

O ENVELOPE SOLAR COMO DIRETRIZ DE PROJETO PARA NOVAS EDIFICAÇÕES

THE SOLAR ENVELOPE AS A PROJECT GUIDELINE FOR NEW BUILDINGS

Saionara Dias Vianna¹, Fernanda da Cruz Moscarelli²
e Celina Maria Britto Correa³

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo que aborda o tema do direito legal à garantia do acesso solar à todas as habitações e entorno imediato utilizando como objeto de análise o 1º, 2º e 3º Planos Diretores de Pelotas-RS e sua relação com o Envelope Solar. A amostra urbana selecionada para o estudo, caracteriza-se por zonas urbanas residenciais compostas por lotes regulares. As simulações dos modelos dos volumes edificados decorrentes dos índices urbanísticos propostos por cada Plano Diretor foram realizadas no *software Google Sketch UP*. Os envelopes solares foram criados no *software Rhinoceros* com auxílio dos aplicativos *Grasshopper* e *DIVA*. As análises finais dos resultados usaram a sobreposição dos envelopes sobre os modelos no *Google Sketch UP*, calculadas com a ajuda de planilhas eletrônicas. Os resultados obtidos indicaram que não se verificou na evolução da legislação urbanística do município a garantia do *Direito ao Sol* nos lotes destinados à habitação.

Palavras-chave: Legislação urbanística, Direito ao sol, Envelope solar.

Abstract

This work presents a study that approaches the theme of the legal rights to a warranty of solar access for every building and its immediate surroundings, using as the object of analysis of the 1st, 2nd and 3rd Master Plans of Pelotas, RS, Brazil and its relationship with the Solar Envelope. The urban sample selected for the study is characterized by residential urban areas composed of regular lots. The simulations of the built volume models resulting from the urban indexes proposed by each Master Plan were performed using the Google Sketch UP software. The solar envelopes were built in the Rhinoceros software using the apps Grasshopper and DIVA. The final analysis of the results used the overlapping of the envelopes over the models in Google Sketch UP, calculated with the help of an Excel spreadsheet. Results indicated that along with the evolution of urban planning legislation in the city, the warranty of Solar Rights has not been observed in residential lots.

Keywords: Urban Planning Legislation, Solar Rights, Solar Envelope.

Introdução

O *Direito ao Sol* é um tema pouco abordado na legislação brasileira, ainda que ele esteja inserido nos planos diretores municipais e em alguns códigos de obras pela lógica das regras urbanas construtivas e o uso de recuos mínimos.

Lechner (2015,p.329), conceitua o *Direito ao Sol*, como o “direito ao acesso à radiação solar direta sem obstáculos de objetos adjacentes”. Assim, a implantação de novas edificações deve assegurar a garantia de pelo menos um período mínimo de acesso à radiação solar ao longo do dia às habitações existentes e ao entorno.

Embora o *Direito ao Sol* seja uma prática que teve seu primeiro registro como forma de lei ainda no império romano PÉREZ (2007). No contexto brasileiro, os critérios que permitem o controle e o acesso solar estão previstos nas legislações urbanísticas, ainda que de forma implícita, através da implantação obrigatória de recuos, por meio da taxa de ocupação, índice de aproveitamento, alturas máximas permitidas na ocupação dos lotes previstos nos planos diretores municipais.

Em relação a leis que tratem especificamente da garantia de acesso solar às edificações, o Brasil conta com leis e programas de incentivo nas esferas federal, estadual e municipal, como por exemplo a resolução normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que estabelece condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como sistema de compensação de energia elétrica.

Ainda assim, mesmo em locais que asseguram a garantia do acesso solar por meio de leis, nem sempre estas são cumpridas. Em vista disso, a questão é como garantir o nível mínimo de insolação às edificações sem que a construção de novas habitações interfira no acesso ao sol dos vizinhos.

Algumas alternativas de projeto para novas habitações com o objetivo de preservar os direitos solares e tentar reduzir os prejuízos causados pela carência de radiação solar nas fachadas e coberturas das residências provocada por sombras projetadas por edificações vizinhas são possíveis. Algumas dessas alternativas são: a aplicação do método Envelope Solar; elaboração de uma legislação específica com a garantia dos direitos solares ou ainda, o ajuste da legislação urbanística existente com regras de implantação para novas edificações que contemplem os critérios de controle e acesso solar, a fim de garantir boas condições de conforto às habitações.

Neste sentido, o presente trabalho estuda o impacto das regras urbanas do 1º, 2º e 3º Plano Diretor de Pelotas - RS quanto à garantia do *Direito ao Sol*.

Pretende-se assim, contribuir para a revisão da legislação urbanística vigente em Pelotas-RS através da definição de diretrizes e regras construtivas para novas edificações que contemplem os critérios de acesso solar.

Determinação da amostra urbana de simulação

O estudo da morfologia urbana pretende estabelecer quais as relações entre forma edificada e desenho urbano que, conforme sua articulação, determinam a qualidade do espaço urbano (LAMAS, 2004). Porém, o conceito de qualidade urbana é muito amplo e pode ter diferentes interpretações, ainda que objetivas, conforme o escopo disciplinar de análise.

¹ Mestra em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas, UFPEL, Brasil.

² Doutora em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Paul- Valery – Montpellier, GRED/UPV, França.

³ Doutora em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madrid, UPM, Espanha.

Sendo assim, para autores preocupados com aspectos relacionados à vitalidade urbana, a qualidade urbana será medida pela presença humana nas ruas e demais espaços públicos, assim como pelo desempenho das mobilidades e da vitalidade do espaço edificado (JACOBS, 2000; WALL e WATERMAN, 2012; PONT e HAUPT, 2010). Neste recorte, a modelagem da forma urbana privilegiaria as relações entre homens e ambiente urbano. Neste sentido, os estudos realizados no contexto brasileiro por Neto *Et al.* (2012), têm procurado apontar que a qualidade urbana resultaria de altas densidades. Mas densidades altas permitem acesso solar e comportamento bioclimático satisfatório em uma cidade como Pelotas⁴?

Sabe-se que a qualidade de um espaço urbano depende também da relação entre a morfologia urbana e seu desempenho bioclimático, seja pela criação de microclimas urbanos resultantes da densificação e permeabilização acentuada do espaço urbano, seja pela diversidade de tecidos e seu desempenho quanto à insolação natural, à direção de ventos e seu efeito na dispersão ou concentração de poluentes, entre outros.

O estudo procura demonstrar que estes dois critérios de qualidade, entendidos até recentemente como contraditórios⁵, poderiam coabitar. Haveria, assim, um limiar de densidades? Ou haveria, como sustentamos nesta pesquisa, um arranjo *optimal* entre densidades construídas e qualidade bioclimática do espaço urbano? A fim de expor esta premissa, este trabalho parte da ideia de que a forma urbana pelotense é resultante das decisões de projeto do edificado, definidas, de forma evolutiva, pelas regras especificadas nos instrumentos de planejamento assim como pelo conjunto de elementos morfológicos da estrutura urbana tecida no espaço ao longo do tempo. Tal foco de estudo traz inerente à ideia de que é a relação entre construído (tipologia) e não construído (vias e outros vazios) que define o desempenho dos espaços urbanos (PANERAI e LANGÉ, 2001; PONT e HAUPT, 2010).

No contexto organizacional brasileiro e pelotense, essas regras são especificadas pelo único instrumento de ação sobre o uso do solo: o Plano Diretor Municipal (PDM).

O PDM é capaz de atuar tanto nas regras de construções, assim como nas dimensões e proporções dos lotes e quarteirões além, claro, das regras de enquadramento viário. Porém, cabe ressaltar que no contexto Latino-Americano, nem sempre a definição da forma urbana, obedece aos instrumentos de planejamento em vigor, sendo muitas vezes realizada de forma espontânea, nos denominados *slums*, ou de forma pontual por projetos de loteamentos que configuram exceção aos planos vigentes. Nesta investigação, que prioriza a análise do desempenho lumínico resultante da ação contínua das regras do PDM sobre o espaço urbano, entendemos como primordial estudar áreas urbanas impactadas pelo contínuo processo de planejamento via PDM. Somente assim podemos utilizar os resultados das simulações para alimentar as discussões acerca da pertinência das regras urbanas dos planos e seu impacto na qualidade do espaço urbano. Desta forma, as zonas escolhidas para testar a metodologia de simulação são zonas urbanas consolidadas pelos três planos diretores estudados, organizadas por quarteirões regulares, de uso predominante

41 A cidade de Pelotas -RS/Brasil, estudo de caso deste trabalho, possui clima subtropical úmido (mesotérmico) e a proximidade com o Oceano Atlântico (60 km) propicia temperaturas amenas, elevada umidade atmosférica e densos nevoeiros que encobrem o sol em quase metade dos dias do ano. O inverno é fresco, sem frio severo e o verão é suave. A média de temperatura anual é de 17,8°C (Embrapa/UFPel/INMET). Pelotas apresenta durante o ano, 2.418 horas de insolação, 55% do possível. A maior insolação acontece em dezembro e janeiro com ao redor de 275 horas de sol, e a menor acontece em junho e julho, com uma insolação de aproximadamente 150 horas de sol.

5 O Movimento moderno, encabeçado pela Carta de Atenas, esforçou-se em provar que a tipologia verticalizada (torres, barras) resultaria em uma melhor qualidade bioclimática para as habitações pois garantiria insolação pela grande quantidade de espaços livres.

residencial: ZR1, ZR2 e ZR3 (figura 1).

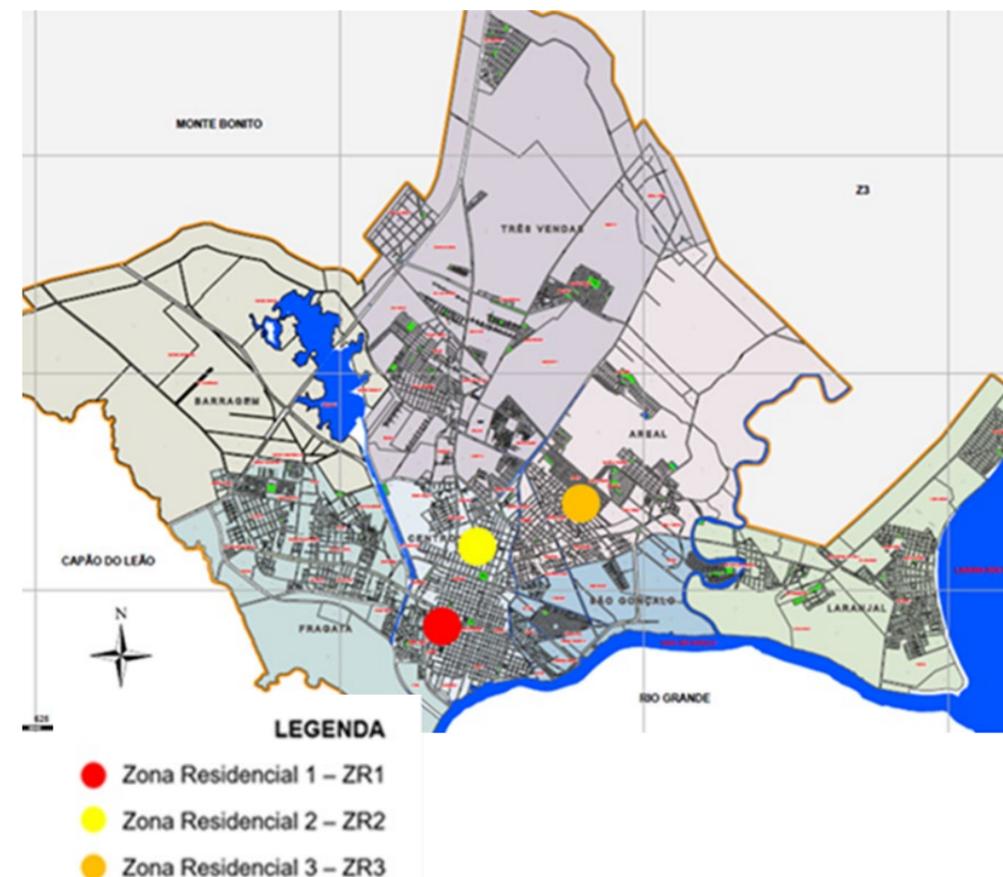


Figura 1: Localização da ZR1, ZR2 e ZR3. Fonte: PMP – Mapa de quadras e ruas, 2012 Adaptado pelos autores, 2015.

A análise selecionou, dentre as morfologias existentes, uma amostragem diversa do ambiente urbano das ZR1, ZR2 e ZR3. A partir da base CAD dos cadastros de quadra, verificou-se a presença de quarteirões regulares quadrados e retangulares, além de alguns quarteirões irregulares.

Os quarteirões quadrados, predominantes na ZR1, diferem dos retangulares pelo tipo de lote que produzem no parcelamento: proporcionalmente mais estreitos e compridos. Entretanto, verificou-se tanto a presença deste lote tipo como de lotes onde as proporções entre testada e profundidade não diferem do normal (relação 2 x 1 ou 3 x 1). Quanto às orientações solares predominantes, os lotes da ZR1, resultantes de quarteirões quadrados, têm testadas nas 4 orientações principais usadas no desenho urbano pelotense: nordeste-sudoeste, noroeste-sudeste.

Também se percebeu que, no caso dos quarteirões retangulares, a proporção entre testada e profundidade dos lotes é extremamente variada, apresentando tanto lotes estreitos e profundos como lotes de proporções mais adequadas às edificações. Quanto às orientações solares predominantes da maioria das testadas de lotes, estas variam entre noroeste-sudeste na ZR2 e entre nordeste-sudoeste na ZR3. Os quarteirões irregulares foram desconsiderados para fins de simulação do desempenho lumínico das regras dos planos diretores estudados. Assim, num esforço de testar a metodologia de simulação por envelopes solares, partiu-se do princípio de que seriam necessários lotes que dessem conta da amostragem geral de tipologia de lotes existentes. Escolheu-se, conforme os critérios aqui especificados, os seguintes lotes (figuras 2, 3, 4):

Zona Residencial 1:

A amostra selecionada na ZR1, caracteriza-se por quarteirões quadrados com lotes proporcionalmente mais estreitos e compridos, nas orientações: sudeste, sudoeste e nordeste-sudoeste, conforme ilustra a fig.2.

Figura 2: Imagem aérea do recorte da ZR1 e localização dos lotes escolhidos para o estudo. Fonte: Google Earth, 2016 e PMP - MUB, 2011 – Adaptado pelos autores, 2016.



- * O recuo lateral e de fundos, não será exigido até H=6m, em caso de residência unifamiliar (Art. 14, 15, 16) Lei 1672/68
- ** O recuo lateral será dispensado nas edificações residenciais unifamiliares que não se situem em lote de esquina (Art. 65 § 1º Lei 2565/80)
- *** O recuo de ajardinamento, poderá ser dispensado através de estudo previo do entorno imediato, caso se evidencie no raio de 100m, a partir do centro da testada do lote, a existência de mais de 60% das edificações no alinhamento predial (Art. 123 – Lei 5502/08)
- **** em todo perímetro urbano
- ***** Em logradouros com gabarito superior a 16m.

Zona Residencial 2:

O recorte urbano selecionado na ZR2, caracteriza-se por quarteirões retangulares com lotes que apresentam relação entre profundidade e largura da testada bastante variada, com orientações que variam entre noroeste-sudoeste. A fig.3 apresenta o recorte da amostra urbana selecionada.

A tab. 1 apresenta a configuração dos lotes selecionados no recorte da ZR1 (quarteirões quadrados).

Lote	Relação profundidade x largura da testada	Orientação
1	5 x 1	Sudeste
2	3 x 1	Sudoeste
3	1 x 1	Esquina

Tabela 1: Configuração dos lotes da ZR1. Fonte: Autores, 2016.

A tab.2, apresenta os índices urbanísticos e os recuos propostos pelo 1º, 2º e 3º PDP para a ZR1.

Plano Diretor	I.A	T.O (%)	Altura máxima (m)	Largura das vias (m)	Recuos (m)			
					Ajard.	Frontal	Lateral	Fundos
I PDP	4	50	>24	Variáveis entre 16-20	4	1m p/ cada pav. acima dos 24m	Min.2,5* em cada divisa	Min. 3,5*
II PDP	2	66,6	12m ou 4 pav.	Variáveis entre 9,6 – 14,4	4	-	L/4 Min. 2,5m**	P/10 Min. 2,5m**
III PDP	-	70	10****	Variáveis Entre 16-18	4***	-	-	3,0
III PDP	-	70	13*****	Variáveis Entre 16-18	4	-	R=(0,4 x H)/2	R=(0,4 x H)/2

Tabela 2: Índices urbanísticos e recuos para a ZR1. Fonte: PMP (1968, 1980 e 2008).



Figura 3: Imagem aérea do recorte da ZR2 e localização dos lotes escolhidos para o estudo. Fonte: Google Earth, 2016 e PMP - MUB, 2011 – Adaptado pelos autores, 2016.

A tab. 3 apresenta a configuração dos lotes selecionados no recorte da ZR2 (quarteirões retangulares).

Lote	Relação profundidade x largura da testada	Orientação
1	5 x 1	Noroeste
2	2 x 1	Sudoeste
3	1 x 1	Esquina

Tabela 3: Configuração dos lotes da ZR2. Fonte: Autores, 2016.

A tab.4 apresenta os índices urbanísticos e os recuos previstos pelo 1º, 2º e 3º PDP para a ZR2.

Plano Diretor	I.A	T.O (%)	Altura máxima (m)	Largura das vias (m)	Recuos (m)			
					Ajard.	Frontal	Lateral	Fundos
I PDP	2	50	>12	Variáveis entre 16-20	4	1m p/ cada pav. acima dos 12m	Min.2,5* em cada divisa	Min. 3,5*
II PDP	2	66,6	12m ou 4 pav.	Variáveis entre 9,6 – 14,4	4	-	L/4 Min. 2,5m (em pelo menos uma divisa)**	P/10 Min. 2,5m
III PDP (Art. 123)	-	70	10****	Variáveis Entre 16-18	4***	-	-	3,0
III PDP (Art.124)	-	70	13*****	Variáveis Entre 16-18	4***	-	R=(0,4 x H)/2	R=(0,4 x H)/2

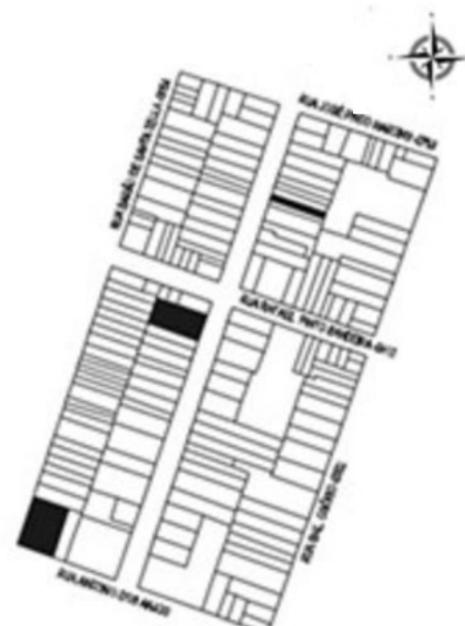
* O recuo lateral e de fundos, não será exigido ate H=6m, em caso de residencia unifamiliar (Art. 14, 15, 16) Lei 1672/68

** O recuo lateral será dispensado nas edificações residenciais unifamiliares que não se situem em lote de esquina (Art. 65 § 1º Lei 2565/80)

*** O recuo de ajardinamento,poderá ser dispensado através de estudo previo do entorno imediato, caso se evidencie no raio de 100m,a partir do centro da testada do lote, a existência de mais de 60% das edificações no alinhamento predial (Art. 123 – Lei 5502/08)

**** em todo perímetro urbano

***** Em logradouros com gabarito superior a 16m.



Zona Residencial 3

A amostra urbana da ZR3, caracteriza-se por quarteirões retangulares cuja proporção entre testada e profundidade dos lotes é diversa, apresentando orientações que variam entre nordeste e sudoeste. A fig.4, ilustra a área de estudo. A tab. 5 apresenta a configuração dos lotes selecionados no recorte da ZR3 (quarteirões retangulares).

Lote	Relação profundidade x largura da testada	Orientação
1	5 x 1	Nordeste
2	2 x 1	Sudeste
3	1 x 1	Esquina

Sobre estes lotes selecionados, agem as regras de conformação urbana do 1º, 2º e 3º Plano Diretor de Pelotas. A fim de facilitar o entendimento, a tab. 6, apresenta uma síntese das regras de conformação volumétricas estipuladas pelo 1º, 2º e 3º PDP para a ZR3.

Plano Diretor	I.A	T.O (%)	Altura máxima (m)	Largura das vias (m)	Recuos (m)			
					Ajard.	Frontal	Lateral	Fundos
I PDP	4	50	>24	Variáveis entre 16-20	4	1m p/ cada pav. acima dos 24m	Min.2,5* em cada divisa	Min. 3,5*
II PDP	1	66,6	6m ou 2 pav.	Variáveis entre 9,6 – 14,4	5	-	L/4 Min. 2,5m (em pelo menos uma divisa)**	P/10 Min. 2,5m**
III PDP	-	70	10****	Variáveis Entre 16-18	4***	-	-	3,0
III PDP	-	70	13*****	Variáveis Entre 16-18	4	-	R=(0,4 x H)/2	R=(0,4 x H)/2

* O recuo lateral e de fundos, não será exigido ate H=6m, em caso de residencia unifamiliar (Art. 14, 15, 16) Lei 1672/68

** O recuo lateral será dispensado nas edificações residenciais unifamiliares que não se situem em lote de esquina (Art. 65 § 1º Lei 2565/80)

*** O recuo de ajardinamento,poderá ser dispensado através de estudo previo do entorno imediato, caso se evidencie no raio de 100m,a partir do centro da testada do lote, a existência de mais de 60% das edificações no alinhamento predial (Art. 123 – Lei 5502/08)

**** em todo perímetro urbano

***** Em logradouros com gabarito superior a 16m.

Metodologia para determinação do comportamento da aplicação dos máximos índices propostos pelo 1°, 2° e 3° plano diretor de Pelotas- RS e sua relação com o envelope solar

A fim de facilitar o entendimento das etapas da metodologia proposta para a verificação do comportamento da aplicação dos máximos índices propostos por cada plano diretor de Pelotas-RS e, sua relação com o envelope solar, é apresentado um infográfico caracterizando a sequência de passos da metodologia (fig.5).



Figura 5: Infográfico que apresenta as etapas da metodologia. Fonte: Autores, 2017.

Com base na determinação da amostra urbana de simulação, a etapa posterior, consistiu na determinação do número de horas de insolação para a geração dos envelopes solares nos lotes analisados.

Esses períodos de acesso solar foram definidos de acordo com o relato de “Knowles” (1981,p.12) que utilizou em seus estudos do Envelope Solar, o período de 9-15h.

Assim, foi definido o período mínimo de duas horas de insolação em pelo menos uma das fachadas do edifício, conforme determinação da Carta de Atenas, sendo

portanto, gerados envelopes solares para os seguintes horários: 9-11h; 10-12h;11-13h; 12-14h e 13-15h. Também, foram gerados envelopes solares para o período compreendido das 10-14h com a finalidade de comparação entre os envelopes.

Na sequencia, foram gerados os modelos computacionais tridimensionais dos volumes edificados para os lotes predefinidos nos recortes urbanos. Estes modelos foram produzidos no software Google Sketch Up por se tratar de uma ferramenta de formas e volumes que opera de forma simplificada.

Dessa forma, foram gerados modelos de simulação os quais tiveram variados a altura máxima permitida para cada zona residencial, bem como os recuos frontal, lateral e de fundos permitidos por cada um dos planos diretores. No entanto, é importante destacar que para fins de comparação entre os planos, também foram gerados em alguns casos, modelos com altura superior ao máximo permitido, como se verifica nos modelos gerados do 2° Plano Diretor para a ZR1 e ZR2 (altura máxima permitida 12m) e ZR3 (altura máxima 6m).

Em relação ao quesito recuos, no momento da inserção dos modelos de simulação no interior dos lotes, foram aplicados os recuos mínimos exigidos por cada um dos planos (quando possível), respeitando os parâmetros urbanísticos.

Desse modo, quando o cálculo apontava valores que excediam os valores máximos permitidos para a Taxa de Ocupação (T.O), foi utilizado como estratégia ajustes em um dos afastamentos (lateral ou de fundos) em função da melhor orientação solar.

A tab. 7 , apresenta as alturas máximas geradas para cada recorte urbano em cada Plano Diretor para cada configuração de lote, os quais foram denominados: P (testada ate 6m), G (testada maior que 6m) e E (lote de esquina).

Zona	Plano Diretor																		
	1° PDP			2° PDP			3° PDP												
	Lote			Lote			Lote												
	P	G	E	P	G	E	P	G	E										
	Altura máxima dos modelos simulação (m)																		
	6	6	12	24	6	12	24	6	6	12	24	6	12	24	10	10	13	10	13
ZR1	Todas alturas geradas, exceto H=13m para lote P.																		
ZR2	Todas alturas geradas, exceto H=13m para lote P.																		
ZR3	Todas alturas geradas, exceto H=13m para lote P e G.																		

Tabela 7: Altura máxima gerada em cada recorte urbano x configuração de lote. Fonte: Autores, 2016.

A partir disso, foram gerados os envelopes solares no software tridimensional Rhinoceros 3D, desenvolvido pela Robert McNeel & Associates, com o uso dos aplicativos Grasshopper, o qual se trata de um aplicativo de modelagem paramétrica para o Rhino 3D e, o aplicativo DIVA distribuído pela Solemma LLC, o qual constrói o Envelope Solar para um determinado lote, com base na latitude do local e períodos de acesso solar para um ano inteiro. Assim, utilizando estas ferramentas, foram construídos os envelopes solares sobre os lotes e recortes urbanos predefinidos.

Os envelopes gerados, englobam a poligonal do lote e avançam sobre a calçada e a via (PEREIRA e SILVA, 1997), considerando neste estudo, a altura do peitoril de uma janela, ou seja, as bases dos envelopes foram posicionados um metro acima da linha do terreno.

Após a geração dos envelopes solares, o passo seguinte, foi o transporte para o *software Google Sketch Up* onde foram gerados os modelos computacionais tridimensionais dos volume edificados decorrentes da aplicação dos índices urbanísticos propostos por cada Plano Diretor para os lotes predefinidos em cada recorte urbano, buscando identificar qual o período em que as edificações tem menor percentual de volume fora dos limites do Envelope Solar.

A Figura 6 ilustra a tela do *software Google Sketch Up* com os envelopes solares gerados para cada período de acesso solar em um dos lotes analisados.

O passo seguinte, consistiu na sobreposição dos envelopes solares de todos os horários de acesso solar sobre o modelo tridimensional do volume edificado desenvolvido para as diferentes alturas para os lotes predefinidos (P, G e E).

A Figura 7 demonstra o resultado da sobreposição dos envelopes e do modelo tridimensional do volume edificado sobre um dos lotes estudados.

Concluída esta etapa, o estudo partiu para o cálculo do percentual de volume edificado decorrente dos índices propostos por cada Plano Diretor que excede os limites estabelecidos pelos envelopes solares.

Por meio do cálculo dos volumes das edificações decorrentes dos índices urbanísticos propostos por cada plano e o volume dos envelopes solares desenvolvidos para cada lote, chegou-se por subtração no volume que excede os limites permitidos pelo Envelope Solar. Neste processo, foram utilizadas planilhas eletrônicas produzidas no *software Microsoft Office Excel*.

Com base nos dados encontrados, foram comparados os desempenhos dos recortes

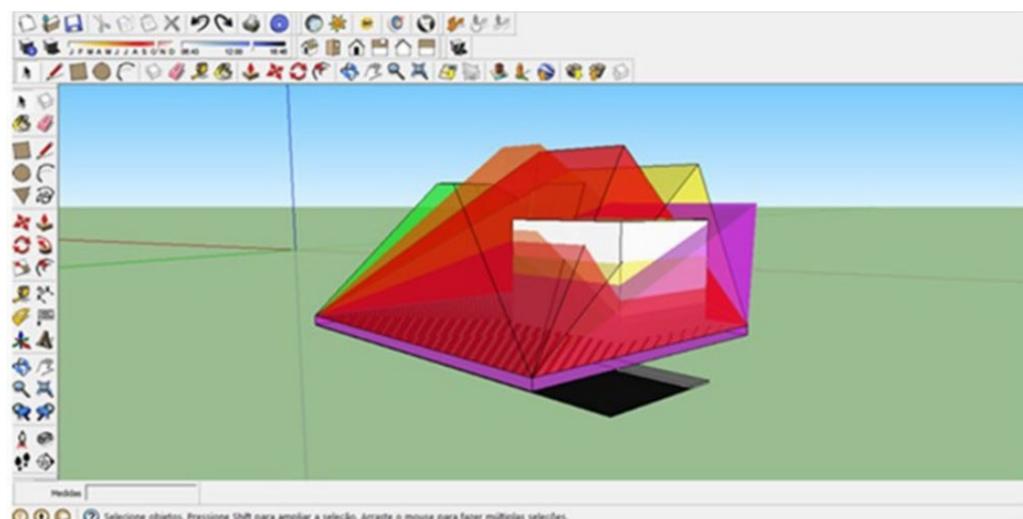
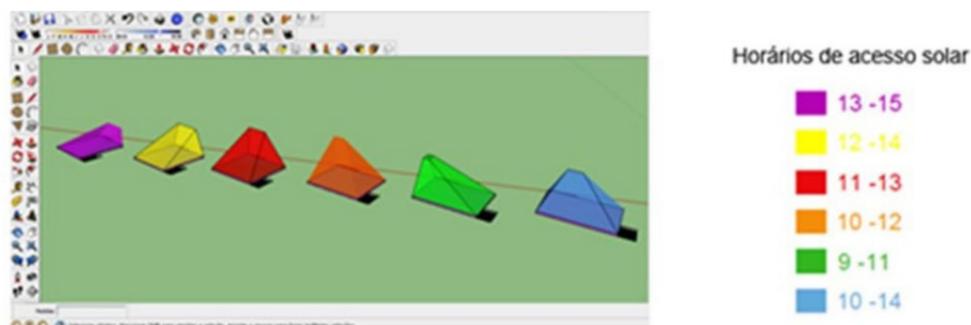


Figura 6. Envelopes solares resultantes gerados no Rhinoceros 3D para cada horário de acesso solar após transporte para o Sketch Up. Fonte: Autores, 2015.
Figura 7: Sobreposição de todos os envelopes solares e do volume edificado sobre o lote estudado. Fonte: Autores, 2015.

urbanos pertencentes à cada zona de estudo para os lotes previamente definidos quanto ao percentual de volume edificado que excede os limites estabelecidos pelos envelopes solares em cada Plano Diretor.

Resultados

As tabelas 8, 9 e 10 apresentam o melhor desempenho entre os planos diretores nos recortes urbanos das zonas de estudo quanto ao volume excedente ao Envelope Solar (E.S) e sua relação com a altura dos edifícios e recuos.

I. Altura edificada H=6m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	1° PDP	23,86%	12-14h
ZR2	1° PDP	42,08%	10-12h
ZR3	2° PDP	23,88%	12-14h
II. Altura edificada H=10m com recuo ajardinamento e sem recuo ajardinamento, no 3° PDP			
Recorte Urbano	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol	
ZR1	55,09% Mesmo desempenho p/ambos	12-14h	
ZR2	73,23% Mesmo desempenho p/ambos	10-12h	
ZR3	61,21% Com recuo ajardinamento	13-15h	

Tabela 8: Melhor desempenho para um lote com testada menor que 6m - P. Fonte: Autores, 2016.

Os resultados obtidos na análise para um lote com testada menor que 6m para um volume edificado com altura de 6m, demonstram que a ZR1 e a ZR3, tiveram desempenho similar quando aplicados os máximos índices urbanísticos propostos pelo 1° e 2° PDP, com menos de 25% de volume excedente ao E.S, sendo o período compreendido entre 12-14h - o que assegura acesso solar às residências durante o ano inteiro em ambas as zonas.

Analisando individualmente cada amostra, o resultado obtido na ZR1 para o 1° PDP, se deve ao maior recuo de fundos proporcionado pela aplicação do Art. 14,15 e 16 da Lei 1672/68 que por sua vez isenta a obrigatoriedade do recuo lateral, desse modo, para garantir a máxima taxa de ocupação, o recuo de fundos é maior. O melhor desempenho da ZR3 quando aplicado os máximos índices urbanísticos se deve à aplicação do recuo lateral mínimo obrigatório na divisa com melhor orientação solar e ao maior recuo de ajardinamento, 5m proposto pelo 2° PDP.

No entanto, quando se eleva a altura do volume de simulação para 10m como indica o 3° PDP, o desempenho da construção é ruim nas três zonas analisadas, sendo o melhor resultado encontrado na ZR1 que teve mais de 50% de volume excedente ao Envelope Solar nas duas situações: posicionada no alinhamento predial e recuada 4m. Nestes casos, são garantidas 2 horas de insolação mínima durante o ano inteiro no período de 12-14h.

De acordo com a análise o 1° e 2° PDP tiveram bom desempenho quanto a garantia de acesso ao sol para volumes edificados com até dois pavimentos para lotes com testada até 6m.

Altura edificada H=6m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	1° PDP	7,25%	13-15h
ZR2	2° PDP	3,19%	10-12h
ZR3	2° PDP	5,13%	11-13h
Altura edificada H=12m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	1° PDP	19,82%	9-11h
ZR2	1° PDP	11,07%	9-11h
ZR3	1° PDP	10,65%	9-11h
Altura edificada H=24m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	1° PDP	55,55%	13-15h
ZR2	1° PDP	51,10%	9-11h / 10-12h
ZR3	2° PDP	51,85%	9-11h
Altura edificada H=10m com recuo ajardinamento e sem recuo ajardinamento, no 3° PDP			
Recorte Urbano	Volume excedente ao Envelope solar		Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	24,63% Com recuo ajard.		13-15h
ZR2	21,59% Sem recuo ajard.		10-12h
ZR3	20,58% Sem recuo ajard.		10-12h
Altura edificada H=13m com recuo ajardinamento e sem recuo ajardinamento, no 3° PDP			
Recorte Urbano	Volume excedente ao Envelope solar		Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	28,90% Sem recuo ajard.		9-11h
ZR2	29,25% Sem recuo ajard.		9-11h
ZR3	Não se aplica		

Em relação a análise feita para um lote com testada maior que 6m, para um volume edificado com altura de 6m, se constatou que o melhor desempenho foi da ZR2 quando aplicados os máximos índices propostos pelo 2° PDP.

Este resultado, com volume excedente ao E.S inferior a 10% é reflexo de uma ocupação em que foram aplicados recuos de ajardinamento, lateral e de fundos. O recuo lateral foi aplicado utilizando a relação (L/4) em apenas uma das divisas,

conforme indica o plano e, no estudo, esta variável foi aplicada na melhor orientação solar, garantindo acesso solar as edificações no período de 10-12h.

No entanto, quando se dobra a altura do edifício, passando para 12m, o desempenho se mantém com pouco mais de 10% de volume excedente ao E.S, na ZR3.

Esse resultado se deve à aplicação dos máximos índices propostos pelo 1° PDP, com recuo lateral aplicado nas duas divisas, sendo que em um dos afastamentos foi aplicado o mínimo recomendado pelo plano e na outra divisa, com melhor orientação solar, o modelo foi posicionado com maior afastamento em relação a divisa, o que foi possível devido à máxima taxa de ocupação, sendo que o período de 9-11h assegura as habitações acesso ao sol durante o ano inteiro.

Seguindo a análise, quando o edifício passa a ter altura de 24m, o desempenho em relação ao E.S é ruim em todos os recortes urbanos estudados, com volume excedente acima de 50%. Contudo, o recorte urbano da ZR2 apresenta um melhor desempenho em relação aos demais também no 1° PDP, o que também se deve a um afastamento lateral maior na divisa com melhor orientação solar.

Quando se analisa os resultados encontrados para os modelos com altura edificada de 10m referentes ao 3° PDP, se verifica que a ZR3 teve um bom desempenho com menos de 25% de volume excedente ao E.S quando o modelo se encontra no alinhamento predial, garantindo acesso solar as edificações no período de 10-12h durante o ano inteiro.

No momento em que se eleva a altura para 13m, conforme possibilita o 3° PDP, o resultado obtido passa a ser razoável, ou seja, ocorre um volume excedente ao E.S pouco maior que 25%. Da mesma forma que na análise anterior, este resultado se atribui à opção em que o modelo se encontra no alinhamento predial na ZR1, devido ao fato de que no melhor horário de insolação, 9-11h para esta opção, o envelope solar contém mais volume edificado.

Altura edificada H=6m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	Mesmo desempenho para o 1° e 2° PDP	0,00	12-14h / 13-15h
ZR2	Mesmo desempenho para o 1° e 2° PDP	0,00	9-11h / 10-12h / 11-13h
ZR3	Mesmo desempenho para o 1° e 2° PDP	0,00	9-11h
Altura edificada H=12m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	1° PDP	0,15%	10-12h
ZR2	1° PDP	0,00	10-12h
ZR3	1° PDP	3,81%	10-12h

Altura edificada H=24m, no 1° e 2° PDP			
Recorte Urbano	Plano Diretor	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol
ZR1	2° PDP	18,56%	11-13h
ZR2	2° PDP	19,61%	10-12h
ZR3	1° PDP	15,06%	11-13h
Altura edificada H=10m com recuo ajardinamento e sem recuo ajardinamento, no 3° PDP			
Recorte Urbano	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol	
ZR1	1,08% Sem recuo ajard.	11-13h	
ZR2	0,02% Sem recuo ajard.	10-12h	
ZR3	4,80% Sem recuo ajard.	11-13h	
Altura edificada H=13m com recuo ajardinamento e sem recuo ajardinamento, no 3° PDP			
Recorte Urbano	Volume excedente ao Envelope solar	Melhor horário de acesso ao sol	
ZR1	4,21% Sem recuo ajard.	9-11h	
ZR2	2,05% Sem recuo ajard.	11-13h	
ZR3	10,13% Sem recuo ajard.	11-13h	

Lotes posicionados na esquina nos recortes urbanos das três zonas estudadas para volumes edificadas com altura de 6m no 1° e 2° PDP têm desempenho excelente em relação ao E.S uma vez que não ocorre volume excedente aos limites propostos pelo envelope, sendo que para cada recorte urbano, houve um melhor horário de acesso solar no período compreendido entre 9-15h.

Quando se eleva a altura dos modelos de simulação para 12m, o desempenho se mantém, tendo apenas um pequeno percentual de volume excedente ao E.S na ZR3, que é inferior a 4% sendo o melhor horário de acesso solar das 10-12h.

Modelos de simulação dos volumes edificadas com altura de 24m, tem bom desempenho, com menos de 25% de volume excedente ao E.S nas três zonas estudadas, sendo que o melhor resultado pertence ao recorte urbano da ZR3 no período de 11-13h.

Em relação aos resultados encontrados na análise do 3° PDP, se constatou que para um modelo de simulação com altura de 10m, o desempenho também é excelente nas três zonas de estudo quando o modelo de simulação é posicionado no alinhamento predial, isto se deve ao maior volume edificado contido pelo E.S, no horário de acesso solar compreendido entre 10-12h.

Para modelos de simulação com altura de 13m, o desempenho se mantém excelente nos recortes urbanos das três zonas com percentual de volume excedente ao E.S com até 10%, sendo o melhor resultado encontrado na ZR2 quando o modelo está posicionado no alinhamento predial entre 10-12h.

O melhor desempenho do lote de esquina em relação aos demais, se deve ao maior volume de envelope que engloba a poligonal do lote e avança sobre a calçada e a via dos dois lados, com uma base de 1m acima da linha do terreno como limite para o E.S.

Conclusão

Diversas pesquisas apontam os benefícios da radiação solar no organismo dos indivíduos e também nas edificações. Contudo, com o aumento da densificação das cidades, o volume edificado aumenta, produzindo edificações cada vez mais altas e pouco espaçadas entre si que se favorecem em termos de iluminação natural e ventilação às custas de construções mais baixas.

Vários trabalhos empregam o Envelope Solar em diferentes locais com a finalidade de garantir os direitos solares às edificações e também para fins de conversão de energia fotovoltaica, demonstrando seu potencial para o planejamento urbano, uma vez que esta ferramenta pode ser utilizada na fase de projeto de novas habitações. Com base nestas afirmativas, o Envelope Solar foi aplicado para verificar se houve efetivamente ou não uma evolução do Direito ao Sol ao longo do três planos diretores da cidade de Pelotas-RS.

Através dos resultados encontrados, a análise demonstrou que em lotes com testada menor que 6m – P, é possível afirmar que na maioria dos casos, edificações com altura até 6m ou 2 pavimentos, quando aplicados os máximos índices urbanísticos propostos pelo 1° e 2° PDP não se caracteriza nem evolução nem retrocesso na legislação urbanística. Ainda assim, volumes edificadas com 2 pavimentos, tiveram bom desempenho quanto à garantia dos direitos solares das habitações nos dois planos diretores, com menos de 25% de volume excedente aos limites do E.S.

Esse resultado se atribui à aplicação de valores superiores ao mínimo recomendado para o recuo de fundos no 1° PDP e também à aplicação de recuo lateral mínimo obrigatório na divisa com melhor orientação solar no II PDP. Embora a Lei 2565/80 que institui o referido Plano Diretor em seu Art.65 - § 1° dispense o recuo lateral em lotes que não se situem na esquina, a aplicação deste parâmetro assegura o nível mínimo de insolação de 2 horas em mais de uma fachada durante o ano inteiro.

Em relação ao 3° PDP, na qual foi feita a verificação da influência do recuo de ajardinamento de 4m, em edificações com altura de 10m no desempenho em relação ao E.S, se constatou que este afastamento não interfere no percentual de volume excedente ao envelope.

Lotes com testada maior que 6m – G, apresentaram na maioria dos recortes urbanos estudados uma evolução do Direito ao Sol do 1° para o 2° PDP em edificações com 2 pavimentos, e a zona que teve melhor desempenho em relação ao E.S foi a ZR2 quando aplicados os máximos índices urbanísticos propostos pelo 2° PDP. Esse resultado se atribui ao recuo lateral com afastamento superior ao mínimo recomendado pelo plano em apenas uma das divisas, na melhor orientação solar.

Não foi observada uma evolução dos direitos solares do 1º para o 2º PDP em volumes edificadas com altura de 12m ou 4 pavimentos, e o recorte urbano que apresentou melhor resultado foi o da ZR3 quando aplicados os máximos índices urbanísticos previstos pelo 1º PDP. O bom resultado encontrado, com pouco mais de 10% de volume excedente ao E.S, se deve à aplicação do recuo lateral nas duas divisas, sendo que na divisa com melhor orientação solar, foi aplicado valor superior ao mínimo recomendado.

Volumes edificadas com altura igual a 24m ou 8 pavimentos, não apresentaram evolução dos direitos solares do 1º para o 2º PDP, na maioria das zonas. Mesmo com um desempenho ruim, com mais de 50% de volume excedente em relação aos limites do E.S, o melhor resultado se atribui ao recorte urbano da ZR2, no qual foi aplicado os máximos índices propostos pelo 1º PDP. Este desempenho se deve à aplicação do recuo lateral nas duas divisas, sendo atribuído o mínimo previsto pelo plano em um dos afastamentos e no outro, foi atribuído valor superior ao mínimo recomendado na melhor orientação solar.

Em relação as alturas máximas previstas pelo 3º PDP, a análise demonstrou que de um modo geral, volumes edificadas com altura de 10m e 13m tem melhor desempenho quando posicionados no alinhamento predial, com melhor resultado encontrado no recorte urbano pertencente à ZR3 e ZR1 para edificações com alturas de 10m e 13m, respectivamente. Esse desempenho, se deve ao maior volume de E.S que contém mais volume edificado no melhor período de insolação.

Quanto aos lotes posicionados na esquina – E, volumes edificadas com altura de 6m ou 2 pavimentos, não tiveram volume excedente aos limites do E.S nos três recortes urbanos estudados. Esses resultados se mantiveram constantes do 1º para o 2º PDP, não ocorrendo nem evolução nem retrocesso em relação aos direitos solares das habitações.

Volumes edificadas com altura de 12m ou 4 pavimentos, apresentaram um retrocesso na legislação do 1º para o 2º PDP e os recortes urbanos que tiveram melhor desempenho foram da ZR1 e ZR2 no 1º PDP.

Edificações com altura de 24m ou 8 pavimentos, não apresentaram uma evolução da legislação em relação à garantia dos direitos solares das edificações, evidenciando portanto, um retrocesso na legislação urbanística, sendo o melhor resultado encontrado na ZR3, quando aplicados os máximos índices urbanísticos propostos pelo 1º PDP.

Quando aplicados os máximos índices urbanísticos previstos pelo 3º PDP em volumes edificadas com altura de 10m e 13m em lotes de esquina posicionados no alinhamento predial o desempenho em relação ao E.S é bom, tendo pouco mais de 10% de volume excedente aos limites do envelope. Isso ocorre, devido ao maior volume de envelope, que abrange maior volume edificado, podendo conter edificações com até 13m de altura posicionadas no alinhamento predial.

Com base nisso, o estudo conclui que se a intenção é construir edificações em torno de 4 pavimentos nas zonas de estudo, a melhor opção é localizá-los na esquina sem prejuízo dos direitos solares dos vizinhos.

A implantação de recuo lateral em pelo menos uma das divisas na melhor orientação solar com valores superiores a 2,50m são fundamentais para assegurar o nível mínimo de recomendado de insolação em mais de uma fachada durante o ano inteiro e assim, garantir melhores condições de conforto para as habitações e espaços

adjacentes.

Contrariando as expectativas, a implantação do recuo de ajardinamento pouco interfere no resultado do desempenho dos modelos dos volumes de simulação do 3º PDP em relação ao percentual de volume excedente ao E.S.

Este resultado é de extrema importância pois permite a desconsideração para efeitos solares deste recuo para a cidade Pelotas, considerando as condições pré-fixadas para o experimento. Sendo a tipologia construída de forma contínua, sem recuos frontais e laterais e a presença de portas e janelas próximas a calçadas princípios definidos por Netto *Et al.* (2012) como agregadores de vitalidade urbana; podemos considerar que esta variável da forma urbana possa ser eliminada nas revisões futuras do Plano Diretor para as áreas do estudo.

Embora as condições de conforto das habitações estejam presentes nas legislações urbanísticas dos municípios, ainda que de forma implícita através da implantação dos índices urbanísticos, isso não assegura à todas as habitações o direito garantido do nível mínimo de acesso ao sol no interior das residências.

Assim, a comparação realizada entre os planos diretores de Pelotas – RS demonstrou que de um modo geral o 1º e o 2º PDP tiveram um bom desempenho em relação ao E.S, e esse resultado se deve à influência das ideias defendidas pelo CIAM – Congressos Internacionais de Arquitetura e Urbanismo, consolidadas na Carta de Atenas.

Por outro lado, o 3º PDP apresentou um desempenho variando de razoável a ruim em relação ao E.S, obtendo melhores resultados nos lotes de esquina, caracterizando, portanto, um retrocesso da legislação urbanística do município. Esse resultado se deve em parte, a regra geral do 3º PDP – Art. 123 aplicada aos modelos dos volumes edificadas com altura de 10m, a qual isenta a obrigatoriedade do recuo lateral e em alguns casos até o recuo de ajardinamento e também aumenta a T.O. para 70%. Entretanto, nos modelos com volume edificado com altura de 13m, mesmo com a aplicação de recuo lateral em ambas divisas como previsto no Art. 124, o resultado se mantém.

Quanto a evolução do *Direito ao Sol* no 1º, 2º e 3º Plano Diretor de Pelotas – RS, pode-se dizer que houve, portanto, um retrocesso na garantia dos direitos solares das edificações, principalmente quando se analisa o 3º Plano Diretor de Pelotas, que retrocedeu até mesmo em relação ao 1º Plano Diretor, e essa afirmativa confirma os resultados obtidos no Estudo Piloto realizado anteriormente com o objetivo de testar a metodologia empregada neste trabalho.

A lei 5502/08 que institui o 3º Plano Diretor de Pelotas – RS, em seu Art. 7, enumera diversas diretrizes de política de ordenamento e desenvolvimento territorial do município. Entre elas, se destaca o “estímulo a redução do consumo de energia nas edificações, buscando melhores condições de aeração e iluminação natural”, entretanto este trabalho demonstrou por meio das análises realizadas que essa condição não se satisfaz no plano em vigência.

A partir destas constatações, o estudo conclui a necessidade de uma revisão ou adaptação da legislação urbanística em vigor afim de proporcionar a garantia das condições de controle e acesso solar aos lotes destinados à habitação, uma vez que em última análise, estas condições se refletem no conforto e habitabilidade que as edificações proporcionam aos usuários e no consumo energético das construções.

Em 2018, o 3º Plano Diretor de Pelotas passou por uma revisão. Nesta ocasião, foi proposta pelo legislativo municipal, audiência pública que debateu o tema *Direito ao Sol*. A partir desta audiência, foi proposta uma emenda à Lei 5502/08, que acrescentou o art. 123 – A. Este artigo, define que novos projetos deverão conter estudos de sombras projetadas pela nova edificação no solstício de inverno (21 de junho), com o objetivo de garantir o mínimo de duas horas de insolação diária em pelo menos uma das fachadas da edificação vizinha ou de um lado do terreno vizinho, no período de 10:00 as 14:00 horas.

Referências

BRASIL. ANEEL. *Resolução Normativa 482 de 17 de Abril de 2012*.

BRASIL. *Estatuto das cidades*, 2001.

CIAM. *Carta de Atenas*, Atenas: 1933.

ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DE PELOTAS (Capão do Leão). Normais Climatológicas -- Mensal/Anual. Disponível em: <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/mensal.html>. Acesso em: 22/02/2021.

JACOBS, Jane. *Morte e vida de grandes cidades*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

KNOWLES, Ralph. *Sun Rhythm Form*. Cambridge: MIT Press, 1981.

LAMAS, José. *Morfologia urbana e desenho da cidade*. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian/Fundação para a Ciência e a Tecnologia, 2004.

LECHNER, Norbert. *Heating, Cooling, Lighting – Sustainable Design Methods for Architects. Fourth Edition*. New York: John Wiley & Sons, 2015.

NETTO, Vinicius; VARGAS, Julio Celso; SABOYA, Renato. (Buscando) os efeitos sociais da morfologia arquitetônica. *Urbe - Revista Brasileira Gestão de Urbana* [online]. Curitiba, v. 4, n. 2, 2012, p. 261-282, dezembro, 2019.

PANERAI, Philippe; LANGÉ, Lucien. *Formes urbaines, tissus urbains*. Essai de bibliographie raisonnée, MELT-DGUHC, Centre de Documentation de l'Urbanisme, 2001.

PELOTAS, RS. Lei 1672/68, *I Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano*, 1968.

PELOTAS, RS. Lei 6525/80, *II Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano*, 1980.

PELOTAS, RS. Lei 5502/08, *III Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano*, 2008.

PEREIRA, Fernando; SILVA, C. Proposta de sistemática de uso em planejamento urbano do envelope solar como forma de controle da ocupação do solo urbano em função da insolação. In: *ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Salvador, BA, 1997, Anais...Salvador: 1997.

PÉREZ, Denis. *O envelope solar e o direito ao sol*. 2007. Dissertação.(Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

PONT, Berghauer; HAUPT, Per. *Spacematrix: space, density and urban form*. Rotterdam: NAI Publishers, 2010.

VIANNA, Saionara. *Análise do Direito ao Sol nos planos diretores de Pelotas-RS, em zonas residenciais*. 2017. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

WALL, Ed; WATERMAN, Tim. *Desenho Urbano*. Porto Alegre: Bookman, 2012.