



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VII ELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

## **ÍNDICES EDILÍCIOS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ANÁLISE URBANA E DE EDIFICAÇÕES**

**Luiza Denardi César (1), Stela Letícia Bisinotto (2), Juliana Antunes de Azevedo (3), Léa Cristina Lucas de Souza (4)**

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil,  
Luiza.denardi@gmail.com

(2) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil,  
stelabisinotto@ig.com.br

(3) Geógrafa, Mestre em Engenharia Urbana, julianaantunes@yahoo.com.br

(4) Dr., Professora do Departamento de Engenharia Civil, leacrist@ufscar.br

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Rodovia Washington Luís (SP-310), Km 235, CEP 13565-905 - São Carlos - São Paulo – Brasil, Tel.: (16) 3351 8261

### **RESUMO**

Esse artigo propõe a aplicação de índices edilícios usualmente empregados na análise urbana e de edificações, como indicadores térmicos e de consumo de energia elétrica. Para isso, apresentam-se os resultados de pesquisas realizadas na cidade de São Carlos-SP, considerando duas escalas de abordagem: a meso-escala e a micro-escala. Para o estudo em meso-escala, por meio de tratamento de imagem de satélite, aplica-se o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Para a análise em micro-escala determina-se o índice de aproveitamento (IA) médio das quadras e índices geométricos da envoltória (áreas de aberturas e fachadas). Os índices são comparados em função de parâmetros térmicos e do consumo de energia elétrica. Para a análise térmica realiza-se uma campanha de coleta de dados em pontos de controle, enquanto para o consumo de energia elétrica, dados disponíveis para 3600 domicílios foram mapeados e interpolados pelo método de krigagem. Dentre os resultados foi observado que o índice de vegetação (NDVI), na meso-escala possui uma relação direta com o consumo de energia, enquanto na micro-escala este mesmo índice tem menor significância. No caso do índice de aproveitamento, este em micro-escala apresentou influência direta na temperatura mínima do ar alcançada nos pontos de análise. Ainda na análise de índices geométricos da envoltória foi constatado que o consumo de energia elétrica é dependente de variáveis como a área de abertura e de fachadas, podendo variar o comportamento, conforme a orientação da fachada. Assim os resultados revelam que os índices podem adquirir um caráter mais abrangente, servindo como ferramenta importante na tomada de decisões.

Palavras-chave: Índice de vegetação, Índice de aproveitamento, Consumo de energia.

### **ABSTRACT**

This article demonstrates how building indexes usually applied in urban and building analysis can also be used as thermal and electric energy consumption indicators. For this purpose, results of researches conducted in the city of São Carlos-SP are presented, considering two levels of analysis: the meso-scale and the micro-scale. In the meso-scale, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated from a satellite image. In the micro-scale, average Floor Space Index (FSI) of urban blocks and the geometrical indexes for the building envelope (opening areas and facades) were calculated. The indexes are compared as a function of thermal parameters and electrical energy consumption. This thermal analysis required a data collection campaign in control points, whilst data of electric energy consumption available for 3600 residences were mapped and interpolated by kriging methods. In the results it was observed that de vegetation index (NDVI), in meso-scale has a direct influence in the energy consumption, and in the micro-scale it has a lower significance. In the case of the floor space index, in micro-scale it has direct influence in the minimum temperature reached in the control point. Still in the analyses of the rounding area geometrics indexes it was

contested that the energy consumption is dependent of the variables such as opening areas and façades, being able to have variations in its behavior, according to variation of the façades. For this matter the results suggest that the indexes studied can serve as important decision-making tools.

Keywords: Vegetation Index, Floor Space Index, Energy Consumption.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da Construção Civil é responsável por um grande consumo de recursos naturais e poluição ambiental, devendo se reorganizar para contribuir para o desenvolvimento sustentável da humanidade (LAUDARES; MUELLER, 2007).

No ambiente construído, o desenvolvimento sustentável, de acordo com Glicksman, Norford, e Greden (2001) envolve várias características, compreendendo a edificação propriamente dita, a localização e a malha urbana, o ciclo de vida e o impacto ambiental dos materiais utilizados, o consumo de energia e a poluição ambiental da edificação, o conforto e a produtividade dos usuários. Como o consumo de energia elétrica na fase de operação da edificação continua ao longo de sua vida útil, este apresenta grande representatividade no ciclo de vida de uma edificação.

No Brasil, as edificações residenciais, comerciais e públicas representam 44% do consumo de energia elétrica do país (BRASIL, BEN, 2009). Para otimizar esse consumo, ou seja, aproveitar melhor as características da edificação para diminuir o consumo de energia elétrica sem que o usuário se sinta desconfortável, deve-se buscar por desenvolvimentos de projetos mais eficientes energeticamente (LAMBERTS; TRIANA, 2007).

A premissa básica para que se obtenha eficiência energética nas edificações, consiste em conceber edificações que ofereçam conforto aos ocupantes, e isto, segundo John (2008), depende do alinhamento entre variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, de modo que as soluções arquitetônicas aproveitem da melhor forma possível as potencialidades climáticas locais, reduzindo a necessidade de equipamentos e, conseqüentemente, reduzindo o consumo de energia para obtenção de conforto. Assim, nesse contexto contemporâneo, identificar relações entre características do edifício e o consumo de energia elétrica pode colaborar na tomada de decisões projetuais que visem menor impacto ambiental.

Buscando-se estabelecer algumas dessas relações, este artigo procura apontar índices edilícios que permitem extrair informações sobre as tendências do consumo de energia, sendo consideradas a meso-escala (urbano) e a micro-escala (do edifício) de análise.

### 1.1 Considerações sobre índices edilícios

Índices edilícios são parâmetros do edifício que fornecem informações sobre suas características, uso e ocupação do solo, e que são aplicáveis no desenvolvimento de projetos e na implantação de assentamentos e edificações, ou ainda, em regularizações e gerenciamento do ambiente construído de uma forma geral. Incluem-se nessa categoria alguns parâmetros usualmente empregados por órgãos públicos para a aprovação e regularização de projetos, tais como: a taxa de ocupação, o índice de aproveitamento, o índice de área livre, índice de vegetação, taxa de impermeabilização, etc.

No caso específico desse artigo, são abordados: o índice de vegetação, o índice de aproveitamento e índices geométricos da envoltória (a saber: área de aberturas voltadas a determinada orientação e a porcentagem de fachadas voltadas a determinada orientação).

Para Jensen (2009), os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, entre outros. O índice de vegetação mede a densidade e as condições das superfícies com cobertura verde. Existem vários índices de vegetação e métodos de determinação por imagem de satélite, dentre eles o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é um dos mais utilizados. Backes (2010) esclarece que o mesmo consiste numa relação entre as medidas espectrais (reflectância) de duas bandas das imagens de satélite - a do infravermelho próximo e a do vermelho - e relaciona uma série de estudos para os quais esse mesmo índice foi aplicado.

Em termos ambientais e energéticos, a vegetação interfere direta ou indiretamente na temperatura do local, por meio de sombreamento ou evapotranspiração, respectivamente. Por esta razão, pode apresentar também relação com o consumo de energia, uma vez que esse está relacionado com a temperatura do ambiente construído.

Outro indicador de interesse climático-energético é o índice de aproveitamento. Esse representa a razão entre a área máxima total de construção (incluindo todos os pavimentos) e a área do lote. Normalmente

é aplicado por órgãos públicos em análises urbanas, porém raramente como indicador térmico. Em pesquisas de Giunta (2007) e de Sorano (2009), esses índices foram aplicados conferindo-lhe um caráter mais abrangente e considerando-se como denominador a área da quadra e não a área restrita do lote. Assim o índice de aproveitamento médio da quadra é determinado pelo índice de aproveitamento médio simplificado para cada quadra (Equação 1).

$$IA = \frac{(H_{\text{médiaquadra}} * A_{\text{construída}})}{A_{\text{totalquadra}}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

IA é o índice de aproveitamento médio da quadra

$H_{\text{médiaquadra}}$  é altura média da quadra em m

$A_{\text{construída}}$  é a área construída da quadra em  $m^2$

$A_{\text{totalquadra}}$  é a área total da quadra em  $m^2$

Aquela mesma pesquisa de Sorano (2009) mostra existirem relações importantes entre o índice de aproveitamento e alguns parâmetros térmicos, como a temperatura mínima e a amplitude térmica. Portanto, podendo ser relacionado ao consumo de energia elétrica.

Além desses índices de interface mais urbana, alguns índices do próprio edifício têm sua importância para as condições energéticas. Aqui chamados de índices geométricos da envoltória, a orientação de paredes e de aberturas, são determinantes diretos das condições térmicas e de iluminação natural no ambiente interno do edifício. As áreas de janela podem influenciar tanto positivamente, como negativamente um ambiente. Aberturas de janelas demasiadamente grandes aumentam o consumo de energia de um edifício por seu ganho térmico, enquanto as áreas pequenas diminuem a entrada de luz natural no interior dos ambientes. É pelas aberturas que a luz natural pode ser captada para dentro dos ambientes durante o dia, levando ao seu aproveitamento pelo usuário e colaborando para minimizar o consumo de energia que é provocado pela utilização de fontes artificiais de luz. Desta forma, a maior disponibilidade de luz natural pode reduzir a necessidade de serem acionados os mecanismos de iluminação artificial.

Apontadas por vários autores, as características geométricas da envoltória podem ser um indicador da eficiência energética do edifício. Al-Saadi (2006), por exemplo, verificou a influência da relação entre a área de janela e a área de parede para estudar a melhoria das condições térmicas internas e aperfeiçoar o consumo de energia em edifícios residenciais na Arábia Saudita. Gilg e Valentine (2004) demonstraram que a razão entre a área de paredes e a área de piso ( $A_{\text{parede}}/A_{\text{piso}}$ ) é um fator capaz de identificar o potencial de consumo de um edifício, de forma que quanto maior seu valor, maior a energia requerida para carga de aquecimento e resfriamento. Ghisi e Tinker (2001), estudando o consumo em edifícios de escritórios, indicam que a razão entre a área de fachada e o volume do ambiente pode ser um fator utilizado para comparar o consumo de energia em ambientes de diferentes tamanhos. O mesmo estudo aponta que, quanto maior o ambiente, menor o consumo de energia por área de piso, e também, que, quanto menor o ambiente e menor sua área de fachada, maior sua área de janela ideal.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse artigo é determinar alguns índices edilícios que permitem extrair informações sobre as tendências do consumo de energia em função das características do ambiente construído, tanto na escala urbana, como na escala da edificação. Para tal é utilizado um estudo de caso sobre o consumo de energia elétrica na cidade de São Carlos-SP e também resultados de vários estudos integrados e em andamento, baseados nos trabalhos de Azevedo (2010), Bisinotto (2010), César (2010) e Souza (2010).

## 3. METODOLOGIA

A metodologia desse estudo baseia-se em duas etapas básicas. A primeira etapa considera a investigação em meso-escala, mapeando o índice de vegetação e o consumo de energia elétrica para toda a área de estudo. A segunda etapa corresponde ao estudo em micro-escala, que tem ênfase, tanto na interface urbana (por uma análise térmica por meio do índice de aproveitamento), como nas considerações específicas do edifício (por uma análise energética, por meio de índices geométricos da envoltória).

Tomou-se como área de estudo a cidade de São Carlos-SP e para o desenvolvimento das etapas foram utilizadas informações da cobertura do solo da sua área urbana, extraídas de imagens do satélite Landsat 7 (disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa Espaciais – INPE), e dados de consumo de energia elétrica em reais disponibilizados pela pesquisa de Silva (2008). Cada uma das bases recebeu tratamento em uma plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas) para obtenção de informações específicas.

Paralelamente, outros procedimentos foram necessários, tais como: o levantamento de características do entorno urbano, a determinação de índices e a coleta de dados térmicos. Esses procedimentos são detalhadamente apresentados nos tópicos sub-sequentes.

### 3.1 Área de estudo e Pontos de controle

A área de estudo corresponde à cidade de São Carlos, que se encontra no interior do estado de São Paulo, entre as coordenadas 21°35'45" e 22°09'30" de latitude Sul e 47°43'04" e 48°05'26" de longitude Oeste (Figura 1). O município de São Carlos está na borda oeste das Cuestas Basálticas, próximo ao planalto ocidental. A altimetria do município varia cerca de 480 m, sendo as menores cotas de 520 m e as maiores 1000 m.

Inicialmente, foram selecionados três pontos de controle dentro da malha urbana e um ponto de controle periférico (estação do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia). A seleção dos pontos de controle internos a malha urbana baseou-se na proximidade entre eles, evitando-se a influência da variação topográfica e das regiões de diferentes classes de renda. Esses pontos de controle serviram de base para a coleta de dados térmicos.

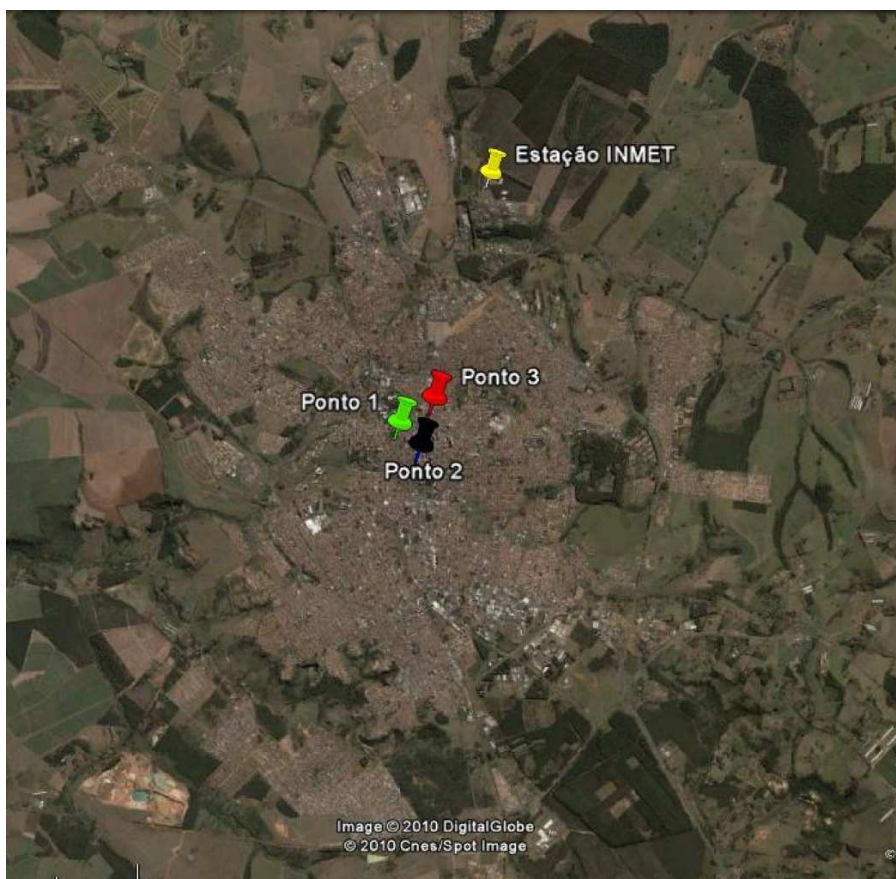


Figura 1 – Imagem da cidade de São Carlos com posicionamento de pontos de controle (ADAPTADO MAPS, 2010).

Posteriormente, para a segunda etapa do estudo de micro-escala, no estudo mais específico da envoltória dos edifícios, foram selecionadas cinco edificações residenciais em um mesmo bairro. Nesse caso, foram escolhidas residências que pudessem ser comparáveis quanto à tipologia construtiva (alvenaria e cobertura), quanto à orientação em relação ao norte e cor externa. Além disso, em função do consumo também decorrer de equipamentos eletro-eletrônicos instalados nas residências, foram verificadas as semelhanças no número de equipamentos eletro-eletrônicos. Nesse caso, as residências selecionadas possuem: 1 chuveiro elétrico, 1 freezer; 1 aparelho de televisão; 1 máquina de lavar roupa; 1 microondas.

### 3.2 Procedimentos e determinação de índices

Para estabelecer uma relação entre a cobertura vegetal e o consumo de energia elétrica em meso-escala, o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) foi aplicado. Para isso o cálculo foi realizado por meio da aplicação das bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho) do Landsat 7. A escala desse índice varia de -1 a 1. Assim foi possível estabelecer um mapeamento do índice de vegetação por toda a extensão da área urbana.

Um mapeamento do consumo de energia elétrica foi também realizado para permitir a sua comparação e análise em função daquele índice de vegetação. Os dados de consumo de energia elétrica baseiam-se no levantamento realizado por Silva (2008) em sua pesquisa Origem-Destino para São Carlos. São dados de 3600 domicílios, distribuídos homogeneamente pela área urbana e que se referem ao consumo de energia elétrica em reais para o mês do levantamento. Os dados foram georeferenciados em uma plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas), ao qual foi também inserida uma planta cadastral da área urbana e possibilitada a visualização do posicionamento de cada um dos domicílios em relação à quadra.

Esse mapeamento do consumo de energia elétrica foi realizado por meio da técnica de interpolação por krigagem. Esta técnica é uma das ferramentas da geoestatística, utilizadas como um dos principais interpoladores para análise de dependência espacial. Segundo esta técnica, um grupo de valores está relacionado de alguma forma à sua distribuição espacial, conferindo aos valores observados maior semelhança com aqueles que se encontram a uma distância mais próxima, do que com os que se encontram mais distantes.

Em micro-escala, nos pontos de controle foram instalados data-loggers à altura de 3,5 m do solo. Esses aparelhos foram programados para registrar temperaturas do ar de hora em hora, em períodos específicos do ano: 28/04/2010 a 04/05/2010; 06/06/2010 a 12/06/2010; 22/06/2010 a 28/06/2010. A partir das temperaturas do ar, foram determinadas as temperaturas máximas, médias, mínimas e a amplitude térmica de cada um desses períodos de medição. Esses parâmetros foram analisados em função do índice de aproveitamento dos pontos de controle. Nesse caso, para cada um dos três pontos de controle para a coleta de dados térmicos foi realizado um levantamento em campo para estimativa das alturas, áreas e número de pavimentos das edificações do entorno dentro das quadras circunvizinhas. Esses dados compuseram o banco de dados em SIG, cujas ferramentas estatísticas permitiram o cálculo do índice médio de aproveitamento (IA) da quadra (conforme cálculo mencionado no item 1.1).

Complementando o estudo em micro-escala, no caso das cinco residências selecionadas para análise do papel da envoltória no consumo de energia elétrica, foram feitos levantamentos de suas dimensões *in loco*, determinando-se a área dos lotes, das edificações, das fachadas e das aberturas. Os dados levantados foram inseridos em uma planilha eletrônica, por meio da qual foram calculadas: a área total da envoltória, as áreas de cada fachada orientada a NE, NO, SE e SO, a porcentagem de cada fachada em relação ao total de fachadas, a área das aberturas e a porcentagem de aberturas em relação à porcentagem das fachadas.

## 4. RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

Com base no cálculo do índice de vegetação para toda a área urbana, foi possível o desenvolvimento do mapa apresentado na Figura 2. Enquanto, por meio do método de interpolação por krigagem, foi elaborado o mapa de consumo de energia elétrica, conforme apresentado na Figura 3. Observação: na Figura 3, as áreas em branco correspondem a pontos para os quais não há dados de levantamentos do consumo e a interpolação não resulta em informação útil, por se tratarem de áreas de borda.

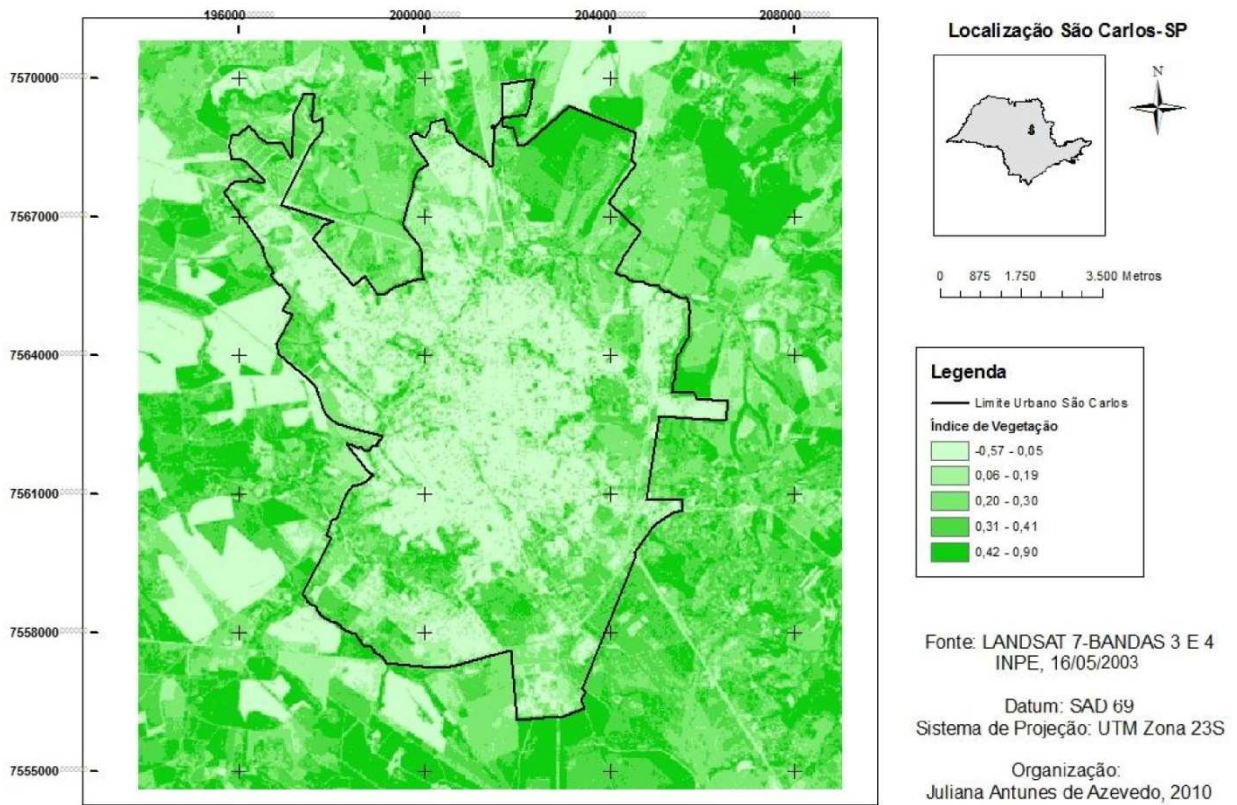


Figura 2 – Mapa de índice de vegetação (NDVI) para a cidade de São Carlos-SP (AZEVEDO, 2010).

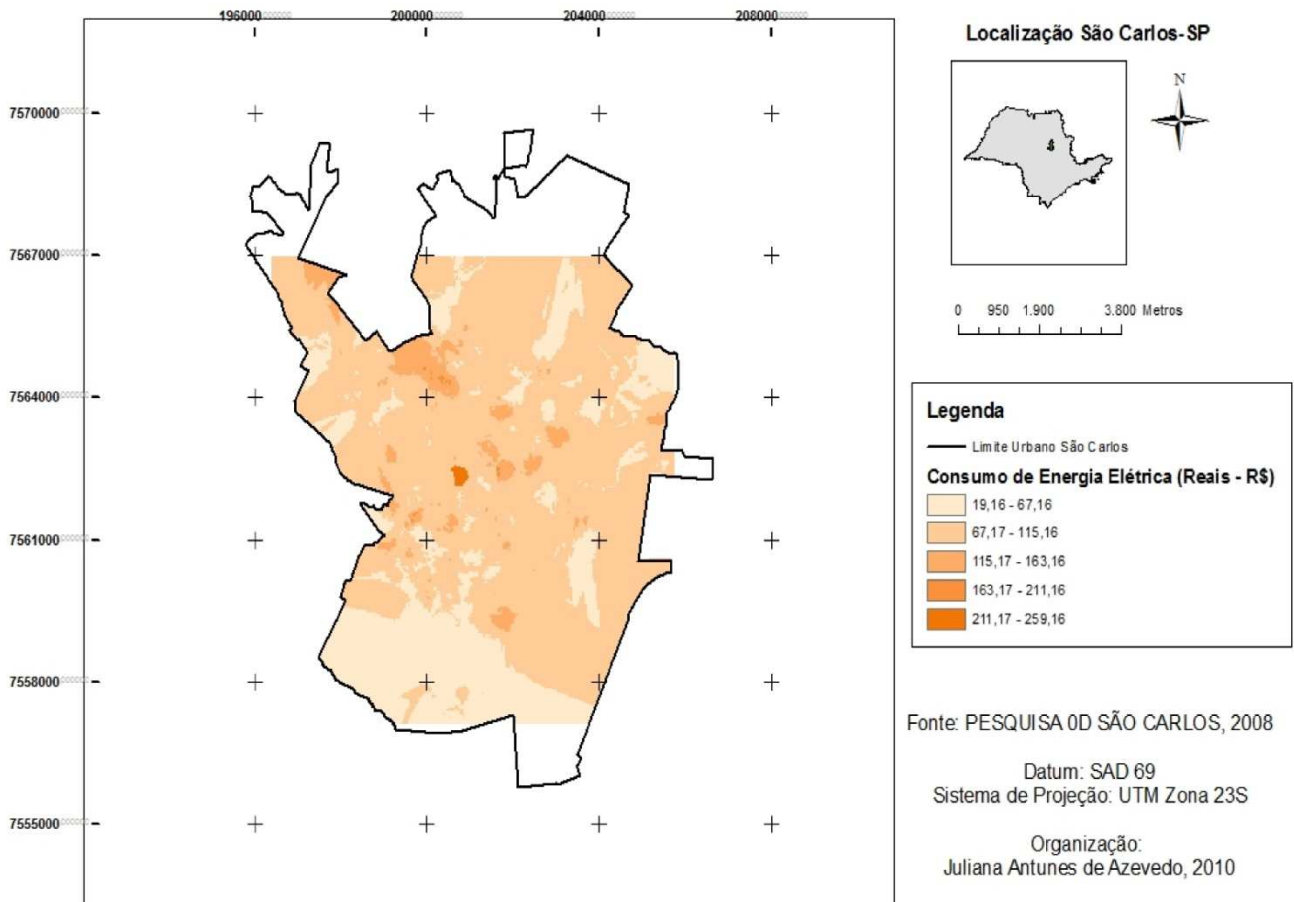


Figura 3 – Mapa de consumo de energia elétrica para a cidade de São Carlos-SP (AZEVEDO, 2010).

Uma análise em meso-escala, quando comparados os mapas das Figuras 1, 2 e 3, demonstra que os menores índices de vegetação tendem a ser encontrados na área de maior concentração de consumo de energia, que corresponde também à área de maior concentração de edificações. Além disso, o mapa de consumo de energia elétrica demonstra também que, a maior frequência de ocorrência de níveis mais baixos e intermediários de consumo ocorre nas regiões mais periféricas da área urbana, cujos índices de vegetação tendem a ser menores.

Considerando-se que a literatura demonstra existir mitigação da temperatura do ar em decorrência da presença de vegetação, pode-se esperar que as regiões de maior índice de vegetação apresentem temperaturas urbanas mais amenas. Nesse caso, o consumo de energia elétrica acaba por apresentar relação direta com a vegetação, em decorrência também da temperatura do ar por ela influenciada. Uma relação mais detalhada dessa relação para a área de estudo pode ser verificada no trabalho de Azevedo (2010).

No caso da meso-escala, o índice de vegetação (NDVI) mostrou-se, portanto, um parâmetro importante como ferramenta para o planejamento urbano, que vise uma abordagem energética sob o ponto de vista da energia elétrica. Destaca-se, no entanto, que não foi feita aqui nenhuma relação com o poder aquisitivo ou a forma de ocupação e uso dos espaços, que seriam variáveis relevantes na determinação do consumo de energia elétrica. Estabelecida esta limitação do estudo, desde que regiões apresentem características de fato comparáveis (similaridade no poder aquisitivo, na população, na forma de ocupação, no uso, etc), pode-se esperar que quanto maior o NDVI, menor o consumo de energia elétrica.

Este índice, no entanto, pelo próprio algoritmo adotado para tratamento de imagens de satélite, não permite boa aderência para análise em micro-escala. Isto pode ser constatado pelos resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tendência de comportamento do índice de vegetação NDVI e dos parâmetros climáticos observados nos pontos de controle.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Índice de Vegetação	Intermediário	Maior	Menor
Temperatura Média	Menor Média	Maior Média	Média Intermediária
Temperatura Máxima	Menor Máxima	Maior Máxima	Máxima Intermediária
Temperatura Mínima	Menor Mínima	Mínima Intermediária	Maior Mínima

Na Tabela 1 verifica-se uma inconstância de comportamento entre o NDVI e as tendências de ocorrência das temperaturas médias, máximas e mínimas, a saber:

- o ponto 1, que obteve NDVI de valor intermediário, apresentou os menores valores de temperaturas média, máxima e mínima;
- o ponto 2, que obteve NDVI maior, apresentou maiores temperaturas médias e máximas e menores temperaturas mínimas;
- o ponto 3, de menor valor do NDVI, apresentou valores intermediários para as temperaturas médias e máximas, e os maiores valores das temperaturas mínimas.

A influência térmica do ambiente construído, no caso da micro-escala, foi aqui melhor indicada pelo índice de aproveitamento (IA) médio das quadras. Isso foi especialmente notado no caso das temperaturas mínimas, conforme pode ser constatado na Figura 4.

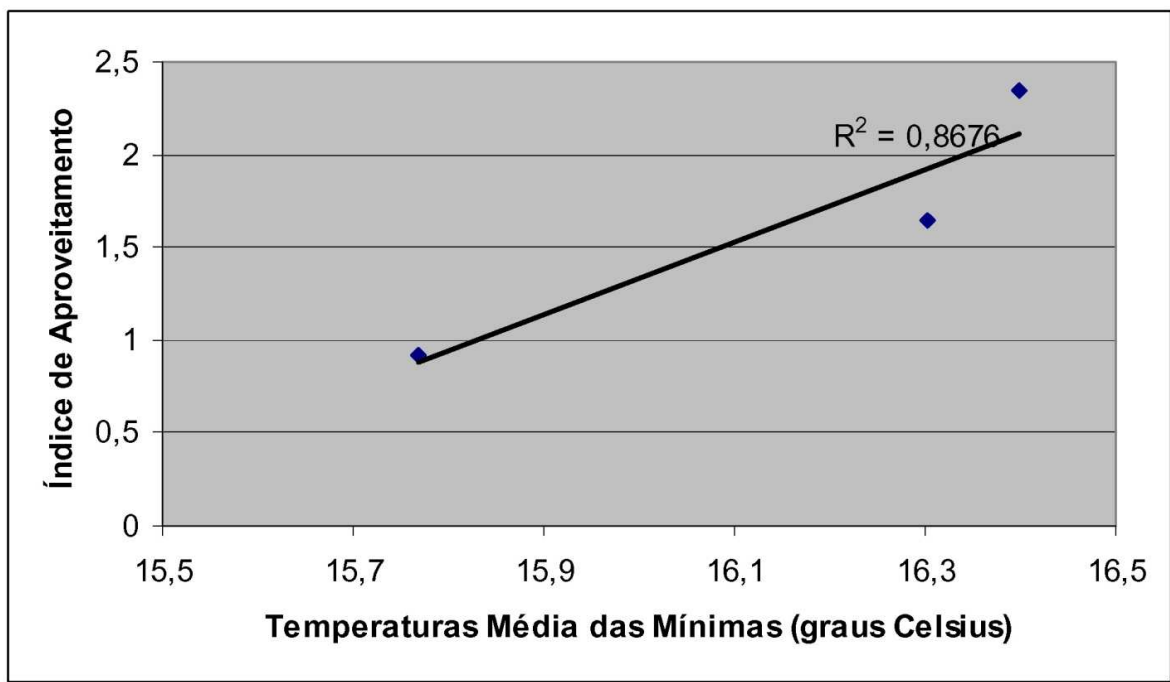


Figura 4 – Relação entre as médias das temperaturas mínimas observadas e o índice de aproveitamento de cada ponto de controle.

A Figura 4 demonstra a correlação existente entre as temperaturas mínimas observadas e os índices de aproveitamento calculados para os pontos de controle. Com um alto coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,87, verificou-se que quanto maior o índice de aproveitamento, maior foi a temperatura mínima alcançada. Essa é uma informação que demonstra a importância deste índice e a sua aplicabilidade no planejamento urbano. Normalmente este é um índice utilizado por órgãos públicos para a análise de projetos e que poderia ter sua aplicação estendida para melhor consideração quanto ao ambiente térmico urbano.

Esse resultado reforça uma tendência já levantada por Souza, Nakata e Marques (2010), quando demonstraram que, para as diversas escalas de análise (1,80 m, 15m e 30m), houve uma tendência de aumento da temperatura do ar à medida que o IA também aumentava. Naquele estudo foram encontrados coeficientes de determinação de até 0,93 para a escala do pedestre, quando estudado um bairro residencial na cidade de Bauru.

Ainda para o estudo em micro-escala com informações sobre o consumo de energia elétrica de edificações residenciais na cidade de São Carlos, os resultados aqui alcançados revelam também a importância de índices que possam servir de parâmetro para a avaliação da envoltória do edifício em si. Na Figura 5 e 6 alguns desses resultados são demonstrados.



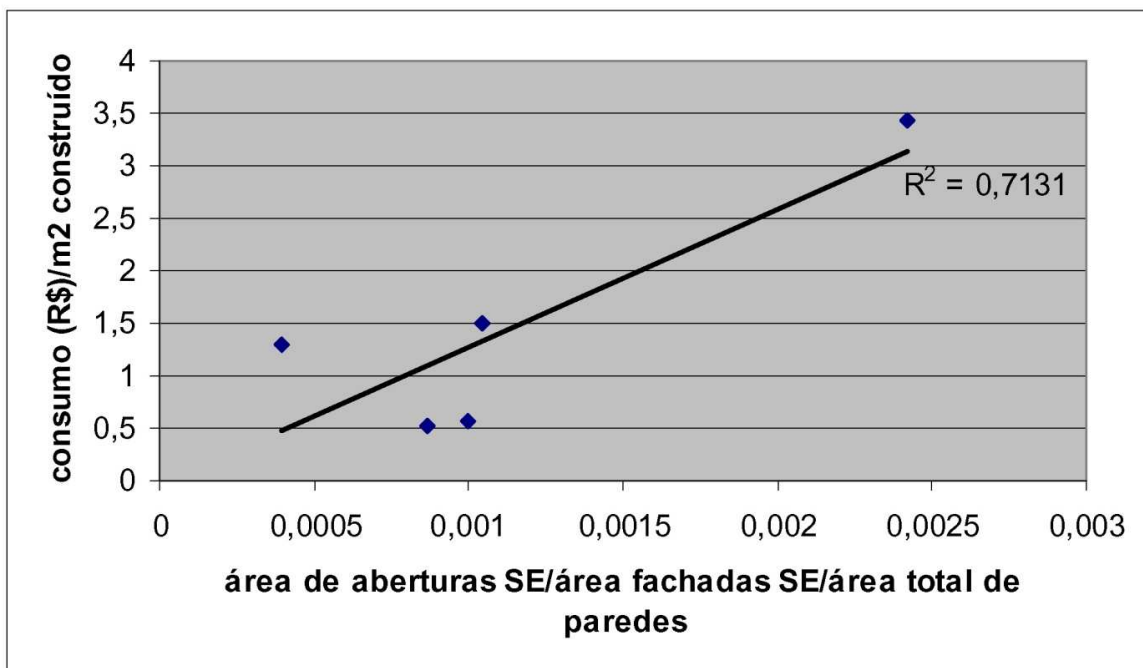


Figura 5 - Influência da área de aberturas voltadas para SE no consumo de energia elétrica por metro-quadrado construído.

A Figura 5 permite observar que dentre as cinco residências analisadas, existe uma tendência de aumento do consumo de energia elétrica, quando essas são agrupadas pela porcentagem de aberturas voltadas a SE em relação à área da parede SE tomada em função da área total das paredes da envoltória (porcentagem de janelas em relação a porcentagem de fachada SE, se comparada ao total de fachadas).

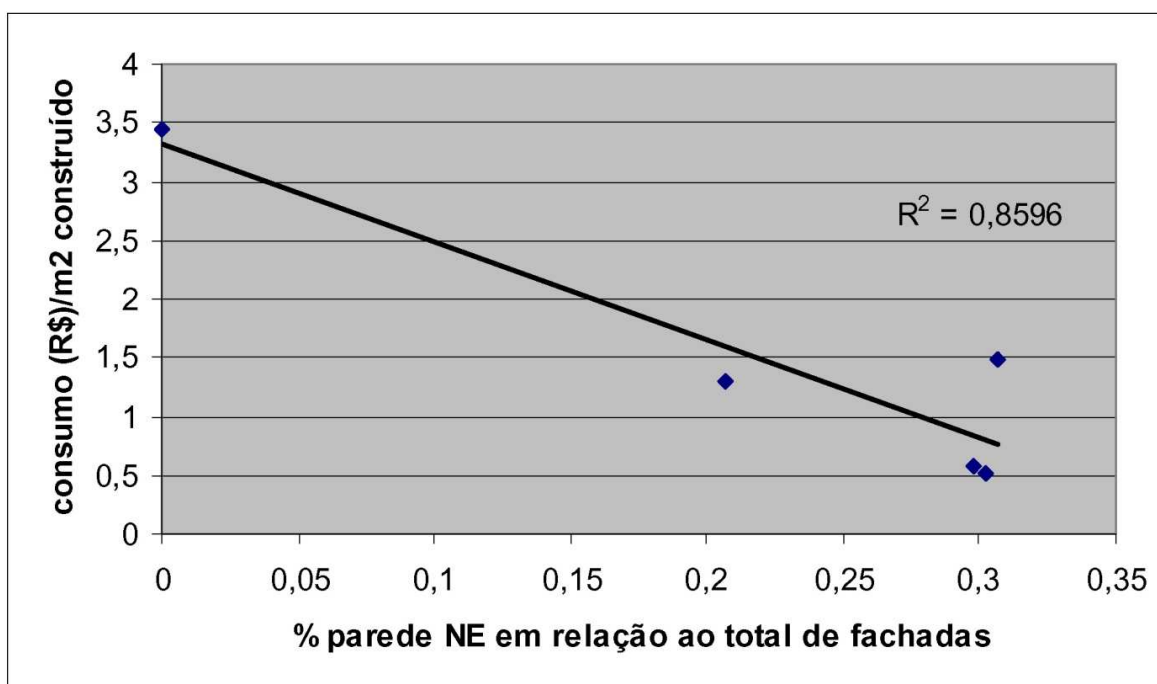


Figura 6 - Influência da porcentagem de paredes orientadas a NE no consumo de energia elétrica por metro-quadrado construído.

A Figura 6, por outro lado, demonstra que a orientação das fachadas também pode contribuir para a minimização do consumo de energia. No caso demonstrado pela Figura 6 é possível verificar que, para as casas analisadas houve uma contribuição efetiva das paredes voltadas para NE, de forma que quanto maior a área de paredes NE da edificação estudada, menor foi o consumo verificado.

Apesar do pouco número de edificações analisadas, é possível identificar que a orientação das aberturas e fachadas influi diretamente no consumo de energia elétrica, seja por ganho ou perda de calor, seja

por possibilitar maior ou menor iluminação natural do ambiente. Enquanto a passagem de calor determina a condição térmica do ambiente e pode levar ao uso de recursos artificiais para o condicionamento do mesmo, a iluminação natural pode evitar o acionamento do sistema de iluminação artificial.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo dos índices edilícios permitiu estabelecer uma análise climático-energética que colabora, na área da Construção Civil, para a adoção de ferramentas para maior sustentabilidade ambiental. Cada um dos índices estudados tem sua importância significativa, conforme a escala de abordagem e podem ser levados em conta de maneira integrada, facilitando a aplicação de parâmetros práticos na tomada de decisões.

Quanto ao índice de vegetação (NDVI), verificou-se que existe uma relação direta com o consumo de energia da área de estudo e que sua relevância é maior, quando se trata de uma análise em meso-escala. Em micro-escala este índice, da forma como é previsto o seu cálculo, tem menor significância. Assim, pode-se recorrer tanto a índices que permitam examinar a interface entre o urbano e o edifício, quanto a parâmetros do próprio edifício, para que seja efetuada uma análise mais adequada.

No caso da micro-escala, o índice de aproveitamento demonstrou influência direta na temperatura mínima do ar alcançada nos pontos de análise. A pesquisa revelou que o aumento do índice de aproveitamento está relacionado ao aumento da temperatura média das mínimas do ar. Além disso, o estudo de índices geométricos da envoltória indicou que o consumo de energia elétrica é dependente de variáveis como a área de abertura e de fachadas, podendo variar o comportamento, conforme a orientação da fachada.

Estudos dessa natureza permitem evidenciar que indicadores de fácil determinação e aplicação podem ser investigados de forma mais abrangente, permitindo maior eficácia ambiental desses instrumentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SAAD, S.N. **Envelope design for thermal comfort and reduced energy consumption in residential buildings**. King Fahd University of Petroleum and Minerals (Dissertação de Mestrado). Arábia Saudita, 2006. (Disponível em: <http://eprints.kfupm.edu.sa/10498/>)
- AZEVEDO, J.A. **Campo térmico e consumo de energia elétrica residencial na cidade de São Carlos-SP**. 2010. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, UFSCar, São Carlos, 2010.
- BACKES, K. S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor modis associadas a variáveis climáticas para o Estado do Rio Grande do Sul**. 2010. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, UFMS, Santa Maria, 2010. 63p.
- BISINOTTO, S.L. **A influência da porcentagem da área de janela no Consumo de Energia Elétrica em residências na cidade de São Carlos**. 2010-2012. Projeto de dissertação em andamento (Mestrado em Construção Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, UFSCar, São Carlos, 2010. (acesso restrito)
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional 2009 – BEN**. Brasília, EPE, 2009. 48p. Disponível em: [http://ben.epe.gov.br/downloads/ Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2009.pdf](http://ben.epe.gov.br/downloads/ Resultados_Pre_BEN_2009.pdf). (Acesso em: 01 Nov. 2010).
- CÉSAR, L.D. **Ensino da sustentabilidade ambiental em cursos de Engenharia Civil**. 2010-2012. Projeto de dissertação em andamento (Mestrado em Construção Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, UFSCar, São Carlos, 2010. (acesso restrito)
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.
- JOHN, V.M. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte, FIEMG, 2008. 60 p.
- GIUNTA, M.B. **Em busca da relação entre o desenho de quadras urbanas e o nível sonoro de áreas residenciais**. Relatório final de pesquisa. Fapesp, 2006/2007.
- GHISI, E.; TINKER, J. **Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size**. In: Seventh International IBPSA Conference, Proceedings...Rio de Janeiro, pp. 13-15, 2001.
- GILG, G.; VALENTINE, C.L. **The effect of building geometry on energy use**. *Energy Engineering*. vol. 101, no. 2., p.70-80, 2004.
- GLICKSMAN, L.R.; NORFORD, L.K.; GREDEN, L.V. **Energy conservation in Chinese residential buildings: progress and opportunities in design and policy**. *Energy and Environment*. n. 26, p. 83–115, 2001.
- GOOGLE MAPS, São Carlos: coordenadas: latitude 22° 0'55.27"S longitude 47°53'28.00"O. Disponível em: [earth.google.com/intl/pt-BR/](http://earth.google.com/intl/pt-BR/). (Acesso em: jul. 2010).
- LAMBERTS, R.; TRIANA, M.A. **Levantamento do estado da arte: energia**. Documento 2.2. Projeto: Tecnologias para construção habitacional. 2007.
- LAUDARES, D.; MUELLER, C. **Iluminação e Sustentabilidade**. Revista Lume Arquitetura, n. 26, 2007.
- SILVA, A. N. R. DA. **Pesquisa Origem-Destino da cidade de São Carlos**. Relatório FAPESP, São Carlos, SP. (acesso restrito).
- SORANO, E.C. **Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre**. 2009. 136p. Dissertação (Mestrado em Design). Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP, Bauru, 2009.
- SOUZA, L.C.L. **Índices geométricos de eficiência energética da envoltória do edifício**. (Produtividade em Pesquisa CNPq de 2010 a 2013). CNPq, 2010.
- SOUZA, L.C.L.; NAKATA, C.M.; MARQUES, L.M. **Escalas de análise urbana e seus diferentes efeitos térmicos**. In: IV Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Anais... Faro, Portugal, 2010.