

## REDES NEURAIS COMO SISTEMA DE CONTROLE DE ABERTURAS EM SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NO ENERGY PLUS

LORENZO FAGUNDES ANTUNES<sup>1</sup>; ANDERSON PRIEBE FERRUGEM<sup>2</sup>; ANTÔNIO CÉSAR SILVEIRA BAPTISTA DA SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UFPEl – [lfantunes@inf.ufpel.edu.br](mailto:lfantunes@inf.ufpel.edu.br)

<sup>2</sup>UFPEl – [ferrugem@inf.ufpel.edu.br](mailto:ferrugem@inf.ufpel.edu.br)

<sup>3</sup>UFPEl – [acsbs@ufpel.edu.br](mailto:acsbs@ufpel.edu.br)

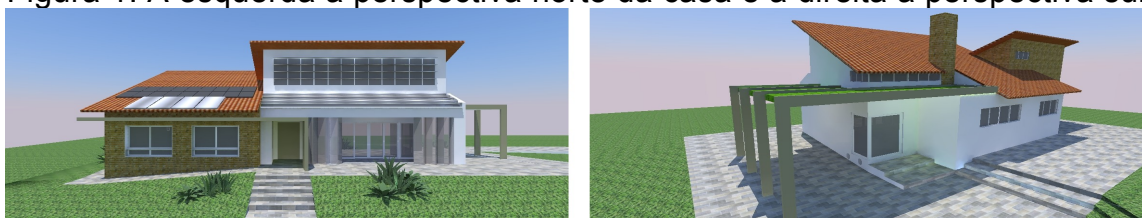
### 1. INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento sustentável nos tempos modernos levou a uma mudança na mentalidade dos engenheiros e arquitetos. No entanto, analisar todos os fatores que influenciam a construção de prédios sustentáveis é impossível, é necessário lidar com vários níveis de automação e controle; variáveis climáticas e estruturais das construções e interações com os usuários.

Com isso em mente, esse trabalho propõe uma abordagem utilizando redes neurais como forma de controle das aberturas de uma casa (janelas), visando manter o conforto térmico. Tudo isso acontece através de uma simulação computacional.

As condições climáticas simuladas foram as da cidade de Santa Maria, RS, Zona Bioclimática 2. A casa utilizada nas simulações foi a modela por POUEY (2011), ela possui aproximadamente 200 metros quadrados de área total. A casa composta por dois quartos, uma área de convivência/sala de jantar, um mezanino, uma cozinha, uma área de serviço e um banheiro. Além disso, anexado à sala existe um jardim de inverno.

Figura 1. À esquerda a perspectiva norte da casa e à direita a perspectiva sul.



A simulação foi realizada utilizando um simulador chamado EnergyPlus™ (CRAWLEY et al, 2004), que é amplamente utilizado em simulações de construções. Entretanto, esse software possui limitações quando existe a necessidade de sistemas de controle mais complexos, como redes neurais. Então foi utilizado um software chamado Building Controls Virtual Test Bed (BCVTB), que é responsável por acoplar várias peças de software. Com isso, podemos utilizar a linguagem de programação MATLAB® (RIEDER, 2005) para tomar as decisões sobre as aberturas da casa, nesse caso apenas as janelas.

### 2. METODOLOGIA

A medida de conforto utilizada foi o *predicted mean vote* (PMV), que representa o índice de conforto médio de uma grande quantidade de pessoas expostas a um determinado ambiente (FANGER, 1970). A escala utilizada está na Tabela 1. Depois das simulações o total de horas de cada estado da escala foi comparado ao total de horas da simulação, gerando as porcentagens de cada

estado.

Tabela 1. Escala de conforto do PMV

Muito Frio	Frio	Fresco	Leve Frescor	Conforto	Leve Calor	Calor	Quente	Muito Quente
$(-\infty, -3,5)$	$[-3,5, -2,5]$	$[-2,5, -1,5]$	$[-1,5, -0,5]$	$[-0,5, 0,5]$	$(0,5, 1,5]$	$(1,5, 2,5]$	$(2,5, 3,5]$	$(3,5, \infty)$

Primeiro foram realizadas simulações com os métodos de controle: todas janelas abertas, todas janelas fechadas, janelas abertas ou fechadas aleatoriamente. Depois utilizamos um método de controle baseado em uma árvore de decisões definida pelos conhecimentos de um arquiteto.

A árvore de decisões utiliza um sistema de regras se-então-senão (SO et al, 1999), um exemplo de regra seria no formato:

**Se:** Temperatura Externa > Temperatura Interna

**Então:** Fecha a janela

**Senão:** Abre a janela

As regras foram aplicadas em dois cômodos da casa (sala/mezanino e jardim de inverno) em relação ao exterior da casa. Sala e mezanino foram considerados como um único cômodo, pois, possuem grande influência entre si. As aberturas foram definidas como na Tabela 2.

Tabela 2. Aberturas

Número da Abertura	Localização da Abertura	Conexão
1	Jardim de Inverno	Sala
2	Jardim de Inverno	Exterior
3	Sala	Exterior
4	Sala	Exterior
5	Mezanino	Exterior
6	Mezanino	Exterior

As aberturas são listadas na sequência [1, 2, 3, 4, 5, 6] e valores 1 são para aberto e 0 para fechado. As regras definidas estão nas tabelas 3 e 4. O objetivo dessas regras era manter a sala em conforto térmico ( $-0,5 < PMV < 0,5$ ).

Tabela 3. Regras para  $PMV > 0$  (desconforto por calor).

Condição 1	Condição 2	Condição 3	Ação
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	0,0,0,0,0,0
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	1,0,0,0,0,0
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	0,0,0,0,0,0
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	Não importa
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	Não importa
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	1,0,1,1,1,1
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	0,1,1,1,1,1
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	1,1,1,1,1,1

Tabela 4. Regras para PMV &lt; 0 (desconforto por frio).

Condição 1	Condição 2	Condição 3	Ação
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	1,1,1,1,1,1
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	0,1,1,1,1,1
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	1,0,1,1,1,1
Temperatura Externa > Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	Não importa
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	Não importa
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa > Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	0,1,0,0,0,0
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno > Sala	1,0,0,0,0,0
Temperatura Externa < Sala	Temperatura Externa < Jardim de Inverno	Jardim de Inverno < Sala	0,0,0,0,0,0

A partir dos resultados da árvore de decisões criamos uma simulação utilizando redes neurais para tomar as decisões sobre as aberturas. Foram considerados três cômodos nas simulações: sala, mezanino e jardim de inverno. Foi utilizada uma rede neural (*Multilayer Perceptron*) (RUSSEL et al, 2010) para cada cômodo, elas possuíam duas camadas escondidas, cada uma com trinta neurônios.

As camadas escondidas utilizavam como função de transferência a função tangente hiperbólica e a função de aprendizado gradiente descendente. As entradas da rede eram: Temperatura Externa, Temperatura do Cômodo (sala, mezanino ou jardim de inverno), Velocidade do Vento, Direção do Vento, Radiação Solar Direta, Radiação Solar Difusa. E as saídas: Janela Jardim Interna, Janela Jardim Externa, Janela Sala 1, Janela Sala 2, Janela Mezanino 1, Janela Mezanino 2.

Os dados de treinamento foram gerados a partir dos resultados da Árvore de decisões. Foi analisado uma hora (T), e a hora seguinte (T + 1) para todas as horas de simulação. Todo PMV do cômodo responsável pela rede (sala, mezanino, ou jardim de inverno) em T era comparado com o valor do PMV em T + 1, verificando-se se o PMV absoluto de T + 1 era menor que o PMV absoluto em T. Com isso, era possível descobrir quais decisões sobre as aberturas levaram a um maior conforto no passo seguinte de simulação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 contém os resultados das simulações.

Tabela 5. Resultados das simulações

%	Muito Frio	Frio	Frescor	Leve Frescor	Conforto	Leve Calor	Calor	Quente	Muito Quente
Todas Abertas	0.00	0.00	1.85	23.45	41.35	23.45	9.41	0.46	0.00
Todas Fechadas	0.00	0.00	0.00	0.00	9.41	42.28	38.42	9.87	0.00

Aleatório	0.00	0.00	0.46	8.33	39.35	36.11	14.81	0.92	0.00
Árvore de Decisões	0.00	0.00	0.15	8.33	53.54	29.01	8.64	0.30	0.00
Redes Neurais	0.00	0.00	0.15	5.24	46.14	37.19	10.80	0.46	0.00

#### 4. CONCLUSÕES

A abordagem utilizando redes neurais gerou mais conforto do que os métodos burros (todas abertas, todas fechadas e aleatório), porém, não conseguiu ultrapassar a árvore de decisões. Apesar disso, essa abordagem abre novas possibilidades para tentar resolver o problema de controle das aberturas de uma construção buscando conforto térmico.

Existem várias características na topologia das redes neurais a serem exploradas visando uma melhora para os resultados da simulação. Podemos citar o número de camadas, número de neurônios, funções de transferência, funções de aprendizado.

Além disso, uma mudança nos dados de treinamento da rede também poderia trazer uma melhora nos resultados. Melhor conhecimento das características do comportamento térmico da residência para geração dos dados de treinamento devem ser avaliados – pois a rede deve estar amortizando os dados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RIEDER, P. Matlab/Simulink for building and HVAC simulation-State of the art. **Proceedings of Ninth International IBPSA Conference**, Montréal, p.1019–1026, 2005.
- CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; PEDERSEN, C. O; WINKELMANN, F. C.; WITTE, M. J.; STRAND, R. K.; GLAZER, J. EnergyPlus: an update. **Proceedings of SimBuild, Building Sustainability and Performance Through Simulation**, Bolder, 2004
- POUEY, J. A. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo Energética por Simulação Computacional**. 2011. Mestrado em Arquitetura - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: UFPel, Pelotas, Brazil
- FANGER, O. **Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering**. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press, 1970.
- SO, A. T. P.; CHAN, W. L. **Intelligent Building Systems (The International Series on Asian Studies)**. Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- RUSSEL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. New Jersey: Prentice Hall, 2010.