiação na superfície da envoltória. Contudo, está claro que é um potencial para a continuidade da pesquisa a partir de novas perspectivas.

CONCLUSÕES

Os dados observados ao longo das simulações sugerem uma padronização dos resultados e demonstram que podem ser agrupados e analisados por suas semelhanças e/ou disparidades (Figura 9). Os agrupamentos permitiram associar a radiação solar, a geometria da envoltória e a localização das cidades utilizadas como amostra da pesquisa. Cabe reconhecer que é uma amostra pequena, mas ainda assim, foi possível identificar tendências que podem ser confirmadas ou refutadas em uma amostra maior ou confrontadas com pesquisas anteriores e publicações específicas da área.

É interessante visualizar o caminho do código, pois fica claro que se os dados de entrada ou um dos elementos do processo estiverem incorretos, vai inevitavelmente comprometer o resultado e, portanto, será necessário

conhecimento e postura crítica para reconhecer estas incongruências.

Os resultados da pesquisa convidam à reflexão e promovem o questionamento a conceitos que nos pareciam já consolidados. Contudo, é possível dizer que o processo, em si, é instigante e a parametrização oferece um campo fértil para pesquisa.

A perspectiva para o desenvolvimento de estudos futuros aponta no mínimo três caminhos interessantes: (i) explorar a proposta de zoneamentos bioclimáticos quando houver atualização da NBR-15.220; (ii) investigar as possíveis conexões entre horas de conforto no exterior com a radiação incidente na envoltória para determinado local; e, (iii) incorporar características de composição à geometria da envoltória para que se possa pesquisar as porcentagens de radiação absorvida e refletida pela superfície.

REFERÊNCIAS

- Aksamija, Ajla (Perkins + Will). (2013). Sustainable Facades: Design Methods for High-Performance Building Envelopes. Wiley: New Jersey. Kindle Edition.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). NBR-15.220:3 Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro.
- Di Mari, A., & Yoo, N. (2012). Operative Design: A Catalogue of Spatial Verbs. Amsterdam: BIS Publishers.
- Hensel, M. U. (2012). Performance-oriented architecture: rethinking architectural design and the built environment. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (Orgs.) (2011). Building Performance Simulation for Design and Operation. Kindle Edition. New York: Spon Press.
- Lovell, J. (2010). Building envelopes an integrated approach. New York: Princeton Architectural Press.
- Olgay, V. (2015). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism - New and expanded Edition. Princeton University Press. Kindle Edition.
- Oxman, N. (2010). Material-based design computation. Massachusetts Institute of Technology
- Romero, M.A.B. (2001). Arquitetura Bioclimática do Espaço Público. Brasília: Editora UNB
- Scheer, D. (2014). The Death of Drawing: Architecture in the Age of Simulation. NY: Routledge. Kindle Edition.
- Szalapaj, P. (2005). Contemporary Architecture and the Digital Design Process. Boston: Routledge. Kindle Edition.
- Tang, M. (2014). Parametric Building Design Using Autodesk Maya. Taylor and Francis. Kindle Edition.