

UMA PROPOSTA DE ANÁLISE CLIMÁTICA *FUZZY* BASEADA NO MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

HARRIS , Ana Lúcia Nogueira de Camargo; LABAKI, Lucila Chebel

Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP,
Distrito de Barão Geraldo, CP 6021; CEP- 13083-970; Tel (0xx19) 3788-2398, 3788-2384
luharris@fec.unicamp.br

RESUMO

Este artigo descreve parte de uma pesquisa para desenvolvimento de uma metodologia de análise climática baseada na Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy Systems Theory*). Nesta etapa delineou-se uma metodologia com base no Método dos Triângulos de Conforto, proposto por Evans e Schiller. Este define regiões para quatro estados de conforto, a partir dos dados climáticos de entrada referentes a Temperatura (T) e Amplitude Térmica (AT) e define estratégias para alcançar o Conforto Ambiental caso a análise demonstre que a região analisada está fora da área de conforto. A proposta apresentada aqui utiliza a metodologia proposta por Evans e Schiller aliada a conceitos da Teoria dos Sistemas Nebulosos (TSN), e define uma nova proposta para análise climática nebulosa. São utilizados os mesmos dados climáticos de entrada: AT e T, considerando-se o conforto para atividade sedentária, e são utilizadas quatro das estratégias de conforto apresentadas na metodologia dos Triângulos de Conforto. Os parâmetros climáticos, são delineados por conjuntos nebulosos que definem a Amplitude Térmica como: “Pequena” e “Grande” e a Temperatura como “Fria”, “Confortável” e “Quente”. A avaliação da metodologia proposta se deu por meio de uma comparação dos resultados obtidos para quatro cidades com diferentes características climáticas. Os mesmos dados climáticos foram submetidos ao Método dos Triângulos de Conforto e a metodologia proposta. Observou-se a coerência dos resultados bem como a confirmação do promissor caminho com a utilização da TSN na modelagem de metodologias de análise climática.

ABSTRACT

This paper describes part of a research undertaken to develop a climate analysis methodology supported on the Fuzzy Systems Theory (FST). In this stage a method based on the Comfort Triangles method proposed by Evans and Schiller was outlined. The Comfort Triangles method defines regions for four comfort states and input climate data regarding Temperature and Thermal Span, and defines strategies to reach Environmental Comfort in case the analysis points out that the studied region is out of the comfort area. The proposal here presented uses Evans and Schiller's method associated with concepts of FST and defines a new proposal for fuzzy climatic analysis. The same climatic input data of Temperature and Thermal Span are used. Analysis is undertaken taking into account the comfort for sedentary activity and four of the comfort strategies shown in the Comfort Triangles method are used. The climatic parameters, differently from the Comfort Triangles method, are outlined by fuzzy complexes that define Thermal Span as “small” and “large” and Temperature as “cold”, “comfortable” and “warm”. Evaluation of the proposed methodology was performed by comparing the results obtained for four cities with different climatic characteristics. The same climatic data were submitted to the Comfort Triangles method and the proposed methodology. Coherent results were observed as well as a promising pathway regarding the use of the FST in the modelling of methods for climatic analysis.

1. INTRODUÇÃO

Os conceitos subjetivos, característicos nas análises climáticas, dificultam a elaboração de metodologias capazes de parametrizar adequadamente diferentes tipos de clima. O que ocorre em geral é uma aplicação matemática por meio de um tratamento classificatório do clima a partir de dados climáticos da região analisada. Esta classificação se dá de modo drástico, ou seja, um valor é definido como marco divisório entre duas classes, o que acaba por restringir a utilização da metodologia a regiões com características climáticas “bem definidas”, inviabilizando a análise para regiões onde o clima apresenta características climáticas próximas aos limites de classificação estipulados, como é o caso da cidade de Campinas, São Paulo, BR.

A viabilidade da utilização da Teoria dos Sistemas Nebulosos (TSN) para a remodelagem de metodologias de análise climática já foi demonstrada em HARRIS (1999) e descrita em HARRIS, CHENG & LABAKI (2000), na remodelagem dos "Quadros de Mahoney". A metodologia dos "Quadros de Mahoney" não é indicada para análise de regiões que apresentam características climáticas transitórias, como verifica CHVATAL (1998). Na prática esta inadequação é observada na mudança brusca e até inconsistente das recomendações finais devido a uma variação mínima dos dados climáticos de entrada. A causa básica desta mudança brusca está no delineamento discreto entre os parâmetros climáticos. Com a utilização da TSN em HARRIS (1999) foi possível gerar uma modelagem com transição suave e gradual dos parâmetros de modo a permitir uma análise mais realística dos dados climáticos. Este artigo apresenta uma proposta de análise climática modelada com base no método dos triângulos e na TSN.

2. MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

O Método dos triângulos (EVANS,2000), tem por finalidade sugerir estratégias para a adequação do ambiente ao conforto térmico. O método consiste num gráfico onde são plotados 12 pontos referentes à combinação de temperatura e amplitude média mensal. Cada “triângulo” (Fig.1) define uma região para determinado estado de conforto: A- Conforto para atividades sedentárias; B- Conforto para dormir; C- Conforto para circulação interna; D- Conforto para circulação externa.

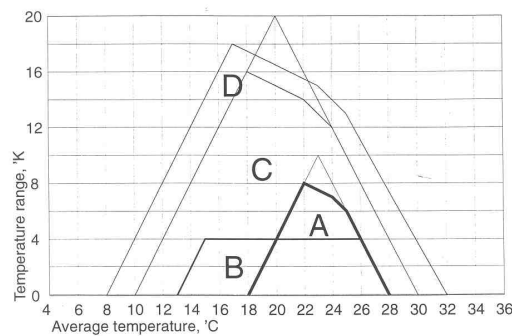


Fig. 1- Triângulos de Conforto (EVANS, 2000).

Para a pesquisa descrita aqui foi utilizada a análise relacionada ao triângulo A.

Esta metodologia propõe algumas estratégias para a obtenção de conforto térmico quando a análise indica que ao longo do ano o clima analisado apresenta-se fora do “triângulo” de Conforto. Estas estratégias dependem do local, fora do “triângulo”, onde os dados se apresentam. Algumas dessas estratégias são:

- Indicação de utilização do movimento do ar no ambiente (V_x);
- Indicação de utilização da massa térmica (M_t);
- Indicação de utilização de uma ventilação seletiva para esfriamento do ambiente (V_r);

- Indicação de utilização de aquecimento do ambiente por ganho solar (Gs);

3. METODOLOGIA PROPOSTA

O problema fundamental detectado nas metodologias para análise climática em geral é o tipo de tratamento matemático dado aos parâmetros climáticos. Na concepção da matemática clássica utilizam-se classificações baseadas em conjuntos definidos, ou seja, um elemento pertence ou não pertence a determinado conjunto, como por exemplo, na análise da Amplitude Térmica da Figura 2.

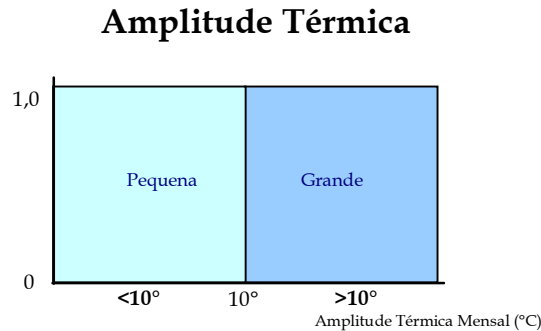


Fig. 2 – Classificação da Amplitude Térmica.

Observa-se que o tratamento classificatório da Figura 2 impõe mudanças bruscas de classificação nos limites dos parâmetros climáticos, onde a faixa referente a $<10^\circ\text{C}$ classifica a amplitude térmica como sendo Pequena e a faixa referente a $>10^\circ\text{C}$ classifica a amplitude térmica como sendo Grande. Isso gera grandes diferenças nos resultados obtidos devido a pouca variação nos valores dos dados climáticos de entrada, o que contra indica sua utilização para regiões que apresentam características climáticas localizadas próximas aos limites classificatórios estipulados. Por outro lado, o comportamento natural do clima apresenta uma variação gradual.

Aplicando-se os conceitos da Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy Systems Theory*), descritos em (HARRIS, 1999; CHENG,1999; HARRIS, CHENG & LABAKI 2000), é possível uma modelagem mais adequada dos parâmetros climáticos e com isso, uma análise mais realística do clima da região analisada.

Com este propósito são apresentados aqui os primeiros resultados de uma pesquisa que propõe uma metodologia de análise climática *fuzzy*. Esta primeira etapa foi baseada na metodologia dos Triângulos de Conforto de Evans e Schiller (EVANS; SCHILLER, 1997 e EVANS,2000) e estruturada com conceitos da Teoria dos Sistemas Nebulosos (HARRIS,1999).

Para este fim, considerou-se os dados climáticos: quando analisados pelo método dos triângulos, se localizados dentro das regiões estipuladas, a estratégia correspondente à região é indicada. Caso contrário, se localizados fora das regiões estipuladas, significaria que não existe indicação positiva para a estratégia daquelas regiões.

3.1 Dados climáticos utilizados

Para a análise climática foram escolhidas cidades cujas características climáticas diferenciam-se significativamente: Campinas, Campos de Jordão, Iguape e Pindamonhangaba.. Os dados climáticos utilizados nesta pesquisa são provenientes do “Atlas Climatológico do Estado de São Paulo 1977-1988” e de CHVATAL (1998), para a cidade de Campinas.

3.2 Modelagens nebulosas dos conjuntos climáticos

Os parâmetros climáticos de Amplitude Térmica (Fig.3) e Temperatura Compensada (Fig.4) foram modelados com conceitos da Teoria dos Sistemas Nebulosos (TSN), por meio de conjuntos nebulosos (HARRIS, 1999), o que possibilitou uma variação suave e gradual nos limites entre os parâmetros, como é observado no gráfico da Amplitude Térmica.

Os conjuntos nebulosos “Pequena” e “Grande” foram delineados com base na interpretação das estratégias da metodologia dos Triângulos de Conforto e nos estudos de Aroztegui (CHVATAL,1998) que apontam a faixa de Amplitude Térmica entre 10° e 14°C como sendo uma faixa de transição.

Os limites para o conjunto nebuloso “Confortável” neste caso foram de 18°C e 28°C, a temperatura de 23°C atinge o máximo de Conforto e também é o marco divisor de limites entre o limite superior do conjunto “Frio” e o limite inferior do conjunto “Quente”. A região entre 25,5°C e 28°C representa a área definida como “poucos graus acima dos limites de conforto”. Estes valores também foram definidos com base na interpretação das estratégias da metodologia dos Triângulos de Conforto.

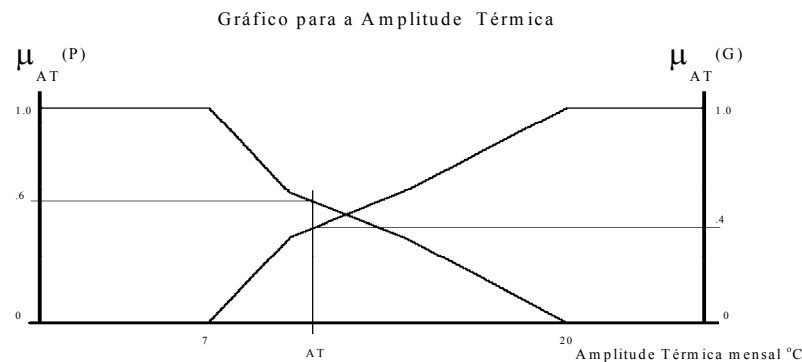


Fig. 3 – Conjunto nebuloso para a detecção do comportamento da Amplitude Térmica.

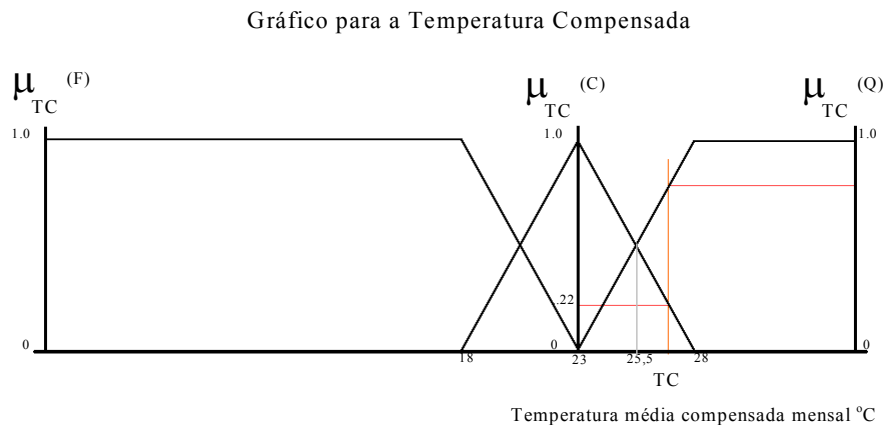


Fig. 4 – Conjunto nebuloso para a detecção do comportamento da Temperatura Compensada.

3.3 FLUXOGRAMA

A Figura 5 apresenta o fluxograma da metodologia proposta, sendo esta estruturada em três partes:

Parte I – Entrada dos dados climáticos

- TC : Temperatura média mensal compensada (TemC);

- AT : amplitude térmica mensal = temperatura media mensal máxima (TpMx) - temperatura media mensal mínima (TpMm);

Parte II – Processamento

- Graus de pertinência da AT: detecta-se o quanto a clima apresenta de amplitude “Pequena” e “Grande” no mês, a partir do valor da AT aplicado nos conjuntos nebulosos do parâmetro climático Amplitude Térmica.
- Graus de pertinência da TC: detecta-se o quanto a temperatura do clima é “Fria”, “Confortável” e “Quente”, a partir do valor da TemC aplicado nos conjuntos do parâmetro climático Temperatura Compensada.
- Grau de pertinência da indicação da estratégia de **ventilação cruzada (Vx)** (para a obtenção de movimento do ar): este valor é determinado pelo menor entre os graus de pertinência de AT (Pequena) e TC (Quente), Para modelar o conceito “poucos graus acima dos limites de conforto” o do grau de pertinência da TC (Confortável) que deve ser diferente de zero e menor ou igual ao grau de pertinência do TC (Quente). O grau de pertinência da AT (Pequena) também deve ser diferente de zero.
- Grau de pertinência da indicação da estratégia de **massa térmica (Mt)**: este grau de pertinência é determinado pelo menor entre os graus de pertinência de AT (Grande) e TC (Confortável). Tanto o grau de pertinência da AT (Grande) quanto o da TC (Confortável) devem ser diferentes de zero.
- Grau de pertinência da indicação da estratégia de **ventilação seletiva para resfriamento (Vr)** da temperatura: este grau de pertinência é determinado pelo menor entre os graus de pertinência de AT (Grande) e TC (Quente). Os graus de pertinência da AT (Grande) e da TC (Quente) devem ser diferentes de zero.
- Grau de pertinência da indicação da estratégia de **aquecimento** da temperatura **por ganho solar (Gs)**: este grau de pertinência é determinado pelo menor entre os graus de pertinência de AT (Pequena) e TC (Frio). Os graus de pertinência da AT (Pequena) e da TC (Frio) devem ser diferentes de zero.

Quando o grau de pertinência da TC (Confortável) for maior ou igual aos graus de pertinência da TC (Quente) e da TC (Frio) e o da AT (Pequena) for maior ou igual ao da AT (Grande) não há necessidade da aplicação de estratégias, pois se caracteriza que o clima encontra-se na região de conforto.

Parte III-Saída de dados

- Como saída é oferecido um conjunto das estratégias Ri, $i=1,\dots,4$, com seus graus de pertinência para o clima analisado.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os gráficos das figuras 6-9 representam os resultados obtidos pela aplicação dos dados climáticos da tabela 1 nas análises climáticas pelo método dos triângulos (EVANS,2000) e pela metodologia proposta, utilizando as modelagens os conjuntos nebulosos apresentadas nas figuras 3 e 4 e conceitos da TSN.

Com as Figuras 6-9 é possível uma comparação dos resultados obtidos. Observa-se uma coerência no comportamento da metodologia proposta com relação à metodologia dos Triângulos de Conforto. As mesmas estratégias foram apontadas ou negadas e a presença das ocorrências nos meses apresenta o mesmo comportamento.

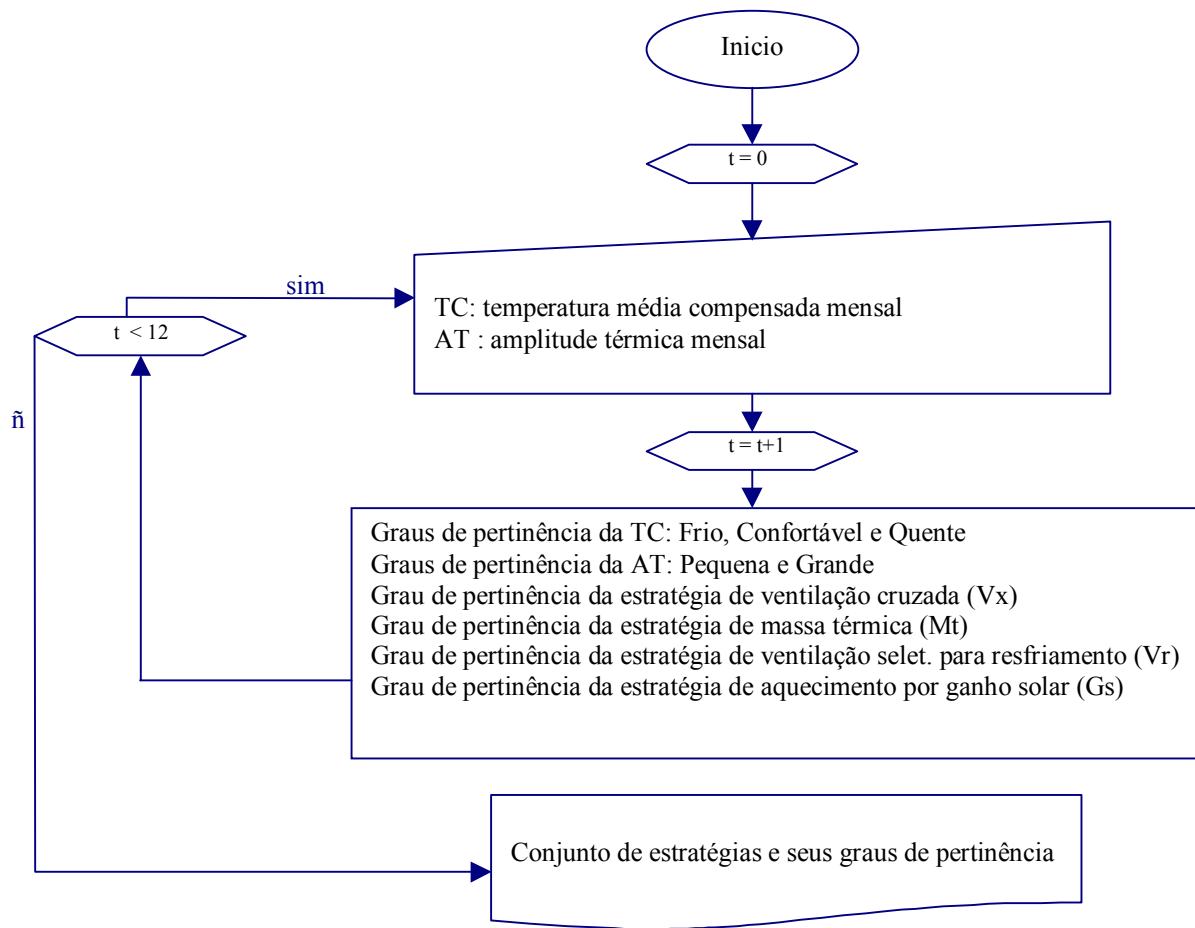


Figura5: Fluxograma: entrada dos dados climáticos, processamento, saída de dados

A diferença está basicamente no refinamento da informação que é possível obter na metodologia proposta, possibilitando uma representação mais realística do comportamento climático apresentando, não apenas a presença da necessidade de utilização de estratégias, mas também seu grau de pertinência.

Nos gráficos da figura 6 para a cidade de Iguape, observa-se que ambos apresentam comportamento semelhante. Enquanto pelo método dos triângulos existe uma indicação para a utilização de aquecimento solar para os meses de maio até outubro, pela metodologia proposta a indicação aparece com seu “grau de pertinência” para os meses de abril até novembro.

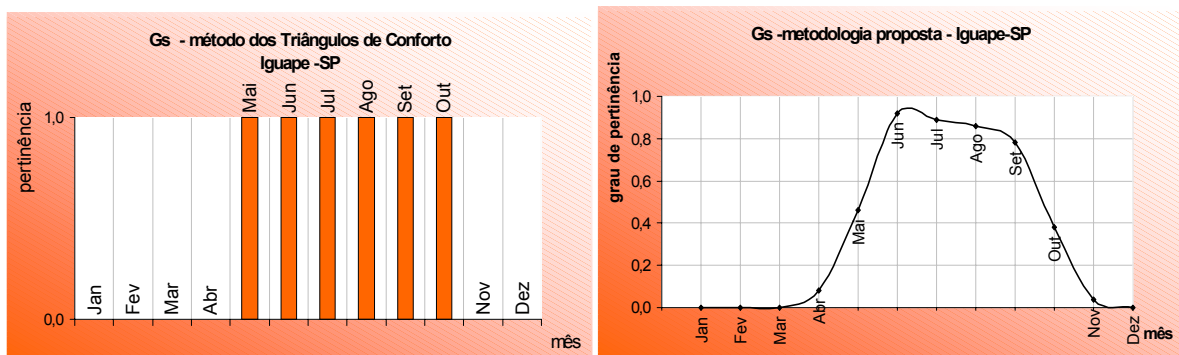


Fig. 6 – Gráficos de resultados comparativos pelo método dos Triângulos (triângulo A) e pela metodologia proposta com a utilização da TSN para Iguape com relação à utilização de aquecimento por Ganho Solar.

Observa-se que embora exista uma indicação também para abril e novembro esta se apresenta com grau de pertinência muito baixo. Os graus de pertinência possibilitam uma visualização mais realística da situação climática.

Os gráficos da figura 7 apresentam as indicações para a utilização do movimento do ar para obter uma ventilação adequada. Pelo método dos triângulos existe uma indicação positiva para os meses de janeiro, fevereiro e março. Pela metodologia proposta também existe uma indicação para os mesmos meses e seu grau de pertinência para cada mês. Além disso indica a existência de uma pequena pertinência para o mês de dezembro.

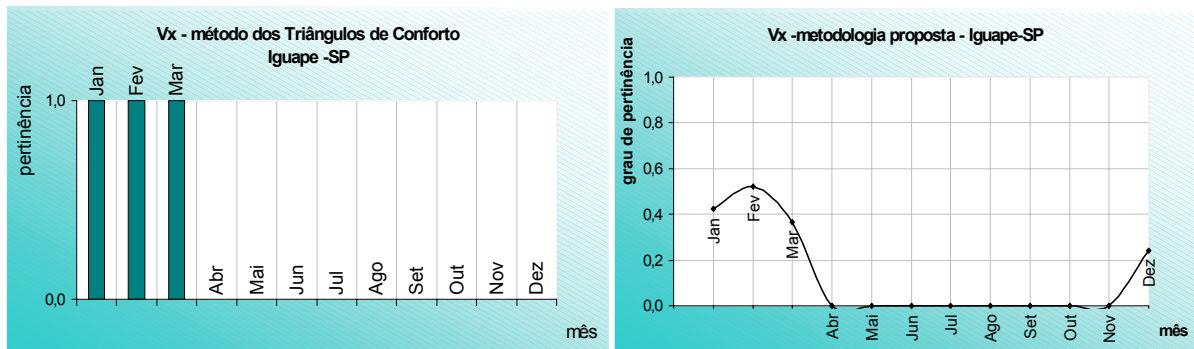


Fig. 7 – Gráficos de resultados comparativos pelo método dos Triângulos (triângulo A) e pela metodologia proposta com a utilização da TSN para Iguape com relação à utilização de Ventilação por movimento do ar.

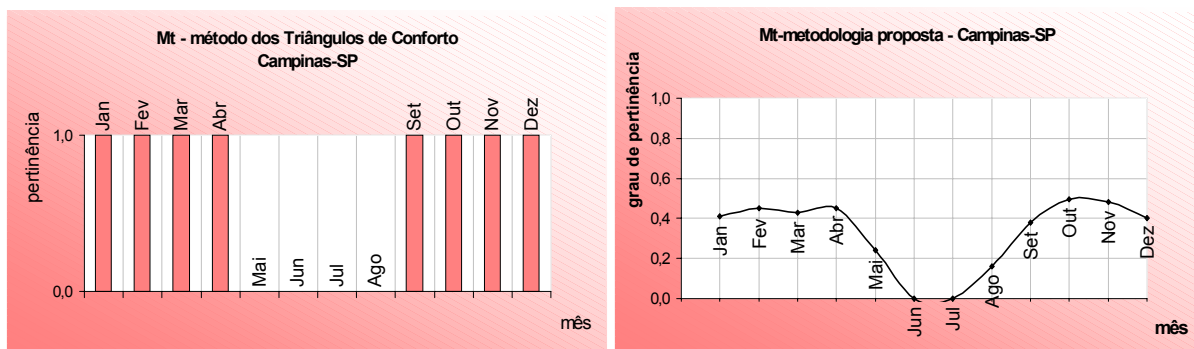


Fig. 8 – Gráficos de resultados comparativos pelo método dos Triângulos (triângulo A) e pela metodologia proposta com a utilização da TSN para Campinas com relação a utilização de Massa Térmica.

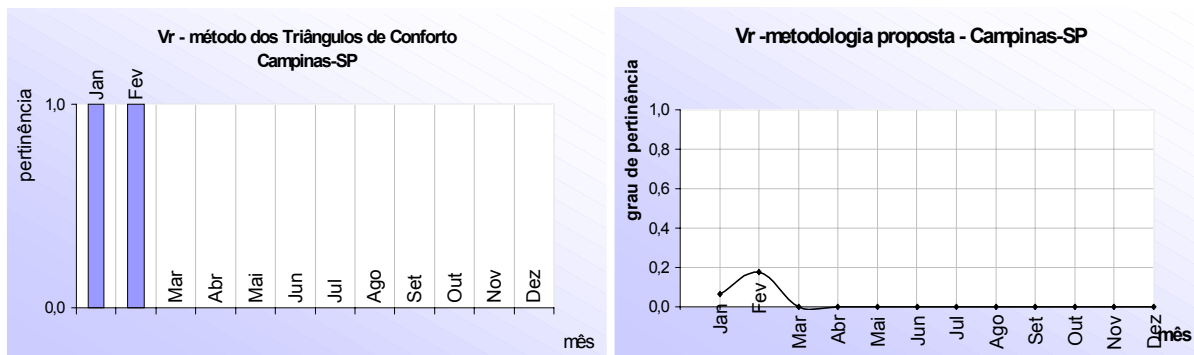


Fig. 9 – Gráficos de resultados comparativos pelo método dos Triângulos (triângulo A) e pela metodologia proposta com a utilização da TSN para Campinas com relação a utilização de Ventilação seletiva por Resfriamento.

Nos gráficos da figura 8 pode-se observar a coerência no comportamento das indicações para todos os meses com relação à indicação de utilização de massa térmica para a cidade de Campinas, segundo os

dados climáticos utilizados. Observa-se também que a metodologia proposta proporciona uma visão mais detalhada, pois apresenta o “grau de pertinência” de cada indicação e não apenas se ela existe ou não.

Observa-se nos gráficos da figura 9 que pelo método dos triângulos houve uma indicação positiva para janeiro e fevereiro e pela metodologia proposta houve uma “pequena indicação” para os mesmos meses. Aplicando os dados climáticos nos gráficos apresentados por EVANS (2000), estes dados apresentam-se na região de ventilação seletiva por resfriamento, porém próximo aos limites estipulados pelos gráfico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização da Teoria dos Sistemas Nebulosos (TSN) e do método dos Triângulos de Conforto foi delineada parte de uma proposta de metodologia para análise climática *fuzzy*. Esta metodologia tem por objetivo definir uma análise com uma interpretação mais realística do comportamento climático e assim sua aplicação à regiões cujo clima apresenta características climáticas transitórias, como no caso da cidade de Campinas. A principal diferença da metodologia proposta com relação às outras metodologias para análise climática está na forma de tratamento matemático implementado. Enquanto as metodologias clássicas utilizam a base matemática dos conjuntos “bem definidos”, ou seja, um elemento pertence ou não ao conjunto (no caso de um grupo climático por exemplo) esta proposta utiliza a TSN que é uma extensão da matemática onde é possível considerar a possibilidade de um elemento pertencer a dois ou mais conjuntos simultaneamente e também é possível saber “o quanto” (pelo grau de pertinência) ele pertence a cada conjunto. Esta capacidade viabiliza uma modelagem mais próxima da realidade do comportamento climático que tem por característica básica uma certa indefinição e subjetividade. Os resultados obtidos nesta primeira etapa da pesquisa são provenientes da modelagem de conjuntos nebulosos e utilização de estratégias metodológicas com base no método dos Triângulos de Conforto. Comparando os valores obtidos com os valores provenientes da utilização do próprio método dos Triângulos de Conforto observou-se uma coerência nos resultados, demonstrando que os resultados iniciais da pesquisa apontam para a viabilidade da metodologia proposta reafirmando a potencialidade da utilização da TSN para este tipo de modelagem metodológica para a análise climática.

Para as próximas etapas pretende-se delinear mais adequadamente os conjuntos nebulosos referentes aos parâmetros de AT e TC e pesquisar outras metodologias para análise climática a fim de estruturar uma metodologia própria para análise climática baseada na Teoria de Sistemas Nebulosos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHENG, L.Y. (1999) A teoria de sistema nebuloso e as informações subjetivas de conforto ambiental. In: ENCAC 1999, 5. *Anais*. Fortaleza, 1999 (CD).
- CHVATAL K.M.S. (1998) A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima. Campinas, 173p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- EVANS, J.M. Comfort Triangles – analysis of temperature variations and design strategies in passive architecture. In: ARCHITECTURE, CITY, ENVIRONMENT, PLEA 2000. *Proceedings*. Cambridge, July, 2000 pp. 556-61.
- HARRIS, A.L.N.C (1999) Metodologias baseadas na Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy Systems Theory*) para o tratamento das informações subjetivas do Projeto Arquitetônico. São Paulo, 160p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- HARRIS, A.L.N.C.; CHENG, L.Y. ; LABAKI, L.C. (2000) Remodelagem dos grupos climáticos dos "Quadros de Mahoney" utilizando a Teoria dos Sistemas Nebulosos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU 2000 – TECNOLOGIA & DESENVOLVIMENTO; CONGRESSO IBÉRICO, 10; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR, 5. *Anais*. São Paulo, agosto/ setembro, 2000. (CD-172).