

A INFLUÊNCIA DA PORCENTAGEM DA ÁREA DE JANELA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS NA CIDADE DE SÃO CARLOS - SP

Stela Letícia Bisinotto⁽¹⁾; Léa Cristina Lucas de Souza⁽²⁾

(1) Universidade Federal de São Carlos, e-mail: slbisinotto@gmail.com

(2) Universidade Federal de São Carlos, leacrist@ufscar.br.

Resumo

Neste trabalho buscou-se verificar a influência da área de janelas no consumo de energia elétrica de residências localizadas na cidade de São Carlos-SP. Para isso, aplicou-se o índice WWR (do inglês window-to-wall ratio), que representa a razão entre a área de janela e a área de superfície externa (parede). A metodologia aplicada envolveu pesquisa de campo, modelagem e simulação computacional. Foram selecionadas edificações residenciais, para as quais foi realizado um levantamento in loco e identificado o consumo de energia elétrica. Os dados de campo permitiram determinar parâmetros construtivos (orientação, volume e área construída, áreas de fachadas e áreas de janelas), os quais foram direta ou indiretamente utilizados como dados de entrada para uma modelagem do consumo de energia elétrica das residências amostradas. A modelagem foi desenvolvida por aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA). Foram desenvolvidos diversos modelos e verificados os seus desempenhos através do coeficiente de determinação (R^2) e erros relativos apresentados pela relação entre dados simulados e dados medidos. O modelo de melhor desempenho foi selecionado para simular a influência do WWR no consumo de energia elétrica. Os resultados apontaram a influência do índice WWR e da orientação nesse consumo. Além disso, uma faixa de valor de WWR/volume construído entre 0,06 e 0,07 está relacionada à promoção do menor consumo de energia por área construída na cidade de São Carlos.

Palavras-chave: energia elétrica, WWR, iluminação natural, redes neurais artificiais.

Abstract

This study seeks to verify the influence of windows areas in the electrical energy consumption of dwellings in the city of São Carlos. In order to do this, the index WWR (window to wall ratio) was applied, representing the ratio of window area and the area of external surface (wall). The applied methodology consisted on field campaigns, modeling and computational simulation. Some residential buildings were selected to be measured in loco and their electrical energy consumption levels were identified. The field data allowed the determination of building parameters (orientation, volume and built area, area of façades and of windows), which were directly or indirectly used as inputs for modeling the electrical energy consumption of the dwellings' set. The modeling process applied Artificial Neural Networks (ANN). Several models were developed and their performance was evaluated by the determination coefficient (R^2) and relative errors, shown by the relationship between simulated and real data. The best model was selected to be applied in the simulation of the influence of WWR on electrical energy consumption. The results showed that the WWR index has influence on the residential consumption of the dwellings studied. Furthermore, an ideal range of WWR/volume between 0,06 and 0,07 is related to the lowest energy consumption per built area in the city of São Carlos.

Keywords: electric energy, WWR, daylighting, artificial neural networks.

1. INTRODUÇÃO

A envoltória estabelece as condições de ganho de calor ou ainda de iluminação natural no interior do ambiente construído, conforme demonstram Fossati e Lamberts (2010). As propriedades térmicas dos materiais que a compõem, a orientação de suas superfícies e de suas aberturas de janelas são os principais determinantes dessa eficiência energética.

Dentre as superfícies que compõem a envoltória, as áreas envidraçadas assumem um papel de destaque. As superfícies envidraçadas são elementos que permitem a entrada da luz natural no ambiente, minimizando a quantidade de iluminação artificial requerida para o conforto do usuário. No entanto, também é um dos grandes responsáveis pelo ganho de calor no ambiente, pois a componente de luz natural, proveniente diretamente do Sol, aumenta a carga térmica interna do ambiente. Por esta razão, um dos índices úteis para o estudo da eficiência energética da envoltória é a relação entre a área de janela e a superfície externa de uma edificação, ou ainda, a porcentagem de área da superfície externa de uma edificação que é fechada com vidro. Denominado WWR, do inglês *window-to-wall ratio*, esse índice geométrico torna-se um elemento importante na avaliação da contribuição da energia externa para o ambiente interno (GHISI e GUINTER, 2005).

Existem diversos estudos que consideram essa relação (Nascimento, 2009; White et al., 2008; Shebi, 2007; Ghisi e Guinter, 2005; Ghisi et al., 2001, dentre outros) e indicam resultados variáveis conforme o local e clima. Estudo realizado no Egito, por Shebi (2007), avalia a relação entre a área de janela (WWR) e o consumo de energia para edifícios comerciais e residenciais situados nas regiões da Alexandria, Cairo e Assunção. Aquela pesquisa verificou que para valores baixos de WWR, foram encontrados consumos de energia mais baixos. Naquele caso foi indicado, para edifícios residenciais, o valor limite de 17% e, para edifícios comerciais, o valor de 20%. Nascimento e Barbosa (2009), estudando um escritório localizado na Cidade de Londrina-PR, demonstraram que, para as orientações analisadas, o WWR de 10% diminui o consumo de energia em relação aos WWR de 20% e 40%.

Nesse contexto, destaca-se a importância de ser aprofundado o conhecimento dessas relações, para que sejam buscadas soluções construtivas eficientes para cada local.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar a relação entre o WWR e o consumo de energia de edificações residenciais unifamiliares não condicionadas artificialmente na cidade de São Carlos, em fase pós-ocupação, a partir do desenvolvimento de modelos gerados por Redes Neurais Artificiais.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada envolve pesquisa de campo, modelagem e simulação. Dessa forma, está baseada nas seguintes etapas principais: seleção e caracterização de edificações residenciais unifamiliares, identificando-se seus consumos de energia elétrica (a partir de uma base de dados pré-existente desenvolvida por Rodrigues da Silva (2009); modelagem e simulação dos dados de consumo de energia em função do WWR.

Pela complexidade do comportamento das variáveis envolvidas e necessidade de adequação da técnica ao problema estudado, propõe-se uma modelagem através da aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA). Essa consiste em uma técnica computacional, inspirada na

estrutura dos neurônios humanos, sendo capaz de identificar relações e pesos entre variáveis de entrada, que determinam a grandeza dos dados de saída. Nesta técnica, mesmo com a simplificação de algumas variáveis, é possível estabelecer uma modelagem e testar sua capacidade de simulação, desde que o desempenho do modelo seja adequado.

3.1 Caracterização das edificações de estudo

Foi feita a seleção de 46 domicílios unifamiliares de um bairro residencial na cidade de São Carlos. Inicialmente foi efetuada uma ficha de caracterização para levantamento de campo complementar à base de dados pré-existente. Os dados de consumo disponibilizados por Rodrigues da Silva (2009), em reais (R\$), foram transformados em kWh/m². Para isso cálculos foram realizados com base nos valores constantes da tabela tarifária disponibilizada no site da ANEEL, para o ano de 2007 a 2008.

A ficha de caracterização dos domicílios possibilitou o cálculo de: área total das paredes da edificação que constituem a envoltória; áreas de cada fachada e das aberturas orientadas a NE, NO, SE e SO; área total do corpo da edificação, incluindo as de varanda e de garagem; volume da edificação. Em seguida foram calculados: o WWR de cada fachada dividido pela área total da edificação; e o WWR total de cada edificação versus o consumo/m² da edificação.

Os tipos de equipamentos existentes nas edificações e suas potências médias nominais foram identificados, obtendo-se assim a potência total de equipamentos instalados em W. Em virtude da dificuldade de obtenção de informações precisas junto ao usuário quanto ao tempo de ocupação e utilização de equipamentos, foram selecionadas apenas aquelas residências que indicaram padrão semelhante de uso, ocupação e iluminação. Essa simplificação pôde ser feita após visitas ao local e considerando-se que todos são domicílios não condicionados artificialmente, com padrões de renda semelhantes, situadas em uma mesma fração urbana. Considerou-se ainda que, essa limitação seria compensada pela capacidade do método e verificação do desempenho do modelos.

3.2 Modelagem dos dados de consumo de energia em função de parâmetros geométricos

A modelagem procurou identificar relações entre o consumo de energia e parâmetros geométricos, destacando-se o WWR. Para isso foi aplicada à técnica das Redes Neurais Artificiais (RNA), através da aplicação do software Easynn-plus.

Foram criados 3 tipos de modelos, classificados conforme a variável geométrica a ser relacionada com o consumo de energia. O modelo tipo 1 considerou a variável geométrica WWR por orientação da fachada, e assim suas variáveis de entrada foram: potência média nominal total instalada; número de ocupantes; orientação; área da cobertura; cor das superfícies (absortância externa); transmitância da cobertura; volume; áreas das aberturas nas orientações SO, SE, NO e NE; áreas das fachadas nas orientações SO, SE, NO e NE; sombreamento das aberturas SO, SE, NO e NE; WWR orientação SO; WWR orientação SE, WWR orientação NO, WWR orientação NE. Destaca-se que, as orientações consideradas no modelo foram determinadas em função das orientações das amostras de casas levantadas. Por isso, não é proposto um modelo com as demais orientações possíveis. O modelo tipo 2 considera como variável geométrica a WWR/volume da edificação. Nesse caso as variáveis de entrada foram: potência média nominal total instalada; número de ocupantes; orientação; área da cobertura; cor das superfícies; transmitância da cobertura; volume da edificação; áreas

das aberturas nas orientações SO, SE, NO e NE; áreas das fachadas nas orientações SO, SE, NO e NE; sombreamento das aberturas SO, SE, NO e NE; WWR/volume da edificação. O modelo tipo 3 tem como variável geométrica o WWR/área de cobertura, com as seguintes variáveis de entrada: potência média nominal total instalada; número de ocupantes; orientação; área da cobertura; cor das superfícies (absortância externa); transmitância da cobertura; área da cobertura; volume da edificação; áreas das aberturas nas orientações SO, SE, NO e NE; áreas das fachadas nas orientações SO, SE, NO e NE; sombreamento das aberturas SO, SE, NO e NE; WWR/ área da cobertura.

A variável relativa à cor da superfície foi transformada em valores de absorção, extraídas da NBR 15.220 da ABNT (ABNT 2005). Essa mesma norma serviu de base para cálculo da transmitância das coberturas. A transmitância das paredes não foi uma variável estudada, pois ela se mantém constante para todas as edificações amostradas. São normalmente paredes de bloco cerâmico maciço de 25 cm de espessura e reboco comum. No caso dos valores de sombreamento, foram considerados variáveis *dummy*, ou seja, *zero* (0), para ausência de sombreamento e *um* (1), para a fachada sombreada.

Todos os modelos foram desenvolvidos adotando-se parâmetros *default* do programa de RNA, sendo eles: uma camada escondida; taxa de aprendizagem de 0,8; *momentum* (velocidade de treinamento para reduzir a instabilidade) de 0,6; e, grandeza de erro limite para encerrar o desenvolvimento da rede no valor de 0,05. Além disso, utilizou-se também o monitoramento do erro como critério de parada de desenvolvimento da rede, de maneira que no momento em que o erro parava de diminuir e voltava a crescer, era realizado um encerramento forçado da rede. Como a rede age em ciclos, recalculando valores a cada ciclo, o procedimento de parada forçada colabora para que não haja perda de capacidade de generalização da rede (*overfitting*). Da mesma forma, um número pequeno de ciclos também pode levar a rede a não atingir seu melhor desempenho (*underfitting*), por isso foi adotado o número mínimo de 500 ciclos.

Para cada tipo de modelo foram desenvolvidas 3 redes neurais, gerando um total de 9 redes. No desenvolvimento das redes, foram separados 50% dos dados para treinamento, 25% para validação e 25% para teste. Enquanto o treinamento é a fase de desenvolvimento das redes, a validação é a fase de ajuste dos parâmetros e realizada simultaneamente pelo próprio programa. Por sua vez, a fase de teste é uma verificação da capacidade de simulação realizada pelo usuário. Nas 9 redes, os dados de entrada e saída para treinamento e validação são os mesmos, se diferenciando pelos conjuntos de dados e pelas interligações e pesos internos promovidos pelo programa. Por isso, as variáveis assumem importâncias relativas diferentes para cada grupo de dados. Da mesma forma, os diferentes desempenhos alcançados pelos modelos resultam dessas diferentes interligações e pesos.

Após o desenvolvimento das nove redes, foram verificadas as importâncias das variáveis, para que aquelas que obtivessem relevância menor do que 5% fossem retiradas do modelo. Em seguida a esse procedimento, foram realizadas avaliações para a seleção dos modelos de melhor desempenho. Esse desempenho é verificado pela comparação de dados observados e dados simulados, estabelecendo-se o coeficiente de determinação (R^2) e o erro relativo (%) de cada modelo.

O modelo de melhor desempenho foi então submetido a uma análise de sensibilidade quanto às variáveis relativas à orientação e ao WWR. A análise de sensibilidade é um procedimento que promove a variação do valor de uma variável específica entre seus valores máximos e

mínimos, enquanto as demais mantém-se em valores fixos. Assim, testam-se os valores da variável de interesse, evitando-se a extrapolação dos limites máximos e mínimos dos dados geradores da rede. Este procedimento permite verificar como o modelo quantifica o consumo de energia em função daquela variável específica.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 Desempenho dos modelos de RNA e importância das variáveis

Os dados reais e simulados pelas 9 redes foram comparados, estabelecendo-se o coeficiente de determinação (R^2) e o erro relativo de cada uma delas. Nessa etapa do procedimento, algumas variáveis que atingiram valores abaixo de 5% foram retiradas, e a geração de novos modelos sem essas variáveis resultaram nos desempenhos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos modelos quando retiradas as variáveis com relevância abaixo de 5%.

TIPO DE MODELO	NÚMERO DA REDE	R^2	ERRO RELATIVO
1 (<i>WWR</i> por orientação da fachada)	Rede 1	0,6749	0,2106
	Rede 2	0,7976	0,1724
	Rede 3	0,9856	0,0473
2 (<i>WWR</i> por volume)	Rede 1	0,6757	0,2102
	Rede 2	0,9544	0,1180
	Rede 3	0,3836	0,1948
3 (<i>WWR</i> por área de cobertura)	Rede 1	0,5555	0,1811
	Rede 2	0,1963	0,1918
	Rede 3	0,4898	0,2145

Assim, a partir dos melhores modelos (tipo 1 rede 3 e tipo 2 rede 2), foi verificada a importância relativa das variáveis estudadas, que são calculadas pelo próprio programa. Os resultados são apresentados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Importância relativa das variáveis de entrada do tipo de modelo 1 rede 3 (*WWR* por orientação da fachada).

VARIÁVEL	IMPORTÂNCIA RELATIVA (%)
Número de Ocupantes	16,05
Volume (m ³)	13,08
Potência média nominal total instalada (W)	12,71
Sombreamento SE (variável dummy)	12,42
<i>WWR</i> SE (%)	11,68
Cor (absortância)	10,24
<i>WWR</i> SO (%)	9,08
<i>WWR</i> NO (%)	8,45
Sombreamento NO (%)	6,29

O tipo 1 modelo 3, apresenta uma distribuição de variável quase homogênea, indicando que todas as variáveis são importantes no modelo, tendo influências similares. A variável mais significativa foi o número de ocupantes, seguido do volume e potência média nominal instalada. Nesse modelo, observa-se que dentre as variáveis representativas de orientações das aberturas, apenas o WWR NE não assumiu importância relativa acima de 5% e, por isso, foi retirada do modelo. Essa baixa significância da variável WWR NE levanta a hipótese de que as aberturas a NE seriam as menos influentes no consumo de energia, porém as limitações do modelo não permitem a sua comprovação.

Tabela 3: Importância relativa das variáveis de entrada do tipo 2 rede 2 (WWR/volume).

VARIÁVEL	IMPORTÂNCIA RELATIVA (%)
WWR/Volume (%/m ³)	25,75
Cor (absortância)	24,43
Número de Ocupantes	19,48
Potência média nominal Instalada	11,58
Orientação	10,11
Sombreamento SO	8,65

No modelo tipo 2 rede 2, conforme demonstra a Tabela 3, a variável de maior importância relativa foi o WWR/volume, seguida da cor. Esse resultado reforça, mais uma vez, a importância de ser determinada uma proporção adequada das aberturas para que se minimize o consumo de energia nas edificações. Observa-se também, para esse modelo, que a orientação da fachada do edifício assume papel relevante, chegando a obter importância relativa da mesma ordem aproximada de grandeza que a potência média nominal instalada no domicílio (cerca de 10%).

4.2 Análise de sensibilidade do modelo tipo 1 rede 3

Os valores máximos, médios e mínimos dos dados de entrada do modelo tipo 1 rede 3 são indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores máximos, médios e mínimos de cada variável do modelo tipo 1 rede 3.

VARIÁVEIS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÉDIO	VALOR MÁXIMO
Ocupante	1,00	2,76	6,00
Volume (m ³)	122,37	362,78	70,60
Potência Nominal Média Instalada (W)	70,60	5600,74	11630,00
Sombreamento SE (variável dummy)	0	-	1
WWR SE (%)	0	8,54	22,43
Cor (%)	26,40	33,78	70,60
WWR SO (%)	0	11,31	66,67
WWR NO (%)	0	11,34	79,71
Sombreamento NO (variável dummy)	0,00	-	1

Através da análise de sensibilidade dessa rede, simulou-se o consumo/m² para verificação da influência do WWR por orientação da fachada. Para isso, as variáveis de ocupação, de volume e de potência nominal foram configuradas para assumirem valores médios, enquanto foram atribuídos valores iguais a zero (0) ao sombreamento nas fachadas. As variáveis WWR SE, WWR SO, WWR NO foram alteradas cada uma por vez, de forma que, enquanto uma assumisse valores entre 10 e 60%, as demais permanecessem em zero. Apenas para o caso de WWR SE é que a variação se restringiu a valores entre 0 e 20%, para não ser extrapolado o limite máximo dos dados que geraram o modelo. Os resultados dessa análise são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3.

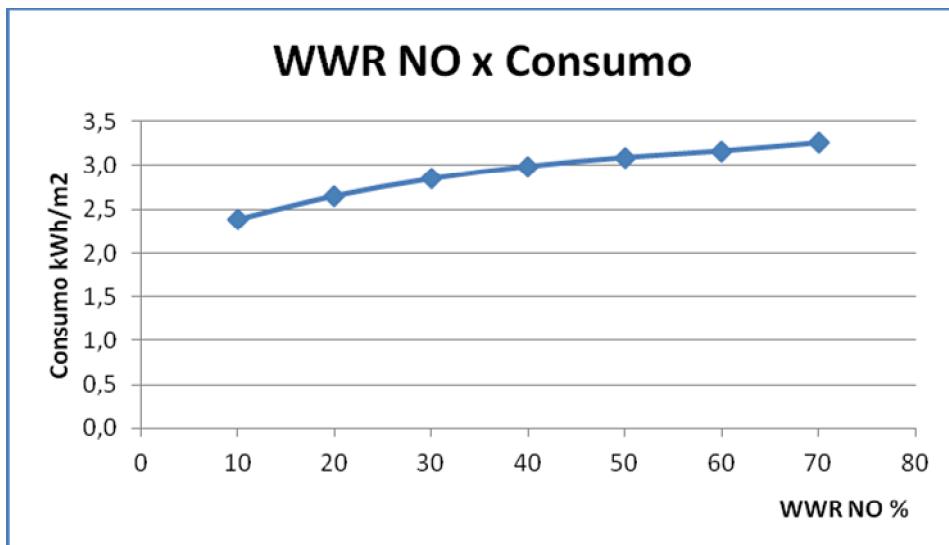


Figura 1 – Consumo de energia em função do WWR NO

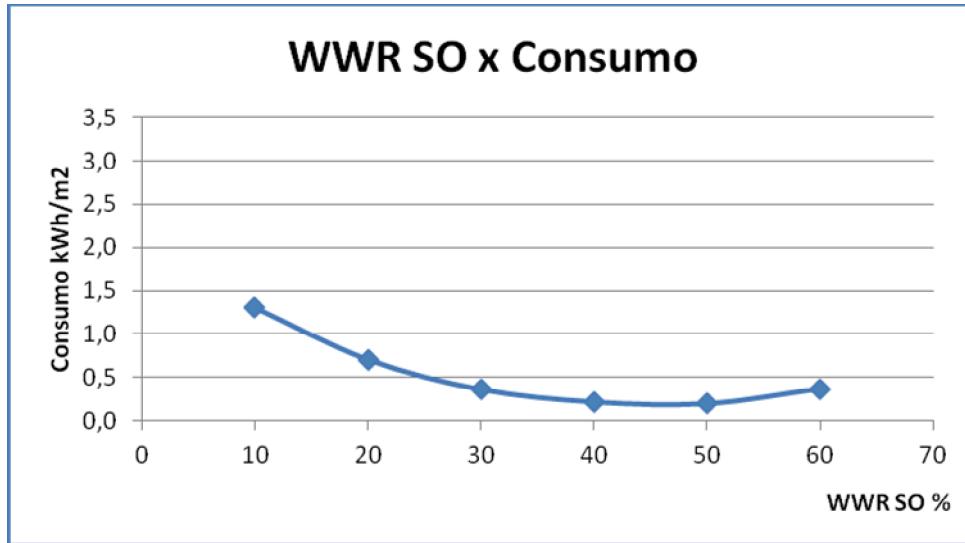


Figura 2 – Consumo de energia em função do WWR SO

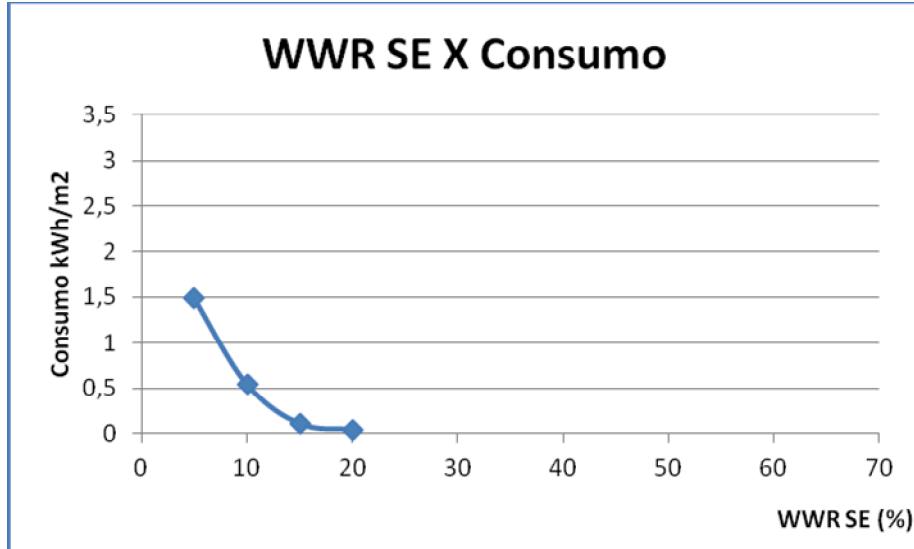


Figura 3 – Consumo de energia em função do WWR SE

Observa-se que, dentre as orientações estudadas, o WWR sobre a fachada NO é a que causa consumo de energia mais alto, apresentando uma tendência a aumentar esse consumo, a medida que o WWR NO também aumenta. Para a orientação SO, são verificadas menores grandezas no consumo do que para a orientação NO e o comportamento da curva mostra uma tendência de diminuição do consumo até o valor de 50% para WWR. Acima desse valor, volta a ocorrer pequena ascendência na curva de consumo. No caso da orientação SE, como o intervalo modelado é pequeno, verificou-se apenas a tendência para valores de WWR até 20%. Nesse caso, dentro dessa faixa, os resultados indicam uma diminuição do consumo com o aumento do WWR orientado para SE, com uma proporção semelhante a da orientação SO.

Esses resultados indicam que para essas residências não condicionadas artificialmente no local estudado, existem diferenças significativas para o valor do WWR mais eficiente. Para a orientação NO, o WWR entre 10 e 20% apresentou menor consumo, enquanto para as orientações SO e SE, o menor consumo foi verificado entre 40 e 50%. No caso da orientação SE, pela restrição da faixa estudada, não se pode extrair uma resposta concreta quanto aos valores menos consumidores.

Considerando-se a inclinação da reta (indicativo do coeficiente da reta) em cada um dos gráficos das figuras 1, 2 e 3, observa-se que, apesar do maior consumo estar relacionado ao WWR NO, o impacto do aumento desse índice é maior para WWR SO, do que para o WWR NO. Enquanto o aumento do valor de 10 para 40% no WWR NO pode representar um aumento de 0,6 kWh/m² no consumo de energia elétrica, para o WWR SO esse mesmo incremento pode representar uma redução de cerca de 1,1 kWh/m².

4.3 Análise de sensibilidade do modelo tipo 2 rede 2

Os valores máximos, médios e mínimos dos dados de entrada do modelo tipo 2 rede 2 são indicados na Tabela 5.

Para esse modelo procedeu-se a mesma análise de sensibilidade anterior. Nesse caso foram examinadas a influência das seguintes variáveis no consumo de energia elétrica: a orientação do domicílio em relação ao Norte e a WWR/volume. O primeiro teste de sensibilidade para a variável orientação resultou na Figura 4. Para essa análise atribuiu-se valores de orientação

entre 32° e 302° em relação ao Norte, enquanto as demais variáveis assumiram seus valores médios.

Tabela 5 – Valores máximos, médios e mínimos de cada variável do tipo 2 rede 2.

VARIÁVEIS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÉDIO	VALOR MÁXIMO
WWR/Volume (%/m ³)	0,01	0,04	0,10
Cor (%)	26,40	33,62	70,60
Ocupante	1,00	2,87	6,00
Potência Nominal Média Instalada (W)	1860,00	5473,68	11630,00
Orientação (° em relação ao Norte)	32,00	208,41	302,00
Sombreamento SO (%)	0	10	100

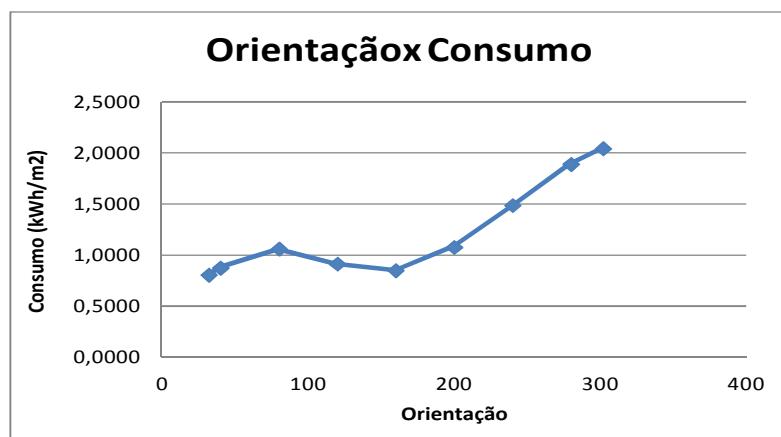


Figura 4 – Relação entre o Consumo e a orientação da edificação.

No gráfico da figura 4, os resultados revelam que acima de 200° em relação ao Norte, ocorre um aumento significativo do consumo de energia elétrica por m². As edificações cujas principais fachadas com aberturas estão voltadas para NE e SE mantiveram-se com menores consumos do que aquelas voltadas para NO e SO. Quando comparadas especificamente as orientações NE (45° em relação ao Norte) e NO (315° em relação ao Norte) o consumo apresenta cerca de 80% a mais para a NO. Assim como, uma rotação do ângulo de 135° em relação ao Norte (SE) para 225° em relação ao Norte (SO) promove um aumento de 50% no consumo.

Analisa-se também a influência da variável WWR/volume, atribuindo-lhe valores entre 0,03 e 0,10 e mantendo-se as demais variáveis com seus valores médios. O resultado alcançado é apresentado na Figura 5.

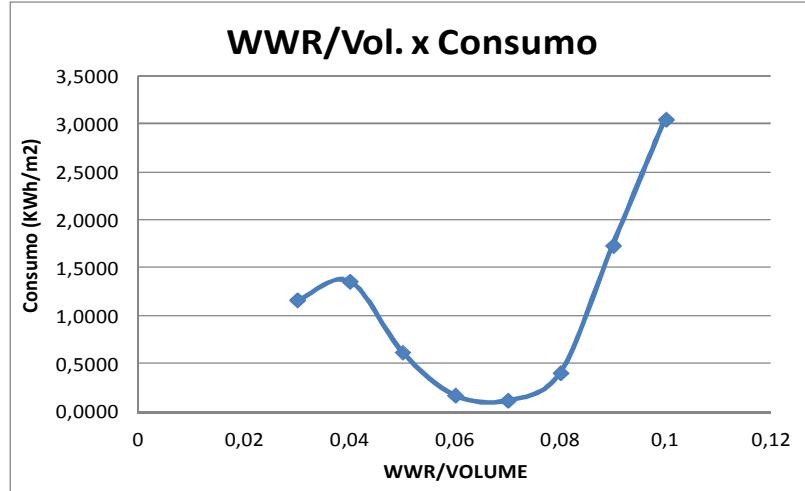


Figura 5 - Relação entre o Consumo e WWR/Volume da edificação.

O gráfico da Figura 5 indica que, valores de WWR/volume na faixa de 0,06 a 0,07% corresponderam a valores que minimizaram o consumo de energia nas residências amostradas. Tanto para valores de WWR/volume abaixo desta faixa (menores áreas de janela), como para valores acima dela (maiores áreas de janela), o consumo de energia aumenta. Os maiores consumidores estão relacionados ao WWR/volume acima de 0,09.

5-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das principais conclusões do estudo é a constatação de que, conforme a orientação da fachada considerada, o WWR pode ter impacto diferenciado sobre o consumo de energia de edificações residenciais na cidade de São Carlos. Por isso, os tamanhos de aberturas para a minimização do consumo é um valor que deve ser cuidadosamente estudado.

O WWR NO representou aquele de maior consumo de energia, com tendência de incremento no valor de consumo dado pelo aumento do valor de WWR. Em termos de grandeza relativa, o impacto desse aumento no consumo, promovido pelo WWR NO, foi menor do que o impacto de redução causado pelo aumento do valor de WWR SO.

No caso específico do WWR orientado a NE, não foi possível fazer uma análise mais aprofundada, porque a variável não alcançou relevância para ser mantida no modelo desenvolvido. Essa baixa relação pode ser um resultado da limitação dos dados, por isso, esse aspecto merece melhor atenção em pesquisas futuras.

Foi verificado ainda que o índice WWR/volume é um bom indicador da tendência de consumo de energia de edificações residenciais terreas. Nesse caso, a faixa de valores entre 0,06 e 0,07 mostrou-se como a mais adequada para a minimização do consumo de energia nas edificações residenciais não condicionadas do local de estudo.

Concluiu-se ainda que a técnica das Redes Neurais Artificiais se mostrou um instrumento importante para a identificação da complexidade de relações envolvidas na questão aqui pesquisada. Através dela, foi possível o desenvolvimento de modelos, que não só permitiram efetuar simulações para outros valores dentro de uma faixa de abrangência, mas também auxiliaram na identificação da importância relativas das variáveis dentro do modelo.

8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOSSATI, M., LAMBERTS, R. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Ambiente Construído, v. 10, n. 2, p. 59-69, abril/junho 2010.

GHISI, E.; TINKER, J. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. Ambiente Construído, v. 5, n. 4, p. 81-93, outubro/dezembro 2005.

GHISI, E.; TINKER, J. Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size. In: Seventh International IBPSA Conference, 2001. Rio de Janeiro, 2001, p. 13-15.

GHISI, E.; TINKER, J.; IBRAHIM, S. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n.4 , p. 81-93, out./dez. 2005.

NASCIMENTO, L.B.P.; BARBOSA, M.J. Análise da Influência de Variáveis Construtivas e de Variáveis de Uso e Ocupação no Consumo de Energia em Edifícios de Escritório. In: X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. Anais: ENCAC 2009. p. 1114-1123.

RODRIGUES DA SILVA, A.N. Pesquisa Origem-Destino da cidade de São Carlos. 2009. Relatório FAPESP, São Carlos, SP (acesso restrito).

SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência do percentual de área de janela na fachada e da absorção de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório da Cidade de Florianópolis - SC. 2009. 19 f. Monografia apresentada ao Eco_Lógicas: Concurso Catarinense de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética. Instituto IDEAL. Florianópolis, 2009.

SHEBI, S.S. Effect of window to wall ratio and different climate conditions on energy consumption for residential and commercial buildings in Egypt. HBRC journal. Vol. 3 No. 2. August 2007. Disponível em: www.hbrc-journal.gov.eg/files/22.pdf Acesso em 10 de Nov. 2010.

WHITE, T; MITCHELL, D.; DANA, T.; BRAIN,T. Effective Early of a Simplified Simulation Tool for High Performance K-5 Schools in Hot and Humid Climates P Im, J Haberl. In: SimBuild 2008. Paper Technical Sessions. Disponível em: ibpsa.us/simbuild2008/technical_sessions/SB08-PPT-TS09-3-White.pdf Acesso em 12 de Jun. 2010.