REFLEXÃO SOBRE OS PARAMÊTROS URBANÍSTICOS DE SALVADOR E O USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Andrea Verri Bastian – avbastian@uol.com.br
Universidade Federal da Bahia (UFBA), Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo

Resumo. *Atualmente 50% do consumo de energia dos centros urbanos vêm dos edifícios. Nesse contexto, é crescente a busca por tecnologias que possam fornecer energia limpa e que não causem impactos ao meio ambiente, mitigando os efeitos das alterações climáticas (efeito estufa), emissão de gases, como também, que diminuam os custos cada vez mais altos com energia. A forma urbana (estrutura urbana e morfologia dos edifícios) é uma questão prioritária a ser discutida no caso de geração de energia fotovoltaica em cidades, uma vez que envolve questões complexas e sistemas voltados para a modelagem urbana. Este artigo apresenta os parâmetros urbanísticos atuais, analisa o sombreamento, considerando como objeto de estudo uma pequena área do bairro da Barra – Salvador (BA), onde se verifica que, embora a cobertura das edificações seja a superfície do edifício com a maior exposição à radiação solar, em alguns casos isso não ocorre, devido à proximidade das edificações vizinhas e, traz uma reflexão entre os parâmetros urbanísticos adotados para a cidade de Salvador e o potencial de geração de energia fotovoltaica em edifícios*.

Palavras-chave: *Energia Solar Fotovoltaica, Plano Diretor Urbano, Parâmetros Urbanísticos de Salvador (BA).*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com estudos das Organizações das Nações Unidas (ONU, 2014), até 2050, cerca de 80% da população global estará concentrada nas cidades, o que provocará um grande aumento no consumo de energia e, ainda, uma sobrecarga na infraestrutura existente, além do crescimento na geração de Gases do Efeito Estufa (GEE). Assim, o planejamento energético urbano é imprescindível, a fim de que se tenha condições adequadas para um futuro sustentável, possibilitando que as cidades possam ter projetos inovadores em termos de eficiência energética.

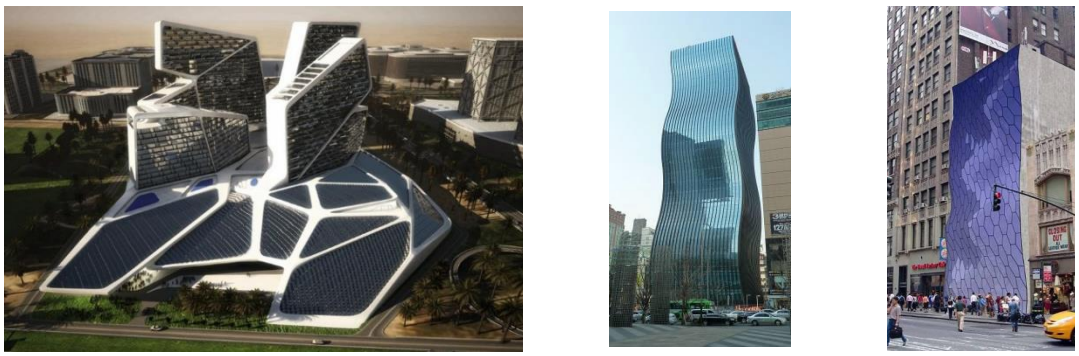
Quando se trata da geração de energia por fontes renováveis, a *International Energy Agency* (IEA, 2014), considera a energia fotovoltaica como uma das tecnologias emergentes mais promissoras, uma vez que o custo dos sistemas fotovoltaicos vem caindo nos últimos anos, bem como, tornando-se competitivo nos segmentos comerciais e residenciais; ainda, em uma análise mais recente, esta tecnologia poderia fornecer até um terço da demanda mundial de energia após 2060.

Esse cenário pode ser percebido também no Brasil que, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2016), apresenta um grande potencial para geração de energia elétrica fotovoltaica, considerando-se tanto a geração por meio de usinas de grande porte, quanto por geração distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações, ressaltando que a "[...] geração de energia próxima ao ponto de consumo deverá ser reconhecida pelo sistema elétrico como um dos principais atributos desta tecnologia de geração." e, ainda:

> [...] gerar eletricidade solar no telhado de uma residência é cada vez mais competitivo com os preços e tarifas de energia elétrica convencionais e cada vez mais as distribuidoras de energia vêm reconhecendo a tecnologia solar fotovoltaica muito mais como uma oportunidade do que como um risco (perda de receita) (PEREIRA et al., 2017, p. 58).

A geração solar fotovoltaica distribuída em telhados, coberturas e fachadas apresenta como vantagens não possuir peças móveis, necessidade de manutenção mínima, não produzir ruído e, tornar desprezíveis as perdas com a transmissão de energia, uma vez que, geração e consumo estão muito próximos. Ruther (2004) destaca que os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações urbanas diminuem os custos relativos à produção centralizada de energia por meio de sistemas montados junto ao solo, que incidem sobre a área ocupada, bem como os custos de preparação do terreno, das fundações, o sistema estrutural de suporte dos painéis, da distribuição de energia e da conexão à rede.

Na geração distribuída os painéis podem ser instalados sobrepostos aos telhados, coberturas e vedações, denominados de *Building Attached Photovoltaics* ou *Building Applied Photovoltaics* (BAPV); já o uso de sistemas integrados às edificações vem crescendo em todo o mundo. Os sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificações - *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) são constituídos por painéis solares para a geração de energia elétrica que também funcionam como material de vedação da edificação. Nos sistemas BIPV (Cekić et al., 2015) as células fotovoltaicas podem ser incorporadas à fachada do edifício (Fig. 1a, 1b e 1c), complementando ou substituindo o vidro tradicional, a elementos arquitetônicos de sombreamento como brises, nos telhados substituindo telhas ou, ainda, em sistemas para captação de iluminação natural como, por exemplo, as clarabóias.



(a) (b) (c)

Figura 1- *Vertical Village* - Dubai (a), *SeochoGarak Tower East* – Seul (b), *Photovoltaic Honeycomb Glass* – Nova York (c)
Fonte: CEKIĆ et al., 2015.

Para Chivelet e Solla (2010) a nova função dos painéis fotovoltaicos implica em que o sistema fotovoltaico integrado passe a desempenhar o mesmo papel conferido à fachada convencional ou aos elementos de cobertura que irá substituir, impactando em fatores estéticos (cor, textura, tamanho dos elementos de vedação externa e aspecto geral da edificação), assim como em fatores construtivos (impermeabilidade, estabilidade, resistência a cargas de vento, resistência ao fogo), durabilidade, manutenção, segurança elétrica (durante a construção e uso), custo e, ainda, levando em consideração questões relativas à geração de energia como: a orientação e inclinação, o acúmulo de calor e ventilação e, o controle de sombras projetadas sobre os painéis.

Devido às grandes superfícies disponíveis em fachadas e coberturas, há um grande potencial inexplorado para a geração de energia, podendo garantir de 20 a 75% (dependendo da localização), do consumo de energia dos edifícios, abrindo caminho para as edificações Zero Energia[1] com potencial de geração de energia e redução nas emissões de GEE (Debbarma et al., 2017).

Para a otimização dos sistemas integrados às edificações é necessário um estudo da morfologia urbana, pois esta influencia na incidência dos raios solares sobre as edificações. A densidade habitacional, orientação das ruas, configuração das quadras e da vegetação, ou seja, as formas urbanas têm influência significativa no potencial de geração de energia fotovoltaica, seja nas fachadas das edificações, seja na cobertura das mesmas.

2. GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil é um país localizado na região intertropical, possuindo grande potencial de aproveitamento o ano todo, com potencial de geração de energia solar maior do que o da Alemanha, por exemplo, que em sua região mais ensolarada, possui um valor 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil.

O país apresenta níveis bastante elevados de irradiação solar com variabilidade mensal baixa. Das cinco regiões brasileiras, a região Nordeste é a que apresenta maior potencial solar (Fig. 2), com valores médios diários de irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m², superando os países ibéricos. A região Sul apresenta variabilidade mensal, devido à latitude mais alta e maiores diferenças na duração do dia entre as estações do ano. Na região Norte, onde a nebulosidade reduz a irradiância solar incidente, são encontrados os valores mais baixos, mas ainda assim superiores às incidências máximas de países como Alemanha e Itália, que estão investindo de forma significativa nesse tipo de energia.

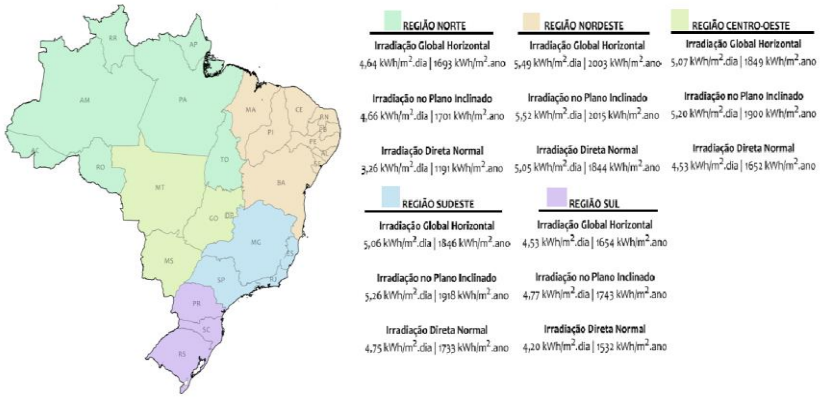


Figura 2 - Síntese dos níveis de irradiação solar por região
Fonte: Adaptado de Atlas de Energia Solar, 2016.

[1] Denominação dada a edificações que geram energia suficiente para suprir o seu consumo anual de energia.

Vale ressaltar que em qualquer região do país os valores de irradiação são superiores aos da maioria dos países da Europa que já fazem uso de sistemas de aproveitamento de energia solar há alguns anos e, de acordo com relatório *Snapshot of Global Photovoltaic Markets* da *International Energy Agency* (IEA, 2016), a China, a Alemanha, o Japão, e os Estados Unidos são os quatro países que possuem a maior potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo.

2.1 INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ

Na publicação "Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira" (2012), preparada pelo Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos[2] da Associação Brasileira da Industria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) argumenta-se que:

> No Brasil, as estimativas mais aceitas davam conta de uma capacidade instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos, até o final de 2011, de aproximadamente 31,5 MW instalados no país, sendo 30 MWp em sistemas não conectados à rede, e 1,5 MW conectados. Fica evidente que a energia solar fotovoltaica ainda não está sendo considerada adequadamente no nosso planejamento energético. (PROPOSTAS PARA INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA, 2012, p. 10).

A proposta constata, ainda, que "[...] é clara a oportunidade de se explorar a energia fotovoltaica no Brasil", não só por conta da grande disponibilidade de radiação solar, mas também, devido a diminuição nos custos de implantação e aumento da eficiência dos sistemas no âmbito internacional. Além do citado vale lembrar do esgotamento do potencial hidroelétrico brasileiro, além da sazonalidade devido às secas recorrentes dos últimos anos.

A partir de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu, por meio da Resolução 482[3], condições gerais para o acesso da microgeração e minigeração distribuída, adotando o sistema de compensação de energia, onde um telhado solar pode ser conectado à rede elétrica pública e injetar o excedente da produção, acumulando créditos a serem compensados[4].

Como outros mecanismos de incentivo à geração de energia fotovoltaica, pode-se citar a Resolução 481[5],que se refere diretamente à geração de energia elétrica por usinas solares, prevendo um desconto de 80% para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31/12/2017, bem como, o Plano Brasil Maior[6] (agosto de 2011), do Governo Federal, que visa melhorar a competitividade das indústrias do País com políticas de desenvolvimento industrial (EPE, 2012).

A partir de março de 2016, a Resolução 687, estendeu aos condomínios, consórcios e cooperativas a compensação dos créditos gerados por telhados solares e, ainda, ampliou para a possibilidade de autoconsumo remoto, em que a geração de energia pode estar em local distinto da edificação, desde que dentro da área de concessão da distribuidora. Com isso se estima que, até 2024, no Brasil, terão sido instalados mais de 1,2 milhão de geradores solares, com potência máxima de 5 MWp, com painéis integrados ao telhado ou à fachada das edificações (PEREIRA et al., 2017).

2.2 USO DE ENERGIA SOLAR EM SALVADOR

---

[2]O Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da ABINEE ("GS-Fotovoltaico") foi constituído em janeiro de 2010 com o propósito de reunir as empresas interessadas no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país e na introdução dessa energia limpa e renovável na matriz elétrica brasileira, para além dos sistemas isolados, onde vem sendo utilizada há muitos anos pelo "Programa Luz para Todos" e outras aplicações especiais (PROPOSTAS PARA INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA, 2012, p. 9).

[3] Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que "Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências" (ANEEL, 2015).

[4] O limite de potência contemplado pela REN 482/2012 era de 1000 kWp em 2012 e em 2016 este limite foi ampliado pela REN 687/2015 para até 5000 kWp por Unidade Consumidora (UC), valor equivalente ao consumo médio de mais de mil residências de classe média no Brasil.

[5] Resolução normativa nº 481, de 17 de abril de 2012 - Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, que passa a vigorar acrescida do seguinte Artigo 3°A: "Art. 3°A Para a fonte solar referida no Art. 1º fica estipulado o desconto de 80% (oitenta por cento), para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão (TUST) e de distribuição (TUSD), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada (ANEEL, 2015).

[6] Plano Brasil Maior propõe sistemas intensivos em escala para os setores químico e petroquímico; fertilizantes; bioetanol e energias renováveis; minero-metalúrgico; celulose e papel, tendo como: (a) objetivos: elevar participação nacional nos mercados de tecnologias, bens e serviços para energias e (b) metas e indicadores: diminuir consumo de energia por unidade de Produto Interno Bruto (PIB) industrial e elevar participação nacional nos mercados de tecnologias, bens e serviços para energia (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2011).

Para o caso específico de Salvador, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU, 2016)[7], em vigor, contempla em seus Artigos:

- Art. 11 - III - elevar a qualidade do ambiente urbano, por meio da preservação e recuperação dos recursos naturais, do **uso de energias e tecnologias limpas**, da promoção e manutenção do conforto ambiental e da proteção do patrimônio histórico, artístico, cultural, urbanístico, arqueológico e paisagístico;
- Art. 13 - VII - apoio ao desenvolvimento sustentável, incentivando o uso de matéria prima proveniente de materiais reutilizados e reciclados, de tecnologias limpas e de baixo impacto ambiental, assim como a **geração de energia de fontes renováveis** e a reutilização de água de chuva, tanto na construção quanto no funcionamento de edificações, reconhecendo os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis como um bem econômico e de valor social, promotor de cidadania e gerador de trabalho e renda;
- Art. 113 - VII - incentivo à adoção de **cogeração de energia e utilização de energias renováveis** em edificações, iluminação pública e transportes;
- Art. 122 - II - diversificação da matriz energética existente, estabelecendo medidas efetivas para a implementação do uso de **fontes de energia renováveis** e compatíveis com as condições ambientais;
- Art. 123 - III - promoção do desenvolvimento e utilização de novas tecnologias no uso de fontes alternativas e **não convencionais de energia**, de forma complementar, inclusive **energia solar**, tendo como objetivo empreendimentos residenciais e grandes equipamentos;
- Art. 122 - IV - definição de programa de medidas que induzam o **uso de energia solar**, sobretudo para o aquecimento de água;

Além do Plano Diretor, em 2015, a Prefeitura Municipal de Salvador lançou, por meio da Portaria Nº 0034/2015, o IPTU verde para incentivar ações e práticas de sustentabilidade em construções, oferecendo descontos diretamente no IPTU. Divido em três categorias (bronze, prata e ouro); de acordo com a pontuação obtida pela edificação, os descontos variam de 5% a 10% e, dentre os itens de pontuação estão:

> 15 - Fontes alternativas de energia: uso de painéis solares fotovoltaicos, que atendam a no mínimo 10% da Iluminação das áreas comuns, exceto áreas externas e estacionamentos. No caso de edificações constituídas de uma única unidade imobiliária, a economia deve ser de no mínimo 10% do consumo anual total.
> 25 - Inovações técnicas e de sistemas: sistemas de cogeração e/ou inovações técnicas de qualquer sistema que apresente economia mínima de 20% no consumo anual de energia elétrica. (DECRETO Nº 25.899, 2015, Anexo I).

Mais recentemente, em novembro deste ano, como parte do programa Salvador 360[8], o sexto eixo – Cidade Sustentável, a Prefeitura atualizou o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU), com a denominação de IPTU amarelo, que visa dar desconto de 10% a casas com energia solar.

Apesar dos incentivos vistos, conforme Nota Técnica da ANEEL (2017), a maior concentração de sistemas de micro e mini geradores, está no Estado de Minas Gerais (2.263), seguido por São Paulo (2.116), enquanto que no Estado da Bahia são apenas 83.

3. DESENHO URBANO E GERAÇÃO DE ENERGIA

A estrutura espacial de uma cidade é muito complexa e pode afetar tanto o consumo de energia quanto a geração de energia nas edificações. Para o caso da geração de energia solar fotovoltaica fatores como acesso ao sol e sombreamento das células impactam diretamente no rendimento do sistema.

Estudos realizados por Cheng *et al*. (2006) demonstraram uma influência importante da densidade construída sobre a insolação nas edificações. O melhor potencial para conversão solar fotovoltaica encontrado foi dado pelo arranjo com menor taxa de ocupação do solo, menor densidade bruta, maior heterogeneidade da altura e maior irregularidade na implantação dos edifícios.

Para Montavon (2010) a utilização de sistemas fotovoltaicos em fachadas de edificações em áreas urbanas muito adensadas torna-se inviável, necessitando de uma reorganização dos blocos das edificações para permitir condições favoráveis na utilização de energia solar.

Van Esch *et al.* (2012), verificaram que a largura da rua e a distância entre as edificações têm uma influência significativa no acesso solar, sendo diretamente proporcional ao acesso do edifício ao sol.

---

[7] LEI Nº 9.069/2016 - Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Salvador - PDDU 2016.

[8] Segundo a Prefeitura de Salvador "360. Um grande programa, com 8 eixos e 360 medidas, para acelerar o crescimento econômico e social de Salvador. São 3 bilhões de reais investidos na modernização da infraestrutura da cidade e na requalificação do centro histórico. O programa conta também com uma série de ações para simplificar a vida do cidadão, atrair empresas, gerar empregos e fortalecer a economia informal. Além disso, Salvador vai ganhar um *hub* digital, novos investimentos em sustentabilidade e um polo de economia criativa". Disponível em: <http://360.salvador.ba.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2017.

Kanters e Wall (2014) avaliaram os efeitos dos parâmetros urbanísticos suecos (forma, adensamento, orientação e tipo de cobertura) sobre a conversão de energia solar, chegando à conclusão que o adensamento era o principal parâmetro e, em contrapartida, a orientação das edificações não gerou dados concretos sobre sua influência.

Como exemplo de otimização do desenho urbano pode-se citar a Cidade Solar (Fig. 3) construída em *Pichling*, Município de Linz, na Áustria. A vila possui 1300 habitações, além de lojas, escolas, parques esportivos e outros serviços básicos necessários. Os edifícios residenciais de dois a quatro pavimentos são orientados sempre que possível no sentido norte-sul, com fachada principal voltada para sul, implantados de maneira que não haja sombreamento. Os bairros são compactos e de uso misto, possuindo uma praça central com serviços de transporte público.

Figura 3 - Solar City – Linz (Austria)
Fonte: Disponível em: <http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/solar-city-linz-austria/>. Acesso em set. 2017.

Após 15 anos existem perto de 1300 edificações utilizando painéis fotovoltaicos, com um gasto de energia de 40 kW/m²/ano (Breuste e Riepel, 2007).

4. CONTEXTO URBANO DE SALVADOR

A cidade do Salvador que, no final do século XVI, possuía uma população com cerca de 8 mil habitantes, tem sua população duplicada a cada 50 anos, entre meados do século XVII e XVIII. Mas, com a mudança da capital para o Rio de Janeiro (1763), passa por um período de estagnação, voltando a crescer e se tornar a segunda maior cidade brasileira em termos populacionais nos anos de 1900 (PLANO SALVADOR 500).

Entre os anos de 1940 e 1950 a população passa por outro expressivo crescimento, provocando um aumento da demanda por moradias e serviços, o que provou reflexos na estrutura urbana de Salvador e, consequentemente, no estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento urbano. O aumento das atividades industriais nas cidades vizinhas, a partir da década de 1970, iniciou um movimento em direção a novas centralidades, gerando uma integração maior da cidade de Salvador com regiões limítrofes como Lauro de Freitas e Simões Filho.

Como instrumentos de controle do desenvolvimento urbano foram formulados a Lei sobre o processo de Planejamento e Participação Comunitária (Lei 3.345 de 1983); a Lei de Ordenamento do Uso do Solo (Lei 3.377 de 1984) e o Plano Diretor da Cidade (Lei 3.525 de 1985) resultado dos incentivos e promovidos pelo Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERFHAU).

A década de 1980 marca um período de novo adensamento, verificando-se a necessidade de melhorar a mobilidade urbana, a oferta de estacionamento e disponibilizar plantas mais flexíveis nas edificações, o que provocou um fluxo da região do centro antigo para a direção do eixo Iguatemi - Av. Paralela, alterando a configuração de regiões como a Pituba, Iguatemi, Tancredo Neves e Paralela. Esse fluxo de adensamento continua na década de 1990, onde alguns bairros começam a apresentar sinais de saturação. O processo de ocupação extensiva e as vezes até irregular, ameaçando áreas de conservação ambiental (bairro de Valéria), continua no Subúrbio Ferroviário e em outros locais, como na orla atlântica, a ocupação do solo torna-se extensiva, caracterizada pela presença de condomínios residenciais unifamiliares.

Sob este cenário foi elaborado, em 2004, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) e, em 2008 com base na Lei Nº 7.400/2008 um novo PDDU, que contemplava os dispositivos previstos no Estatuto da Cidade e visava o controle do ordenamento e uso do solo na totalidade da cidade, dividindo-a em zonas de uso e especificando os devidos parâmetros de ocupação. Em 2012 o PPDU sofreu alterações por meio da Lei de Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo (LOUOS) - Lei nº 8.167/12 e nº 8.379/12, como também, da Lei nº 8.378/12 para incentivos à construção de hotéis. Cenário este que, segundo a publicação Plano Salvador 500, levou "[...] a cidade a um quadro de insegurança jurídica no que diz respeito às possibilidades de uso e ocupação do solo que refrearam a produção imobiliária e a plena aplicação dos instrumentos de política urbana." (PLANO SALVADOR 500, 2016, p. 9).

Nesse contexto, com uma população estimada da ordem de 2,7 milhões de pessoas e densidade demográfica 3.859,44 hab/km² (IBGE, 2010), em 2016, iniciam-se os trabalhos de revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e da Lei de Ordenamento, Uso e Ocupação do Solo aprovados, respectivamente, pelas Leis nº 9.069 /2016 e 9.148 /2016.

O PDDU (2016) tem como base os fundamentos expressos na Constituição Federal, na Constituição do Estado da Bahia, na Lei Orgânica do Município de Salvador, no Estatuto da Cidade e integra o Plano Salvador 500[9] articulando-se com a "visão estratégica para o Município até 2049, com o Planejamento Metropolitano e com os Planos dos demais municípios da Região Metropolitana de Salvador" (PDDU, 2016, p. 1).

Com o objetivo de definir as principais características e restrições no que se refere a ocupação e forma urbana o Município de Salvador foi dividido em doze zonas de uso[10] (Fig. 4).

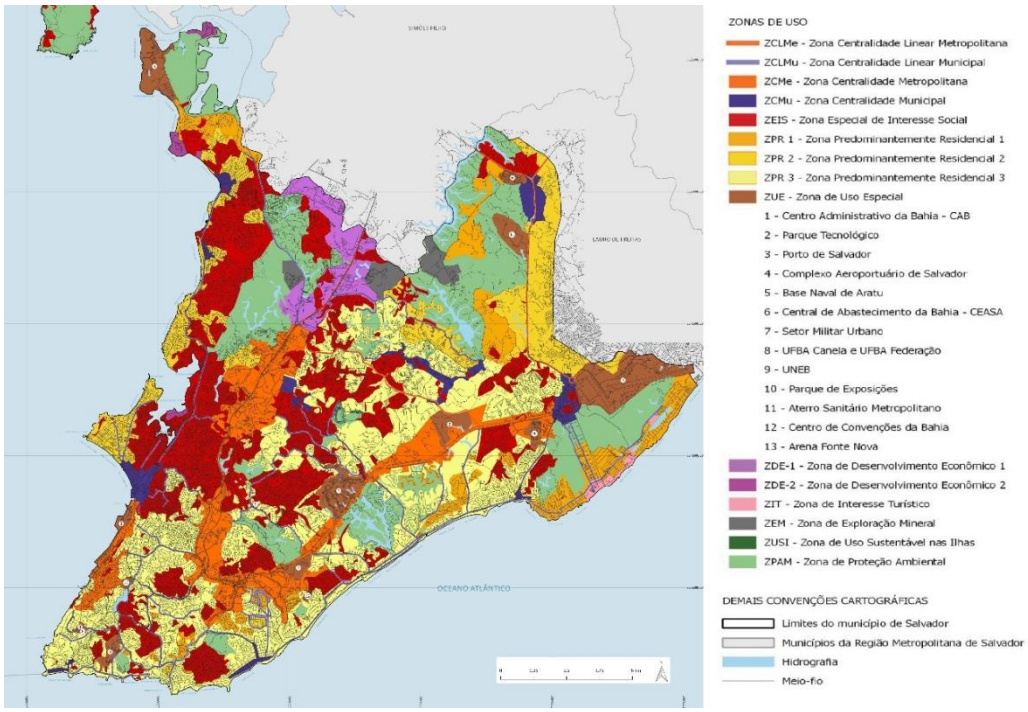


Figura 4–Zonas de uso do Município de Salvador
Fonte: Adaptado de Mapa 1A – Anexo 2 da LOUOS, 2016.

O novo PDDU promoveu, dentre outras, alterações como: a alteração do modelo físico-territorial por meio do macrozoneamento (macroáreas e zonas de uso) que, aliado a outros instrumentos, direcionará o desenvolvimento urbano; a extinção do zoneamento que trazia exclusividade de usos, a exemplo da antiga ZEU – Zona de Uso Exclusivamente Uniresidencial; a criação de Zonas Centralidades, regiões estratégicas da cidade para onde converge o maior fluxo de pessoas e onde deve existir maior permissividade de atividades e densidades construtivas; a definição de três coeficientes de aproveitamento – mínimo, básico e máximo a serem utilizados de forma articulada à aplicação dos demais instrumentos da política urbana e parâmetros urbanísticos de ocupação do solo (PAES, 2016).

Quanto ao gabarito das edificações, apresentado na Fig. 5, na área de Borda da Baia de Todos os Santos (BTS), foram mantidos os gabaritos atuais, incorporando regras estabelecidas na Lei nº 3.289 de 1983 (Proteção Cultural e Paisagística do Centro Histórico e arredores). Já no trecho denominado de Borda Atlântica, as restrições de altura foram divididas em quatro faixas, sendo a primeira no limite das áreas urbanizáveis próxima a área de praia, visando o não sombreamento das areias da praia no período de 9h00 às 15h, como também, resguardar o conforto ambiental urbano (PDDU, 2016).

Segundo o Artigo 275, item III, nas quadras localizadas próximas ao mar, como incentivo à regeneração urbana por meio da substituição de edificações deterioradas ou ocupação dos espaços subutilizados será permitido "[...] superar o limite de gabarito em até 50% (cinquenta por cento) daquele estabelecido [...]" (PDDU, 2016, p. 142).

[9]Art. 2º - Parágrafo único - "O Plano Salvador 500 é o plano estratégico de desenvolvimento para Salvador, com horizonte até o ano de 2049, que incorpora as diretrizes e estratégias de desenvolvimento socioeconômico, cultural e urbano-ambiental institucionalizadas no PDDU, desdobrando-as em programas, projetos e ações com objetivos, indicadores e metas de curto, médio e longo prazo, e estabelece instrumentos de gestão, de monitoramento e de avaliação." (PDDU, 2016, p.1).

[10] I - ZPR – Zona Predominantemente Residencial; II - ZEIS – Zona Especial de Interesse Social; III - ZCMe – Zona Centralidade Metropolitana; IV - ZCMu – Zona Centralidade Municipal; V - ZCLMe – Zona Centralidade Linear Metropolitana; VI - ZCLMu – Zona Centralidade Linear Municipal; VII - ZUSI – Zona de Uso Sustentável nas Ilhas; VIII - ZDE – Zona de Desenvolvimento Econômico; IX - ZIT – Zona de Interesse Turístico; X - ZEM – Zona de Exploração Mineral; XI - ZUE – Zona de Uso Especial; XII - ZPAM – Zona de Proteção Ambiental (LOUOS, 2016).

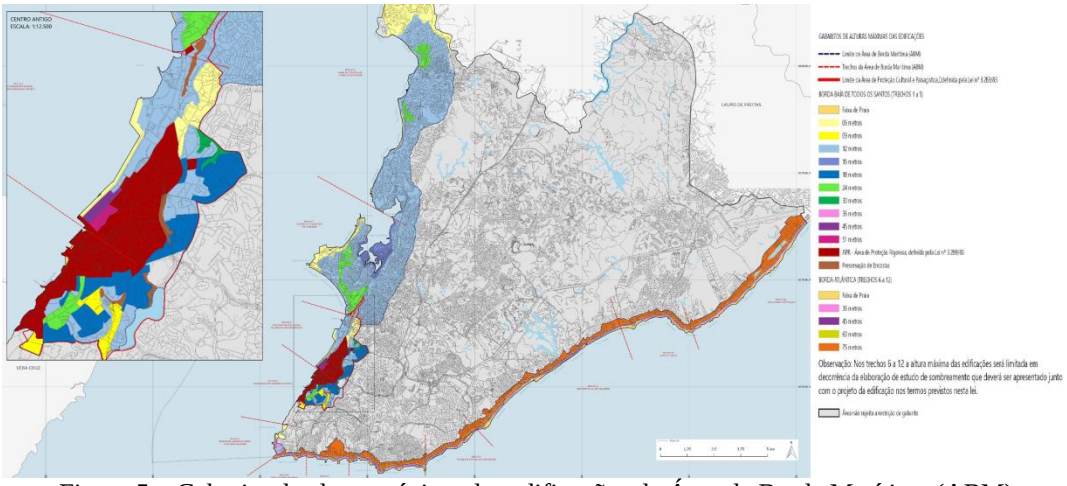


Figura 5 – Gabarito de altura máxima das edificações da Área de Borda Marítima (ABM)
Fonte: Adaptado de Mapa 3 – Anexo 2 da LOUOS, 2016.

O que se percebe na análise dos parâmetros urbanísticos citados é que, embora exista o incentivo ao uso de energias renováveis, não são especificados índices que restrinjam o sombreamento entre edificações para que o uso dos sistemas de geração fotovoltaica possa ser maximizado.

A seção a seguir trata de um estudo de caso de sombreamento realizado em uma pequena parte do bairro da Barra, com fins de verificar a viabilidade na instalação de sistemas fotovoltaicos nas edificações.

5. OBJETO DE ESTUDO

O bairro da Barra (Fig. 6) possui uma localização privilegiada, no extremo sul da península da cidade, tendo de um lado a Baía de Todos os Santos e de outro o Oceano Atlântico. Além da paisagem, possui um rico acervo histórico e arquitetônico como os Fortes de São Diogo e Santa Maria, bem como o Farol da Barra, um dos pontos turísticos mais famosos da cidade.

Figura 6 – Bairro da Barra – Salvador (BA)
Fonte: Disponível em: <http://www.bahia-turismo.com/salvador/barra/barra.htm>. Acesso em 12 out. 2017.

Conforme classificação do PDDU (2016) o bairro encontra-se na Zona Centralidade Municipal – ZCMu, onde se concentram as atividades administrativas, financeiras, de prestação de serviços diversificados, atividades comerciais diversificadas, de âmbito municipal e regional, bem como as de uso residencial, geralmente instaladas em áreas com fácil acessibilidade, por vias estruturais e por transporte coletivo de passageiro de média e alta capacidade. São classificadas em 2 (duas) categorias, diferenciadas pela intensidade de ocupação: ZCMu-1: Ipitanga /CIA Aeroporto e ZCMu-2: Barra e Pituba.

Ainda, segundo o PDDU (2016):

> As ZCMu-2 compreendem as centralidades existentes e estruturadas nas imediações dos corredores de transporte coletivo de passageiro de média capacidade, compreendendo atividades comerciais diversificadas e de prestação de serviços diversificados e por equipamentos de saúde, educação, dentre outros, de atendimento à população moradora, bem como o uso residencial (PDDU, 2016, p. 91).

Na Fig. 7 são apresentados os parâmetros urbanísticos atuais para o bairro da Barra, conforme especificado no PDDU (2016).

TIPO DE ZONA	ZONA DE USO	Coeficiente de Aproveitamento			Índice de Ocupação Máxima	Índice de Permeabilidade Mínima	Recuos Mínimos (em metros)			Quota Máxima de terreno por unidade (m²)
		CA Mín	CAB	CAM			Frente	Laterais	Fundo	
ZCMu	ZCMu 1	0,20	1,00	2,00	0,60	0,2	4,00 (c)	1,50 (e)	2,50 (f)	NA
	ZCMu 2	0,30	1,50	3,00	0,60	0,20	4,00 (c)	1,50 (e)	2,50 (f)	

TIPO DE ZONA	ZONA	Frente mínima (m)	Área mínima (m²)
ZCMu	ZCMu 1 - Ipitanga	20,00	500,00
	ZCMu 2	12,00	360,00

Figura 7 – Parâmetros Urbanísticos para o bairro da Barra
Fonte: PDDU, 2016.

O modelo geométrico utilizado (Fig. 8), desenvolvido na ferramenta SketchUp pro 2017, considera um pequeno trecho localizado entre a Av. Oceânica, Farol da Barra, Rua Afonso Celso e Rua Arthur Neiva, escolhido devido à sua localização, diversidade de usos (uso misto, exclusivamente residencial e exclusivamente comercial) e gabaritos.

Figura 8 – Modelo geométrico do trecho objeto de estudo
Fonte: LCAD (âmbito do Ateliê Digital Integrado), 2017.

Para a análise do sombreamento entre as edificações foram escolhidos os solstícios de verão e inverno nos horários de 9h e 15h, indicados para as análises de insolação no PDDU. Assim, verifica-se que grande parte das coberturas e fachadas seriam sombreadas no período da manhã devido ao pequeno afastamento entre as edificações. Já no período da tarde o impacto nas coberturas é bem menor (Fig. 9).

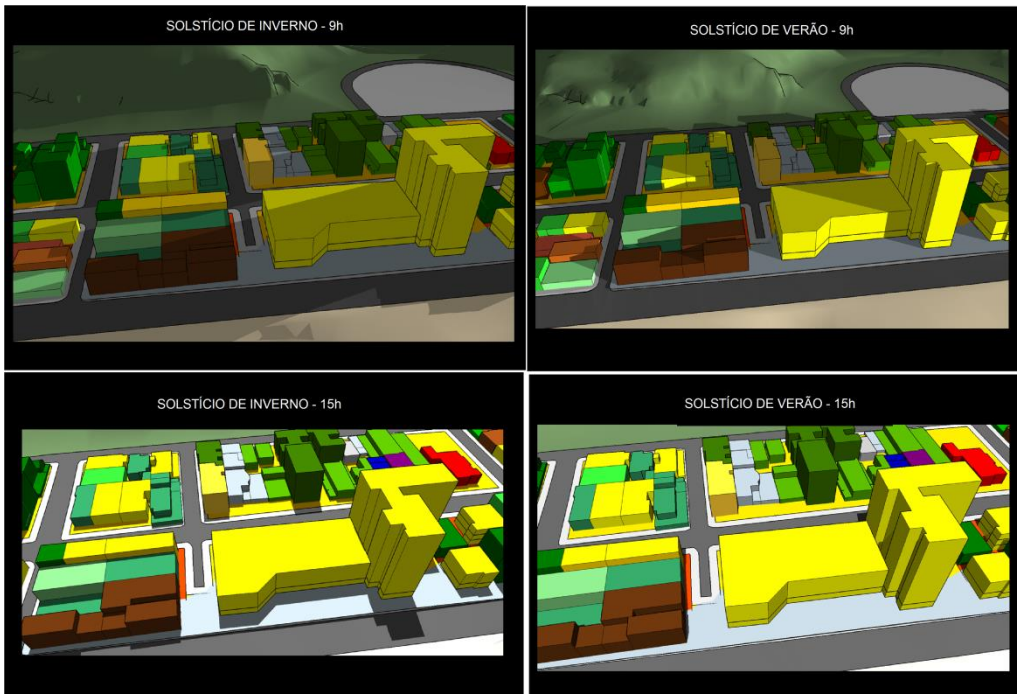


Figura 9 – Recorte do estudo de sombreamento
Fonte: Andrea Bastian, 2017.

Devido à largura das ruas, existe pouco sombreamento entre edificações de quadras consecutivas, no período da tarde tanto no solstício de inverno quanto no solstício de verão.

Vale salientar que, segundo a LOUOS de 2012, a barra pertencia a Zona Predominantemente Residencial[11] (ZPR – 5), obedecendo as restrições (Fig. 10):

ZONAS DE OCUPAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	RESTRIÇÕES DE OCUPAÇÃO										
		CAB		CAM		IP	IO	LOTE MÍNIMO	TESTADA MÍNIMA	RECUO MÍNIMO		
		RESIDENCIAL	NÃO RESIDENCIAL	RESIDENCIAL	NÃO RESIDENCIAL					FRONTAL(1)	LATERAIS(2)	FUNDO
ZPR-5	Canela, Graça, Barra, Brotas, Cabula, Rio Vermelho, Nazaré, Barbalho	1,50	1,25	2,50	-	0,20	0,50	360,00	12,00	5,00	1,50	2,50

Figura 10 – Parâmetros Urbanísticos para o bairro da Barra
Fonte: Anexo 4 da LOUOS, 2012.

Comparando-se com os parâmetros atuais, verifica-se que o Recuo Frontal Mínimo (RFM) passou de 5,00 m para 4,00 m, o Coeficiente de Aproveitamento Máximo de 2,5 para 3,0, o Índice de Ocupação Máxima[12] de 0,5 para 0,6 e o Índice de Permeabilidade Mínima se manteve em 0,2.

Essas alterações irão impactar no afastamento entre as edificações e, consequentemente, no sombreamento provocado. Nos estudos existentes sobre o efeito dos parâmetros urbanos na geração de energia, citados na Seção 3, percebe-se que parâmetros como a densidade, a altura construída, a distância entre os edifícios, a área de envoltória, a forma geométrica e orientação, são cruciais quando se trata de disponibilidade de luz e sol nas superfícies construídas; assim sendo, devem ser pensados de forma estratégica para que se tenha o melhor aproveitamento possível.

Para Van Esch *et al.* (2012) a distância entre edificações vizinhas é um dos parâmetros de maior peso na disponibilidade de radiação solar e, para o caso em estudo o RFM diminui e, consequentemente os edifícios ficarão mais próximos, diminuindo a disponibilidade de radiação solar.

Na maioria dos casos, a cobertura é a superfície do edifício com a maior exposição à radiação solar, mas em alguns casos o sombreamento de edificações vizinhas é um fator complicador. Na Fig. 9 pode ser visto casos onde este sombreamento acontece no período da manhã (Solstício de inverno e verão 9h).

As fachadas são menos expostas e recebem menores valores de radiação variando também com a sua orientação. O conhecimento dessas variáveis possibilita definir as melhores orientações e a alturas das edificações que produzam o menor sombreamento possível e os posicionamentos mais adequados para os sistemas BIPV. Como visto nas Fig. 8 e Fig. 9, o trecho estudado apresenta certa homogeneidade nas alturas das edificações, o que segundo Cheng *et al.* (2006) diminuiria a possibilidade de geração de energia.

Assim, faz-se necessária a simulação com os diferentes parâmetros urbanísticos para que se possa determinar os valores ideais no que tange à otimização do potencial de geração de energia solar fotovoltaica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fato que a utilização de fontes de energia renováveis, como a fotovoltaica, é extremamente viável e disponível em qualquer parte do país. Com a diminuição dos custos dos equipamentos, mecanismos de financiamento para a compra de sistemas fotovoltaicos e a adoção de medidas que favorecem a compensação de energia, como no caso dos sistemas conectados à rede no âmbito da microgeração e minigeração distribuída, o uso da tecnologia fotovoltaica vem, cada vez mais, sendo utilizado.

Para as edificações que estão inseridas no contexto urbano, uma outra questão importante é o impacto do sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos instalados provocando redução da energia elétrica gerada. A análise correta durante a fase de projeto pode evitar a redução do potencial de aproveitamento da radiação solar incidente, prever possíveis perdas e evitar sub ou super dimensionar o sistema. Para tanto, faz-se necessária uma nova abordagem, considerando os atuais parâmetros urbanísticos, levando-se em consideração o volume, a forma e a orientação das edificações em relação ao contexto urbano em que estão inseridas, para que se tenha projetos mais conscientes e sustentáveis.

Agradecimentos

A Equipe do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) por disponibilizar o modelo geométrico do trecho utilizado neste artigo.

REFERÊNCIAS

[11] Zona Predominantemente Residencial (ZPR) – Zona na qual é admitida a convivência dos usos residenciais predominantes com outros usos, de natureza diversa, assegurada a compatibilidade entre si (LOUOS, 2012, Anexo 1, p. 16).

[12] Parâmetro urbanístico que expressa a relação máxima entre a área de projeção da edificação e a área do terreno (LOUOS, 2012, Anexo 2, p. 9).

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**, 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2016.

Breuste, Jürgen; Riepel, Jürgen. **Development of the EcoCity – Why and where sustainable urban development**. In: SINGH, A. L.; SAHAB, F. (Org): Urban Environmental Management. B. R. Publishers. New Delhi, 2008.

Cekić Nikola; et al.. **Application of solar cells in contemporary architecture Contemporary Materials**. In: Renewable energy sources, v. VI−2, 2015, p.104 – 114. Disponível em: <http://savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/casopisi/6_2/3-cekic.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

Cheng, Vicky et al. Urban Form, Density and Solar Potential. **Plea2006: The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture.** Geneva, p. 1-6. set. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280037987>. Acesso em: 20 ago. 2016.

Chivelet, Nuria Martin; solla, Ignacio Fernandez. **Técnicas de vedação fotovoltaica na Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Debbarma, Mary; Sudhakar, K.; Baredar, Prashant. Thermal modeling, exergy analysis, performance of BIPV and BIPVT: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews.** p. 1276-1288. fev. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.035>. Acesso em: 08 jul. 2017.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016** Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2015&anoFimColeta=2016>. Acesso em: 8 jul. 2017.

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. **Plano Salvador 500.** Secretaria Municipal de Urbanismo – SUCOM, 2016.

Kanters, Jouri; Wall, Maria. The impact of urban design decisions on net zero energy solar buildings in Sweden. **Urban, Planning And Transport Research: An Open Access Journal.** p. 312-332. out. 2014. Disponível em: <DOI: 10.1080/21650020.2014.893199>. Acesso em: 08 jul. 2017.

Montavon, Marylène. **Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Potential.** 2010. 255 f. Tese (Doutorado) - Faculté Environnement Naturel, Architectural Et Construit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2010. Disponível em: <https://infoscience.epfl.ch/record/145897/files/EPFL_TH4657.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2017.

Pereira, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2016.

Salvador. **LOUOS – Lei de Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo de Salvador**. Lei nº 9.148 /2016. Poder Legislativo, BA.

_____. **LOUOS – Lei de Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo de Salvador**. Lei nº 8.167/2012. Poder Legislativo, BA.

_____. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Salvador (PDDU)**. Lei nº 9.069 /2016. Poder Legislativo, BA.

Van Esch, M. M. E.; LOOMAN, Remco; HORDIJK, G. J.. The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. **Energy And Buildings.** v. 47, p. 189-200. dez. 2011. Disponível em: <DOI10.1016/j.enbuild.2011.11.042>. Acesso em: 08 jul. 2017.

REFLECTION ON THE SALVADOR URBAN PARAMETERS AND THE USE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

Abstract. *Currently, 50% of urban energy consumption comes from buildings. In this context, there is a growing search for technologies that can provide clean energy and do not cause impacts to the environment, mitigating the effects of climate change (greenhouse effect) caused by emissions as well as lowering energy costs. The urban form (urban structure and morphology of buildings) is a priority issue to be discussed in the case of photovoltaic energy generation in cities, since it involves complex issues and systems aimed at urban modeling. This article presents the current urban parameters, analyzes the shading, considering as object of study a small area of the neighborhood of Barra - Salvador (BA), where it is verified that although the coverage of the buildings is the surface of the building with the greatest exposure to solar radiation, in some cases, this does not occur due to the proximity of neighboring buildings, and brings a reflection between the urban parameters adopted for the city of Salvador (Bahia) and the potential of photovoltaic energy generation in buildings.*

Key words*: Photovoltaic Solar Energy, Urban Master Plan, Salvador´s Urban Parameters.*