AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CONTEXTO URBANO NA RADIAÇÃO SOLAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

E. L. Didoné, A. Wagner, F. O. R. Pereira

RESUMO

Este trabalho desenvolveu uma metodologia para avaliar a influência do contexto urbano na radiação solar para geração de energia com uso de módulos fotovoltaicos na envoltória de edifícios verticais. A metodologia foi baseada em simulações computacionais pelo programa Diva-for-Rhino em duas cidades com diferentes tipos de clima: Florianópolis e Fortaleza. Foram definidos diferentes contextos urbanos considerando edifícios com alturas iguais (contexto uniforme) e alturas variadas (contexto aleatório). Através do nível mínimo de radiação solar na superfície para aplicação dos módulos fotovoltaicos analisou-se a influência do sombreamento do entorno na geração de energia de diferentes tipologias de edifícios de escritório. Os resultados mostraram que o contexto uniforme é uma boa opção para edifícios com até 6 pavimentos, onde a área com maior potencial para geração de energia foi a coberta. Os contextos aleatórios apresentaram-se como melhor opção para aplicação de módulos fotovoltaicos nas fachadas dos edifícios mais altos.

1 INTRODUÇÃO

A energia solar pode ser utilizada como uma fonte complementar oferecendo produção local que ajuda na economia de água e diminui o uso dos combustíveis fosseis das usinas termelétricas. O Brasil recebe 1.013 MWh de radiação solar, equivalente a 50.000 vezes o consumo anual de eletricidade (MMA, 2014). Por este meio, os edifícios podem economizar e gerar energia e é possível chegar a um balanço energético nulo.

É grande a quantidade de edifícios que não utilizam adequadamente os recursos naturais disponíveis. Muitos desses edifícios são projetados priorizando o seu valor estético com características da arquitetura internacional sendo inadequada ao clima local. A concepção de edifícios com consumo mínimo de energia exige a combinação de estratégias de construções adaptadas ao clima junto com as fontes de energias renováveis, como os módulos fotovoltaicos. Entretanto, o ambiente urbano tem uma influência significativa no comportamento energético das edificações e alguns cuidados devem ser levados em consideração já que parte da envoltória pode ser sombreada, reduzindo a eficiência dos módulos instalados.

Vários estudos comprovaram que o espaço urbano interfere significativamente no desempenho energético de edifícios quando comparados com espaços desobstruídos (Amado *et al.*, 2012; Oke, 1988; Ratti *et al.*, 2003; Stromann-Andersen *et al.*, 2011; Terece *et al.*, 2010). A radiação solar disponível no meio urbano é influenciada por diferentes parâmetros de densidade urbana, o que pode afetar o uso da energia nos diferentes

pavimentos das edificações verticais (Stromann-Andersen *et al*., 2011). O efeito dos parâmetros do formato urbano, como largura das ruas, densidade, formas geométricas e orientação, na radiação solar dos edifícios já foi objeto de estudos e os resultados são facilmente encontrados na literatura (Cheng *et al.*, 2006; Vanesch *et al.*, 2012; Kanters *et al*., 2012; Rendón, 2013; Stromann-Andersen *et al*., 2011). Este trabalho desenvolveu uma metodologia para avaliar a influência do contexto urbano na radiação solar para geração de energia com uso de módulos fotovoltaicos na envoltória de edifícios verticais de escritório.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi baseada em simulações computacionais com o uso do programa computacional Diva-for-Rhino. As avaliações foram realizadas para duas cidades brasileiras com diferentes tipos de clima: Florianópolis, localizada na região Sul do país com clima subtropical e baixo nível de radiação solar, e Fortaleza, localizada na região Nordeste com clima tropical e alto nível de radiação solar. Foram definidos diferentes contextos urbanos considerando edifícios com alturas iguais (Elevação Uniforme) e com alturas variadas (Elevação Aleatória). Na sequência, foi realizado um estudo para definir o nível mínimo de radiação solar na superfície para aplicação dos módulos fotovoltaicos.

2.1 Definição do contexto urbano

O modelo urbano utilizado nas simulações foi definido de forma a representar diferentes cenários urbanos. O propósito foi modelar uma variedade de cenários urbanos, sem precisar configurar uma cidade existente, tornando possível a avaliação do desempenho energético dos edifícios e a influência de diferentes parâmetros da configuração urbana. Para as avaliações, oito tipos de edifícios verticais de escritório foram selecionados (Santana, 2006; Carlo, 2008; Melo, 2012). Eles foram inseridos no contexto urbano a fim de avaliar o impacto causado pelo entorno na radiação solar disponível em suas fachadas.

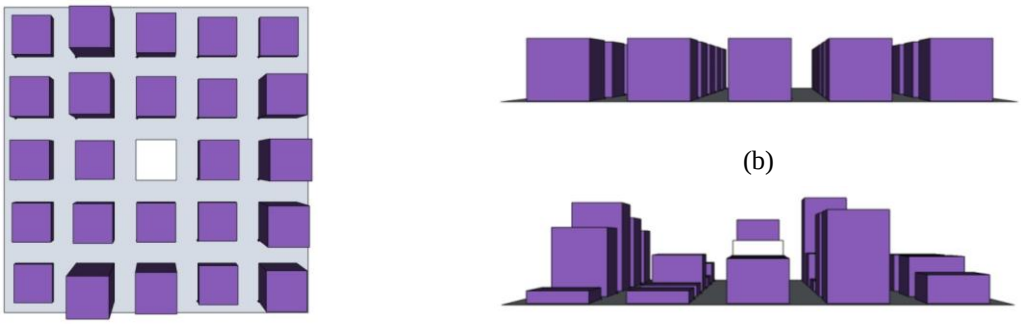

Figura 1: (a) Contexto urbano uniforme em planta; (b) Elevação Uniforme e (c) Elevação Aleatória.

Para cada tipo de edifício foi considerado um modelo uniforme constante de plano urbano em planta. Isso significa que o plano urbano e o espaçamento entre os edifícios, como pode ser visto na Figura 1a, permanece o mesmo para todas as simulações de cada tipo de edifício. Ao mesmo tempo, dois diferentes tipos de distribuição de altura dos edifícios foram definidos: a Elevação Uniforme e a Elevação Aleatória, como ilustrado nas Figura 1b e Figura 1c, respectivamente. Apesar da Elevação Aleatória no plano urbano ser a mais recomendada para o planejamento urbano de cidades com alta densidade de radiação solar, a Elevação Uniforme é mais frequente nas cidades atuais (Cheng *et al.*, 2006).

O contexto urbano foi representado por 25 edifícios, formando uma malha de 5 x 5 edifícios regularmente distribuídos. Apenas o edifício no centro da malha, marcado em branco, foi analisado (Figura 1a). Para definir a densidade urbana, foi utilizada uma taxa de ocupação de 40%, definido de acordo com o código de obras das cidades em estudo (Prefeitura de Fortaleza, 2009; Prefeitura de Florianópolis, 1998). A taxa de densidade urbana foi calculada dividindo a área de projeção da edificação pela área do terreno.

O coeficiente de aproveitamento, definido como a razão entre a área total do edifício pela área do terreno, foi fixada para o contexto com Elevação Uniforme, mas varia para o contexto com Elevação Aleatória conforme a altura do edifício (número de pavimentos). A altura do edifício é um dos parâmetros que mais influência a disponibilidade da luz natural e radiação solar nas fachadas dentro de um contexto urbano (Littlefair, 1998).

2.1.1 Casos com Elevação Aleatória

Como a distribuição e a altura do entorno dos edifícios tem um grande impacto no desempenho das edificações, um numero de 10 diferentes contextos aleatórios foram utilizados para cada tipo de edifício. Os contextos aleatórios foram gerados através da função de número aleatório do Excel. As alturas dos edifícios do entorno foram determinadas pelas alturas dos tipos de edifícios selecionados.

Tabela 1: Alturas utilizadas no contexto urbano com Elevação Aleatória.

Edifício	**Caso**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	29.1	52.3	13.7	44.6	21.4	36.9	21.4	36.9	52.3	29.1
2	44.6	6.0	44.6	60.0	29.1	6.0	21.4	52.3	6.0	13.7
3	29.1	21.4	21.4	6.0	21.4	36.9	6.0	52.3	44.6	44.6
4	21.4	29.1	6.0	36.9	44.6	44.6	52.3	13.7	44.6	29.1
5	13.7	21.4	6.0	44.6	60.0	13.7	36.9	44.6	52.3	60.0
6	60.0	52.3	36.9	44.6	6.0	29.1	21.4	44.6	52.3	44.6
7	29.1	13.7	6.0	36.9	6.0	52.3	6.0	29.1	13.7	21.4
8	29.1	44.6	21.4	21.4	29.1	44.6	36.9	13.7	44.6	6.0
9	52.3	6.0	44.6	44.6	36.9	6.0	60.0	13.7	29.1	60.0
10	60.0	60.0	21.4	6.0	36.9	60.0	13.7	44.6	6.0	60.0
11	60.0	44.6	21.4	52.3	21.4	44.6	44.6	36.9	44.6	60.0
12	13.7	13.7	6.0	21.4	52.3	13.7	44.6	29.1	44.6	52.3
13	29.1	60.0	36.9	52.3	60.0	13.7	60.0	6.0	29.1	44.6
14	13.7	21.4	52.3	6.0	21.4	44.6	29.1	60.0	44.6	21.4
15	36.9	52.3	44.6	60.0	44.6	13.7	13.7	44.6	36.9	44.6
16	6.0	29.1	6.0	36.9	60.0	36.9	60.0	29.1	60.0	29.1
17	21.4	6.0	13.7	52.3	29.1	21.4	44.6	6.0	52.3	52.3
18	21.4	21.4	21.4	6.0	60.0	36.9	52.3	36.9	60.0	29.1
19	52.3	6.0	13.7	52.3	44.6	29.1	21.4	52.3	44.6	21.4
20	21.4	6.0	6.0	60.0	52.3	21.4	44.6	13.7	52.3	52.3
21	6.0	13.7	60.0	60.0	60.0	21.4	52.3	21.4	29.1	52.3
22	21.4	29.1	44.6	21.4	36.9	21.4	36.9	21.4	60.0	60.0
23	6.0	52.3	13.7	21.4	6.0	21.4	13.7	21.4	60.0	29.1
24	21.4	21.4	36.9	36.9	44.6	60.0	44.6	52.3	52.3	60.0

A Tabela 1 descreve os 10 casos que foram utilizados para a simulação dos contextos urbanos para todos os modelos, bem como as alturas utilizadas para os 24 edifícios vizinhos. O número do edifício na coluna 1 da tabela é equivalente a posição do edifício de acordo com a planta mostrada na Tabela 2 com as posições dos edifícios.

Tabela 2: Posição dos edifícios no plano urbano.

1	2	3	4	5
10	9	8	7	6
11	12	Tipo	13	14
19	18	17	16	15
20	21	22	23	24

2.1.2 Protótipos para simulação

Utilizando o contexto com Elevação Uniforme e os 10 contextos com Elevação Aleatória, foram modelados 88 cenários urbanos. Adicionalmente, foram avaliadas duas diferentes orientações, na qual as maiores fachadas dos edifícios foram voltadas para Norte-Sul e para Leste-Oeste, para as cidades de Florianópolis e Fortaleza, totalizando 352 simulações. A Figura 2 apresenta os oito tipos de edifícios em um dos contextos com Elevação Aleatória.

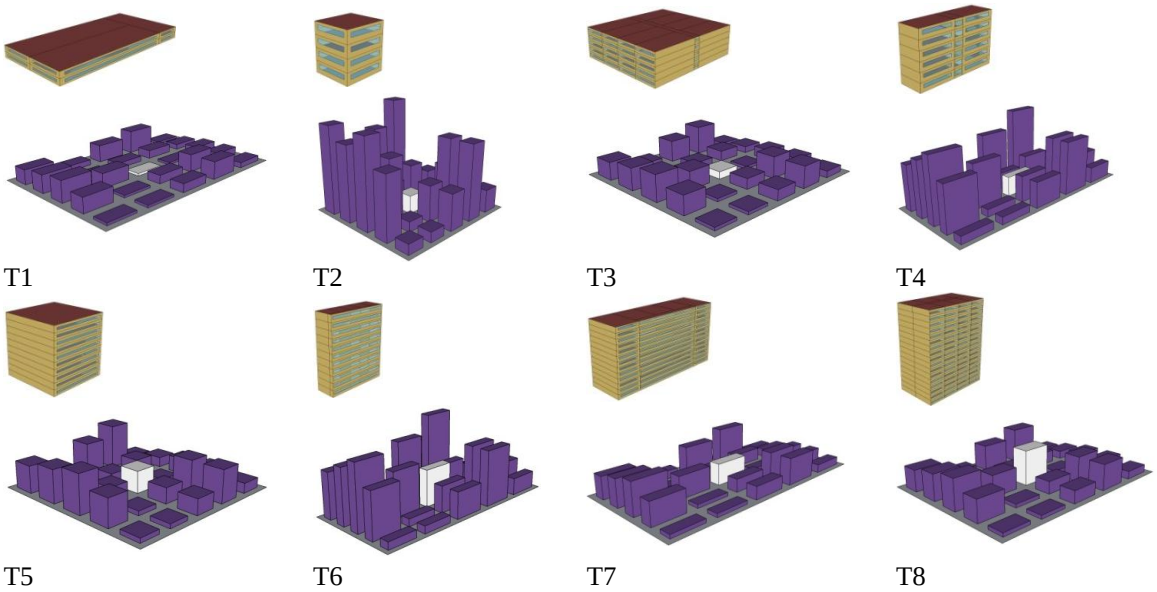

Figura 2: Exemplo dos tipos de edifícios dentro de um dos contextos urbanos com Elevação Aleatória.

Tabela 3: Parâmetros do contexto urbano para taxa de ocupação de 40%.

Tipo	Área de piso do edifício em m²	Área do terreno em m²	Distância entre edifícios em m	Coeficiente de aproveitamento
T1	3200	8000	32	0.8
T2	90	225	6	1.6
T3	2250	5625	28	2.0
T4	200	500	7	2.4
T5	900	2250	17	4.0
T6	200	500	7	4.4
T7	1360	3400	19	5.2
T8	1500	3750	22	6.8

As dimensões dos terrenos dos edifícios e do layout urbano para cada tipo de edifício foram organizados e calculados através da metodologia de planejamento energético urbano desenvolvida por (Marins *et al.*, 2012). Foi utilizado o tipo de edifício e características,

como a área de piso, para calcular o tamanho do terreno e a quadra da cidade. A Tabela 3 apresenta as dimensões do contexto urbano para a taxa de ocupação de 40%. Vale ressaltar que, como a área do terreno é fixa para cada tipo de edifício, os diferentes tipos possuem diferentes distâncias entre os edifícios vizinhos, que é uma das variáveis de maior peso na disponibilidade de radiação solar no cenário urbano (Vanesch *et al.*, 2012). Neste trabalho, a distância entre os edifícios foi considerada a mesma para todas as direções.

2.2 Simulação da radiação solar na envoltória

A radiação solar na envoltória foi obtida através de simulação computacional com os programas Rhinoceros e Radiance pelo plugin Diva-for-Rhino. A análise foi realizada para todo o ano através do arquivo climático das cidades em estudo. Foram construídos modelos 3D com superfícies planas representando a volumetria dos edifícios e do contexto urbano. A malha de pontos foi distribuída uniformemente sobre todas as superfícies do edifício central como mostrado na Figura 3. Os pontos da malha foram posicionados com 0,50 m de afastamento entre si. Os resultados obtidos são expressos em kWh / (m² ano).

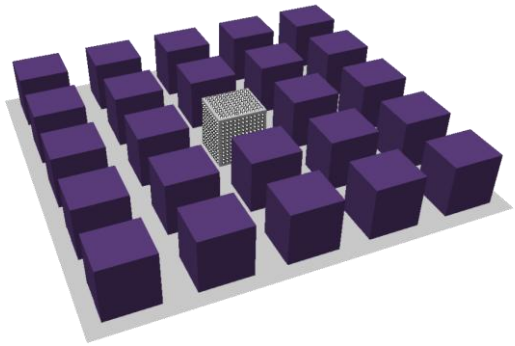

Figura 3: Distribuição dos pontos de análise na fachada do edifício.

A refletância das paredes exteriores e coberta foi ajustada em 0,75, valor utilizado em edifícios com envoltória energeticamente eficiente. Nas superfícies dos edifícios vizinhos foi adotada refletância de 0,35 e para o piso 0,20. Para os parâmetros do Radiance e da densidade geométrica, os valores padrões do Diva foram utilizados.

2.3 Radiação solar requerida para a instalação de placas fotovoltaicas

Para determinar os locais apropriados para a instalação de painéis fotovoltaicos na envoltória, um nível mínimo de radiação solar foi definido com base em considerações econômicas (Jakubiec *et al.*, 2012). Em geral, um prazo de amortização da metade do tempo de vida útil dos painéis pode ser considerado como um requisito mínimo para um investimento econômico interessante (Scheuring, 2006). A vida útil do fotovoltaico monocristalino é cerca de 30 anos e dos módulos de película fina (orgânicos) entre 20 e 25 anos. Tendo em vista os custos com eletricidade e instalação do sistema pode-se estimar um valor de radiação solar mínima para a instalação dos módulos.

No Brasil as instalações fotovoltaicas custavam em 2013 cerca de R$ 7000 por kWp (América do Sol, 2004; Montenegro, 2013). O custo da eletricidade depende da cidade e do tipo de uso da edificação, onde a média encontrada para edifícios comerciais foi de R$ 0,27 por kWh (ANEEL, 2014). Considerando uma taxa de inflação de 5,2% (valor médio 2003-2013) (Abdala, 2012) e uma redução nos custos de instalação de 60% até 2020, o preço da energia para os próximos anos foi calculado (Portal Energia, 2014).

Com os custos de instalação de 2013, o nível de radiação solar mínimo necessário para instalação dos módulos fotovoltaicos na envoltória foi de 1000 kWh / (m² ano) para um retorno simples, considerando os custos de investimento ao longo de um período de 15 anos. No entanto, tendo em vista a redução de 60% dos custos de instalação até 2020 (R$ 4200) uma radiação solar de aproximadamente 800 kWh / (m² ano) é suficiente para um retorno dentro de 10 anos, que é o valor que foi considerado neste trabalho como limite para aplicação dos módulos fotovoltaicos. O cálculo simplificado não considerou os custos de capital e de manutenção. Para determinar a rentabilidade de um sistema real, recomenda-se um cálculo incluindo estes fatores.

A equação (1) determina o período de retorno para um sistema solar específico (Hay, 2013). Onde T_P é o período de retorno; CTP é o custo total do projeto instalado; EEP é a estimativa da eletricidade produzida anualmente em kWh; e PR é o preço da rede por kW.

$$T_p = \frac{CTP}{EEP \times PR} \tag{1}$$

2.4 Análise da Radiação Solar

Os resultados obtidos foram dispostos em tabelas para a análise da radiação solar em cada superfície e nos vários pavimentos separadamente. A Tabela 4 apresenta a organização para a análise dos dados. As colunas (#0 a #10) apresentam os contextos urbanos. O contexto urbano #0 possui a Elevação Uniforme e #1 a #10 possuem as Elevações Aleatórias; as linhas da tabela correspondem aos pavimentos dos edifícios em todas as orientações. As células marcadas em cinza claro mostram as superfícies onde a radiação solar média atingiu o nível mínimo exigido de 800 kWh / (m² ano).

Tabela 4: Radiação solar média para cada pavimento e superfície em kWh/(m² ano) do edifício T3 - Norte-Sul.

Orientação/ Pavimento	Superfície	Caso 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Telhado	1630	1568	1481	1581	1515	1439	1545	1415	1596	1496	1456
Norte	5	973	736	635	844	790	779	581	584	888	611	832
	4	948	708	575	823	769	750	524	571	879	551	821
	3	925	627	543	802	743	672	490	557	867	519	810
	2	904	566	537	776	713	613	482	528	853	507	793
	1	881	554	529	748	683	604	475	472	839	500	781
Leste	5	828	609	445	568	434	440	689	439	722	591	483
	4	798	568	427	545	421	423	668	421	707	551	454
	3	755	529	411	517	399	414	627	412	691	509	441
	2	700	500	383	490	374	387	596	385	665	483	426
	1	655	471	366	459	345	370	558	370	637	460	404
Sul	5	423	381	394	390	321	296	366	290	393	292	313
	4	407	369	385	381	313	288	353	282	384	286	304
	3	387	351	367	365	301	276	337	271	368	275	293
	2	363	331	345	344	285	261	317	255	347	261	278
	1	331	303	315	315	260	238	290	233	317	237	254
Oeste	5	824	627	732	763	654	428	722	407	617	477	385
	4	796	605	714	745	623	416	708	376	581	444	373
	3	753	584	684	723	573	396	679	360	545	429	354
	2	702	556	663	698	528	371	658	345	518	410	337
	1	656	529	636	671	492	344	631	327	486	390	312

A aplicação dos painéis fotovoltaicos na envoltória foi restrita devido as condições técnicas e econômicas. Nem todos os edifícios possuem liberdade para aplicação dos painéis fotovoltaicos em qualquer superfície, já que muitos estão situados no meio urbano, onde sombreamento e obstáculos devem ser considerados. Através dos resultados obtidos na análise de radiação solar, os locais de aplicação dos painéis fotovoltaicos podem ser melhor definidos. Para os modelos com a Elevação Aleatória, contexto urbano que oferece mais possibilidades, apenas um dos 10 contextos foi escolhido como referencial a para aplicação de módulos fotovoltaicos.

A Figura 4 exemplifica os 11 contextos urbanos de um tipo de edifício. O contexto Elevação Uniforme está marcado em azul e contexto Elevação Aleatória selecionado como referencial, com o maior número de superfícies (pavimentos) que atingiu o nível mínimo para aplicação fotovoltaica está marcado em laranja.

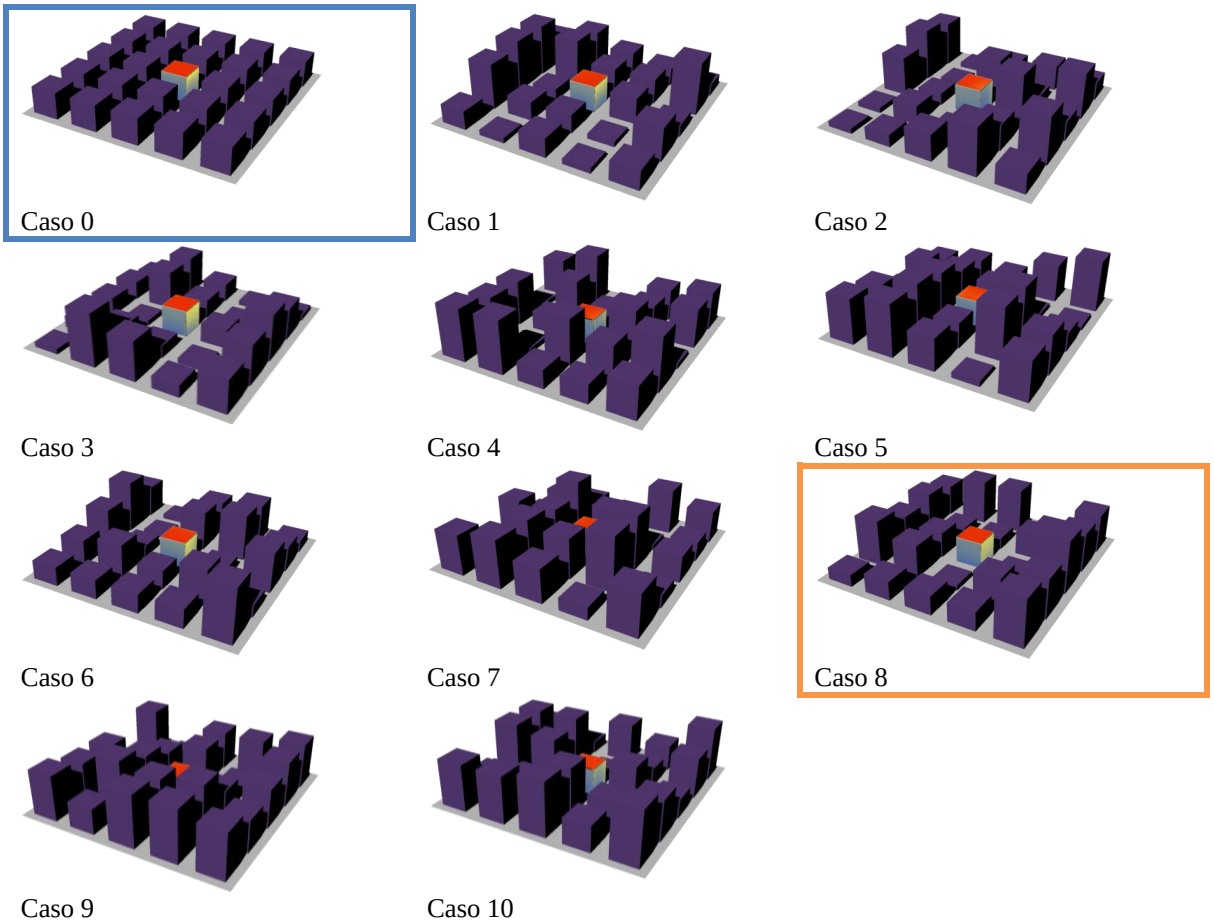

Figura 4: Exemplo qualitativo da análise da radiação solar nos 11 contextos analisados.

3 RESULTADOS

A influência do sombreamento dos edifícios vizinhos na incidência da radiação solar utilizada na geração energia fotovoltaica foi investigada e os seus resultados estão discutidos nesta seção.

3.1 Radiação solar na envoltória dos edifícios

A radiação solar média para as superfície voltadas para Norte, Sul, Leste e Oeste, sem considerar o entorno, nas cidades de Florianópolis e Fortaleza estão apresentadas na Figura 5. Ambas as cidades possuem baixa latitude geográfica (Florianópolis 27° e Fortaleza 3°), assim, o ângulo de elevação do sol é alto ao longo de todo o ano, o que resulta em uma grande diferença no valor de radiação solar obtido na coberta e na fachada.

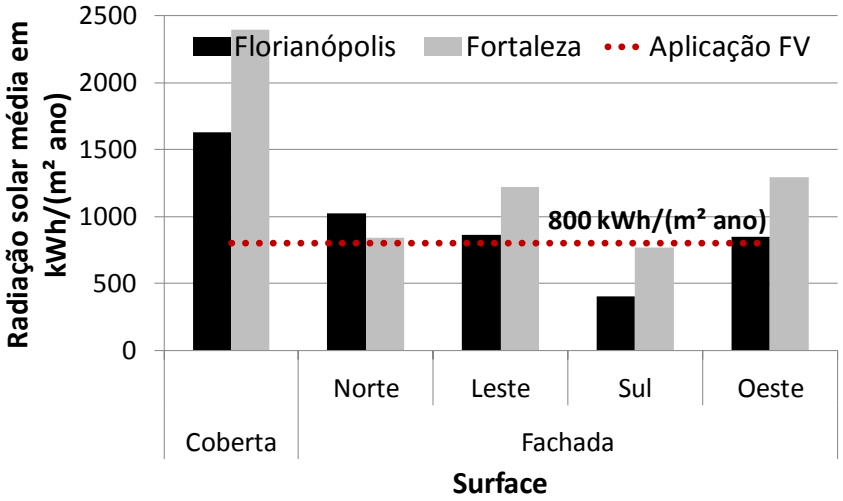

Figura 5: Radiação Solar média[1] na superfície sem entorno (dado referencial).

Os resultados mostrados na Figura 5 apresentam a radiação solar máxima possível para cada superfície. Este valor pode ser utilizado para comparações com os resultados obtidos considerando o entorno do contexto urbano. As colunas mostram a radiação solar nas fachadas com diferentes orientações e na cobertura, para as cidades de Florianópolis e Fortaleza. A linha tracejada apresenta a radiação solar mínima necessária para a aplicação de módulos fotovoltaicos na superfície.

Observa-se que a coberta é a superfície com a maior exposição à radiação solar do edifício. As fachadas recebem valores de radiação menores, variando de acordo com a orientação. As fachadas orientadas para Leste e Oeste possuem valores semelhantes nas duas cidades, com cerca de 50% a menos do valor de radiação solar da coberta. As maiores diferenças aparecem nas orientações norte e sul. Florianópolis tem cerca de 25% a mais de radiação solar, na fachada Norte, do que Fortaleza.

Através dos resultados da radiação solar obtidos para todas as superfícies, considerando o contexto urbano nas duas cidades, foi possível definir as orientações e os pavimentos dos diferentes tipos de edifícios que receberiam os módulos fotovoltaicos. As Tabelas 5 e 6 apresentam onde os módulos fotovoltaicos podem ser aplicados, de acordo com o valor de radiação solar mínima definido. Os pavimentos para aplicação dos módulos estão apresentados nas tabelas pelos números, por exemplo, 4_3 significa que os módulos seriam colocados na fachada do 3° e do 4° pavimento.

[1] Média do resultado obtido em todos os pontos da superfície.

Tabela 5: Síntese da aplicação dos módulos fotovoltaicos de acordo com o nível de radiação solar para os edifícios com as maiores fachadas orientadas Norte-Sul.

Cidade	Florianópolis_Norte-Sul						Fortaleza_Norte-Sul					
Tipo	Contexto Urbano	Coberta	Pavimento				Contexto Urbano	Coberta	Pavimento			
			N	L	S	O			N	L	S	O
T1	0	Sim	2 _1	2_1	-	2_1	0	Sim	2_1	2_1	-	2_1
	8	Sim	2_1	-	-	-	6	Sim	-	2_1	-	2_1
T2	0	Sim	4	-	-	-	0	Sim	-	4_3	-	4_3
	3	Sim	-	-	-	-	3	Sim	-	-	-	4
T3	0	Sim	5_1	5	-	5	0	Sim	5	5_1	-	5_1
	8	Sim	5_1	-	-	-	6	Sim	-	5_1	-	5_1
T4	0	Sim	6	-	-	-	0	Sim	-	6_4	-	6_4
	3	Sim	-	-	-	-	3	Sim	-	-	-	6_3
T5	0	Sim	10_8	-	-	-	0	Sim	-	10_7	-	10_7
	8	Sim	10_5	-	-	-	3	Sim	-	10_4	-	10_1
T6	0	Sim	11	-	-	-	0	Sim	-	11_10	-	11_9
	3	Sim	11_9	-	-	-	3	Sim	-	-	-	11_3
T7	0	Sim	13_11	-	-	-	0	Sim	-	13_8	-	13_8
	3	Sim	13_6	13	-	13	6	Sim	-	13_2	-	13_2
T8	0	Sim	17_15	-	-	-	0	Sim	-	17_14	-	17_14
	3	Sim	17_5	17_11	-	17_10	3	Sim	17_11	17_6	-	17_1

Tabela 6: Síntese da aplicação dos módulos fotovoltaicos de acordo com o nível de radiação solar para os edifícios com as maiores fachadas orientadas Leste-Oeste.

Cidade	Florianópolis_Leste-Oeste						Fortaleza_Leste-Oeste					
Tipo	Contexto Urbano	Coberta	Pavimento				Contexto Urbano	Coberta	Pavimento			
			N	L	S	O			N	L	S	O
T1	0	Sim	2 _1	2_1	-	2_1	0	Sim	2_1	2_1	-	2_1
	8	Sim	2_1	-	-	-	6	Sim	-	2_1	-	2_1
T2	0	Sim	4	-	-	-	0	Sim	-	4_3	-	4_3
	3	Sim	-	-	-	-	3	Sim	-	-	-	4
T3	0	Sim	5_1	5	-	5	0	Sim	5	5_1	-	5_1
	8	Sim	5_1	-	-	-	6	Sim	-	5_1	-	5_1
T4	0	Sim	6_5	-	-	-	0	Sim	-	6_5	-	6_5
	3	Sim	-	-	-	-	3	Sim	-	-	-	6_4
T5	0	Sim	10_8	-	-	-	0	Sim	-	10_7	-	10_7
	8	Sim	10_5	-	-	-	3	Sim	-	10_4	-	10_1
T6	0	Sim	11_10	-	-	-	0	Sim	-	11_10	-	11_10
	3	Sim	-	-	-	-	3	Sim	-	-	-	11_4
T7	0	Sim	13_10	-	-	-	0	Sim	-	13_9	-	13_9
	3	Sim	13_7	-	-	13_9	6	Sim	-	13_4	-	13_4
T8	0	Sim	17_15	-	-	-	0	Sim	-	17_14	-	17_14
	3	Sim	17_5	17_12	-	17_7	6	Sim	17_16	17_1	-	17_1

De acordo com os resultados observa-se que os contextos urbanos com Elevação Aleatória #3 e #8 foram os que permitiram maior incidência de radiação solar nas fachadas dos edifícios. Os edifícios mais altos, com maior número de pavimentos, obtiveram mais radiação solar na fachada, sendo esta superfície uma boa opção para aplicação da tecnologia. O edifício T8 situado em Fortaleza com orientação Leste-Oeste possui toda a superfície da fachada Leste e Oeste propícia para geração de energia solar. Já os edifícios mais baixos apresentam a cobertura e os pavimentos mais altos como melhores áreas para aplicação no contexto com Elevação Uniforme (#0).

4 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a influência do sombreamento provocado pelo contexto urbano na envoltória de edifícios de escritórios verticais. A influência foi diferente para o contexto com Elevação Uniforme e com Elevação Aleatória. Tipos de edifícios com altura mediana (6 pavimentos) apresentaram mais possibilidade de geração de energia no traçado urbano com Elevação Uniforme. O traçado urbano com Elevação Aleatória, se mostrou favorável para os tipos mais altos com mais áreas para a instalação, onde os edifícios vizinhos têm no máximo a mesma altura do edifício avaliado. Neste caso, as superfícies verticais (fachadas) obtiveram maiores níveis de radiação solar. A separação entre os edifícios (largura da rua) foi também um fator significativo para a avaliação da radiação solar sobre as superfícies dos edifícios.

O sombreamento influencia a disponibilidade de radiação solar na envoltória dos edifícios e pode reduzir a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos aplicados no envelope. O valor mínimo de radiação solar definido para aplicação fotovoltaica, pode ser alterado de acordo com os custos de instalação e limitação técnica. Valores limite de radiação diferente para coberta e fachadas pode ser satisfatório, uma vez que as aplicações integradas no edifício reduz custo quando substitui outros materiais.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo suporte financeiro.

6 REFERÊNCIAS

Abdala, V. (2012) Inflação oficial fecha ano de 2012 em 5,84%, diz IBGE. Disponível em <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-01-10/inflacao-oficial-fecha-ano-de-2012-em-584-diz-ibge>. Acesso em 04/2014 — Comunica, Agência Brasil - Empresa Brasil de comunicação.

Amado, M; Poggi, F. Miguel A., Francesca P. (2012) Towards Solar Urban Planning: A New Step for Better Energy Performance. **In: Energy Procedia** vol. 30, pp. 1261–1273.

AMÉRICA DO SOL. **Custos**. Disponível em <http://www.americadosol.org/custos/>. Acesso em 07/2014.

ANEEL. (2014) Soma de tarifa média de fornecimento - Classe de consumo.

Carlo, J. C. (2008) **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética da Envoltória de Edificações Não Residenciais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis.

Cheng, V.; Steemers, K.; Montavon, M.; Compagnon, R. (2006) Urban Form , Density and Solar Potential. **In: Pleaa 2006** - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, pp. 6–8.

Vanesch, M. M. E.; Looman, R. H. J.; De Bruin-Hoedijk, G. J. (2012) The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. **In: Energy and Buildings** vol. 47, pp. 189–200.

Hay, F. J. (2013) **Economics of Solar Photovoltaic Systems**.

Jakubiec, J. A.; Reinhart, C. (2011) DIVA 2.0: Integrating Daylight And Thermal Simulations Using Rhinoceros 3D, DaySim And EnergyPlus. **In: 12th International IBPSA Conference**, Building Simulation 2011, pp. 14–16.

Jakubiec, J. A.; Reinhart, C. (2012) Towards validated urban photovoltaic potential and solar radiation maps based on lidar measurements, gis data, and hourly daysim simulations. **In: SimBuild 2012** - Fifth National Conference of IBPSA-USA. Madison, Wisconsin.

Kanters, J.; Horvat, M. (2012) Solar Energy as a Design Parameter in Urban Planning. **In: Energy Procedia** vol. 30, pp. 1143–1152.

Littlefair, P. (1998) Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. **In: Renewable and Sustainable Energy Reviews** vol. 2, Nr. 3, pp. 303–326.

Marins, K. C. C. ; Roméro, M. A. (2012) Integration of urban morphology constraints in the development of a methodology for urban energy planning. **In: Ambiente Construído**, pp. 117–137.

Melo, A. P. (2012) **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. (2014) Energia Solar. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>. Acesso em: 03/2014.

Montenegro, A. (2013) **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2013.

Oke, T. R. (1988) Street design and urban canopy layer climate. **In: Energy and Buildings** vol. 11, Nr. 1-3, pp. 103–113.

Portal Energia - Energias Renováveis. **Preço dos painéis solares fotovoltaicos cairá 60% até 2020**. Disponível em < http://www.portal-energia.com/preco-dos-paineis-solares-fotovoltaicos-caira-60-ate-2020/>. Acesso em: 04/2014.

Prefeitura de Fortaleza. (2009) P**lano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Fortaleza.** Fortaleza.

Prefeitura Municipal de Florianópolis / IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. (1998) **Plano Diretor de Florianópolis.** Florianópolis.

Ratti, C.; Raydan, D.; Steemers, K. (2003) Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. **In: Energy and Buildings** vol. 35, N. 1, p. 49-59.

Rendón, L. G. (2013) **Potencial de Aplicação de Painéis Fotovoltaicos em Fachadas de Edificações em Diferentes Contextos Urbanos.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis.

Stromann-Andersen, J.; Sattrup, P. A. (2011) The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. **In: Energy and Buildings** vol. 43, Nr. 8, pp. 2011–2020.

Terece, A.; Kestem, D.; Eicker, U. (2010) The impact of the urban form on heating, cooling and lighting demand of cities. **In: ICSU Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Urbanisation.** Hong Kong, pp. 15–17.

Santana, M. V. (2006) **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Scheuring, J. (2006) **Wirtschaftsinformatik: Konzeption und Planung eines Informations- und Kommunikationssystems: Grundlagen mit zahlreichen Illustrationen, Beispielen, Repetitionsfragen und Antworten.** Compendio Bildungsmedien AG, ISBN 3715592729.