



**XXI SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT**

**LOCALIZAÇÃO DE VÃOS CRÍTICOS EM PROJETO DE LINHAS AÉREAS POR MEIO DO ESTUDO DA  
CAMADA LIMITE DA ATMOSFERA**

**C.A.M. Do Nascimento(\*) – Cemig, J.A. Vasconcelos, R. M. Valle, A.H.O. Guimarães, B.A.F. Filho, G.S. Terra e  
R.D.N. Salvador - UFMG**

**RESUMO**

Este informe propõe uma nova metodologia de definição de vãos críticos de linhas aéreas de transmissão com a finalidade de determinação de sua ampacidade. Esta metodologia faz uso de dados de velocidade do vento obtidos por meio da análise numérica da camada limite da atmosfera – CLA. Os vãos com menor velocidade do vento e simultaneamente com menor distância livre são definidos como vãos críticos e são naturalmente aqueles que limitarão a capacidade térmica da linha. Os resultados obtidos na aplicação da metodologia em uma linha aérea de 138 kV, com 133 vãos, demonstram a consistência da metodologia e sua aplicabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE**

Ampacidade de Linhas de Transmissão, Camada Limite da Atmosfera, Método Determinístico, Método Probabilístico, Vãos Críticos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Um ponto relevante para a melhoria do processo de determinação da ampacidade é a identificação de quais são os vãos críticos que limitam seu valor. Na determinação da ampacidade da linha, todos os parâmetros climatológicos (velocidade do vento, temperatura ambiente e radiação solar), seriam necessários (1), assim como o conhecimento da mínima distância livre, em todos os vãos da linha. O monitoramento das condições climatológicas ao longo de toda a linha aérea por meio de estações climatológicas é de custo elevado (2), sobretudo para linhas longas.

A metodologia AmpCLA a ser apresentada neste trabalho de forma reduzida foi desenvolvida pela UFMG em parceria com a CEMIG por meio do projeto de P&D Aneel 162 (3) e (4). Nela, os vãos críticos são definidos por meio da identificação daqueles que possuam simultaneamente os menores valores de velocidade do vento e distância livre.

A determinação da velocidade do vento ao longo de toda a linha aérea seria possível através de um conjunto de sensores, porém de custo proibitivo. Além disto, a velocidade do vento varia em função do tempo e do espaço. Logo, uma questão se apresenta: Qual valor de velocidade deveria ser considerado? A resposta a esta pergunta depende da finalidade do resultado da ampacidade: a) se é para a operação da linha, logo o monitoramento em tempo real poderia ser diretamente utilizado em conjunção com o conhecimento da mínima distância livre e da temperatura ambiente; b) se o resultado da ampacidade é para fins de recapacitação, logo o monitoramento em tempo real seria útil apenas para fins de construção de uma base de dados e posterior utilização no cálculo da ampacidade estatística; c) se é para rever um projeto já desenvolvido, poder-se-ia utilizar o monitoramento em tempo real para a construção da base de dados, conforme item b.

(\*) Av. Barbacena, n° 1200 – 20º andar – ala A2 – CEP 30.190-131 – Belo Horizonte, MG – Brasil  
Tel: (+55 31) 3506-2963 – Fax: (+55 31) 3506-2963 – Email: caxandre@cemig.com.br

Por ser este monitoramento de custo proibitivo, naturalmente ele não é adotado. O que se faz normalmente no Brasil é realizar o projeto da linha considerando parâmetros climatológicos fixos, isto é, uma velocidade de vento de 1,0 m/s, uma temperatura ambiente de 30° C e uma radiação solar de 1.000 W/m<sup>2</sup>, entre outros. Esta metodologia é denominada de Ampacidade Determinística.

Na metodologia AmpCLA desenvolvida pela UFMG e CEMIG, é possível rever a ampacidade de uma linha aérea existente, calculada utilizando a metodologia determinística, por meio da determinação do conjunto de vãos críticos que limitam esta ampacidade e do recálculo de seu valor, agregando mais segurança ao cálculo da ampacidade.

Assim, um ponto de partida plausível para se trabalhar na determinação da velocidade do vento, que é o parâmetro climatológico de maior influência no cálculo da ampacidade, é a utilização do estudo numérico da camada limite da atmosfera - CLA (5) e (6) para a região em torno da linha aérea. No modelo numérico da CLA é preciso dispor da topografia digital do terreno e de medidas de velocidade do vento em pontos sobre a fronteira da região e em seu interior para validar o modelo. Assim, é preciso efetuar simulações com diversas condições de fronteira para formação de um banco de dados que será utilizado na determinação dos vãos críticos da linha. Para fins de ilustração é mostrada na Figura 1 uma linha real no domínio computacional discretizado de forma apropriada utilizando um malhador em 3D.

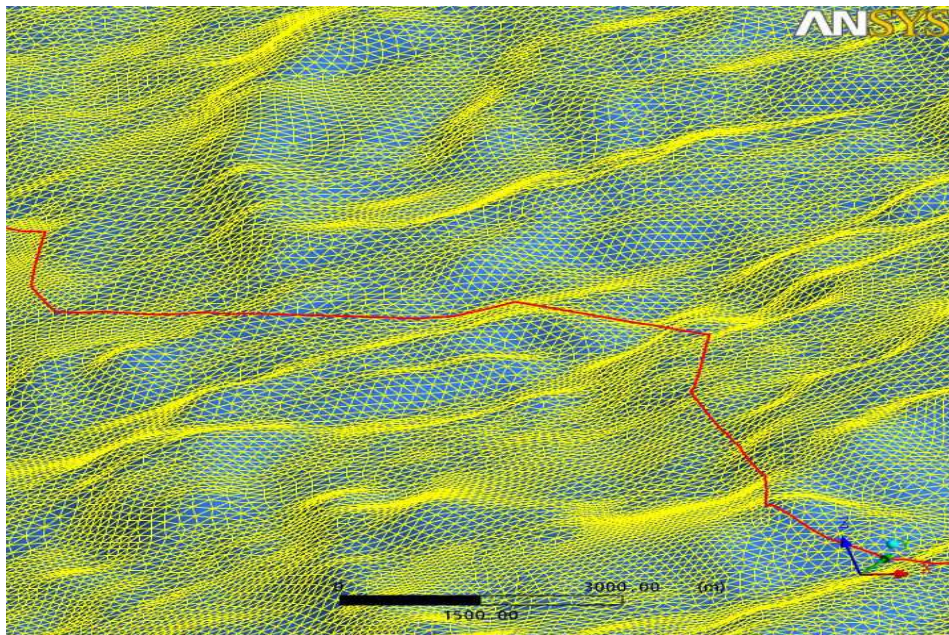


Figura 1. Discretização do domínio da linha de transmissão para análise da camada limite da atmosfera.

## 2.0 - OBJETIVO

Nesse contexto, o objetivo principal desse artigo é apresentar um novo critério técnico desenvolvido para a localização de vãos críticos em linhas aéreas que foi pesquisado e validado pela CEMIG em parceria com a UFMG e que seja mais realista do que as metodologias tradicionais de cálculo (7) e (8). Para esse objetivo, um estudo experimental foi implementado durante dois anos em uma linha aérea em operação real e por meio do estudo da camada limite da atmosfera – CLA. A partir dessas informações experimentais e de simulações numéricas da CLA foi possível identificar os vãos críticos da linha em estudo.

## 3.0 - CRITÉRIO PARA LOCALIZAÇÃO DO VÃO CRÍTICO

A definição de vão crítico juntamente com os fatores que os influenciam são elegantemente discutidos em (2). Basicamente os vãos críticos são aqueles que possuem as piores condições climáticas (basicamente a menor velocidade de vento) e concomitantemente possuem a menor distância livre entre o condutor e o objeto aterrado mais próximo. Na metodologia proposta, os vãos que possuem velocidades menores que 1 (m/s) são considerados vãos críticos climatológicos. O conjunto destes vãos são denominados de  $V_{cc}$ . O valor de velocidade de referência de 1 (m/s) é um critério técnico dependente da região do planeta considerada. Já sob o ponto de vista elétrico os vãos considerados críticos são aqueles cuja distância do condutor ao objeto aterrado mais próximo é sem folga para um valor de referência, de acordo com as especificações do projeto. Matematicamente, seja  $V_{ce}$  o conjunto de vãos críticos elétricos quanto à distância de segurança. Os vãos que pertencem a ambos os conjuntos

$V_{cc}$  e  $V_{ce}$  formam o conjunto  $V_{cne}$  de vãos críticos da linha aérea. Matematicamente,  $V_{cne}$  é o conjunto formado pela interseção entre os conjuntos  $V_{cc}$  e  $V_{ce}$ .

$$V_{cne} = V_{ce} \cap V_{cc} \quad (1)$$

#### 4.0 - ESTUDO DA CAMADA LIMITE DA ATMOSFERA – CLA

A região da CLA é definida como sendo uma fina camada da atmosfera, adjacente à superfície terrestre (até 2 km de altura e localizada na baixa troposfera), em que o escoamento do vento apresenta um elevado número de Reynolds. Esse escoamento ocorre em diferentes escalas, onde cada escala, descrita em termos de domínio computacional, utiliza modelos distintos. A modelagem matemática é baseada nas equações de quantidade de movimento, de estado, conservação de massa e energia sob a aproximação de Boussinesq e a decomposição de Reynolds. Nesse modelo, o fluido é considerado incompressível, a condutividade térmica e a viscosidade dinâmica são consideradas constantes para todo domínio do fluido. Além disso, o efeito térmico associado à viscosidade do fluido pode ser desconsiderado e as flutuações de turbulência são bem inferiores às grandezas médias.

A simulação da CLA foi realizada no âmbito deste trabalho utilizando o sistema computacional CFX da ANSYS (8) e validada por meio de dados experimentais de velocidade do vento do sítio experimental de Acuruí/MG, conforme mostrado na Figura 2. Com os detalhes visuais das estações é possível identificar diferentes tipos de relevo nas regiões de Acuruí-MG. Os pontos indicados pelos números de 1 a 8 se referem aos locais de instalação dos equipamentos de medição compostos por 8 anemômetros digitais, tipo Second Wind - modelo 2000S de partes móveis. Desse modo, dada uma região de interesse, o software CFX integra as equações que modelam a CLA e as aplica ao domínio discretizado. Além disso, ele utiliza malhas não estruturadas para refinar as grandes variações de velocidade do vento que ocorrem próximo à superfície. Foram realizadas quatro simulações, uma para ângulo de incidência do domínio. Após as simulações, foram identificados os vãos críticos climatológicos da linha aérea, isto é, quais vãos possuíam velocidade do vento inferior a 1 (m/s).

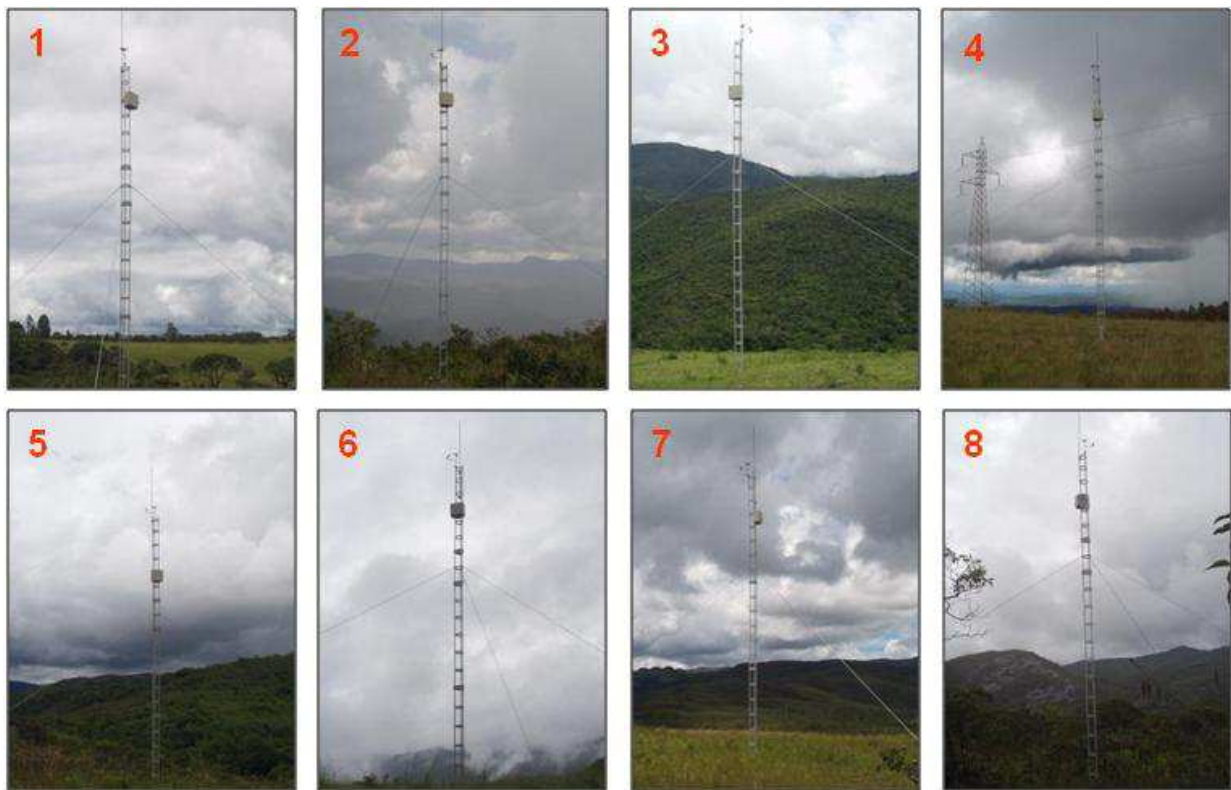


Figura 2. Visualização das estações de velocidade de vento no sítio experimental de Acuruí-MG.

#### 5.0 - ANÁLISE DOS VALORES NUMÉRICOS E MEDIDOS DE VELOCIDADE DO VENTO DO ESTUDO DA CAMADA LIMITE DA ATMOSFERA – CLA

Nesta análise, os valores numéricos de velocidade do vento foram confrontados com os valores médios de medições em campo. Alguns resultados numéricos, extraídos do banco de dados gerado com simulações da CLA,

e dados de medições experimentais, oriundos das estações climatológicas, cujo código são de identificação adotado foi 1, 2, 4, 6 e 7, de Acuruí-MG, estão apresentados na TABELA 1, com as seguintes observações:

- ✓ os valores medidos são da amplitude da velocidade do vento;
- ✓ a identificação horária da direção preferencial do vento não foi realizada devido à limitação técnica da estação tipo Second-Wind utilizada;
- ✓ a temperatura ambiente não foi registrada;
- ✓ considerou-se a média das médias horárias diárias de cada estação.

TABELA 1 Comparação entre algumas classes de amplitude de velocidade do vento simuladas e as suas medições experimentais correspondentes em Acuruí-MG.

| Código da Estação | Condição de Contorno<br>Direção do Vento<br>(graus) | Condição de Contorno<br>Magnitude do Vento<br>(m/s) | Módulo Vento<br>Simulado nas estações<br>(m/s) | *Medição<br>Experimental<br>(m/s) |
|-------------------|---|---|--|-----------------------------------|
| 1                 | 135   | 0,4   | 0,49   | 0,72                              |
| **2               | 135   | 0,4   | 0,47   | 0,48                              |
| 4                 | 135   | 0,4   | 0,57   | 2,82                              |
| 6                 | 135   | 0,4   | 0,31   | 1,34                              |
| 7                 | 135   | 0,4   | 0,53   | 1,01                              |
| 1                 | 135   | 1   | 1,24   | 1,68                              |
| **2               | 135   | 1   | 1,19   | 1,19                              |
| 4                 | 135   | 1   | 1,43   | 4,23                              |
| 6                 | 135   | 1   | 0,79   | 1,56                              |
| 7                 | 135   | 1   | 1,34   | 2,20                              |
| 1                 | 135   | 2   | 2,51   | 2,94                              |
| **2               | 135   | 2   | 2,38   | 2,33                              |
| 4                 | 135   | 2   | 2,87   | 5,54                              |
| 6                 | 135   | 2   | 1,60   | 1,80                              |
| 7                 | 135   | 2   | 2,72   | 3,13                              |
| 1                 | 135   | 3   | 3,78   | 4,28                              |
| **2               | 135   | 3   | 3,58   | 3,54                              |
| 4                 | 135   | 3   | 4,31   | 7,02                              |
| 6                 | 135   | 3   | 2,41   | 2,49                              |
| 7                 | 135   | 3   | 4,11   | 4,23                              |

Notas:

(\*) Média dos valores experimentais. Exemplo: Para um valor simulado de 2,38 m/s na estação referência de vento No.2, com 2 m/s e 135º como condição de contorno na entrada da CLA em Acuruí-MG, foram pesquisados em todos os registros experimentais entre uma faixa de  $\pm 10\%$  desse valor simulado (2,38 m/s), e a partir disso, foi realizada a média aritmética desse conjunto de dados.

(\*\*) A Estação No. 2 foi selecionada como referência por estar mais próxima à região de entrada de Acuruí-MG, e serviu como a base de referência entre os dados simulados da CLA e os dados experimentais das estações de vento.

A Figura 3 apresenta os resultados da TABELA 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** amostrados em gráfico de barras. Os dados da Estação de Vento No. 2 estão destacados na cor amarela por ter sido utilizada como referência.

Dentre as várias constatações possíveis, duas características fundamentais para o uso do banco de dados da CLA na metodologia de localização de vãos críticos são destacadas a seguir:

- ✓ De forma global, as simulações da CLA para diversas condições de fronteira geraram resultados qualitativamente compatíveis com os dados experimentais, isto é, o modelo da CLA em regime hidrodinâmico percebe as alterações do relevo da região de Acuruí-MG, pois geraram valores de amplitude da velocidade do vento distintas em vãos distintos.
- ✓ As amplitudes médias horárias das medições experimentais sempre foram superiores aos valores simulados, o que é altamente recomendável para o cálculo ainda conservador de ampacidade.

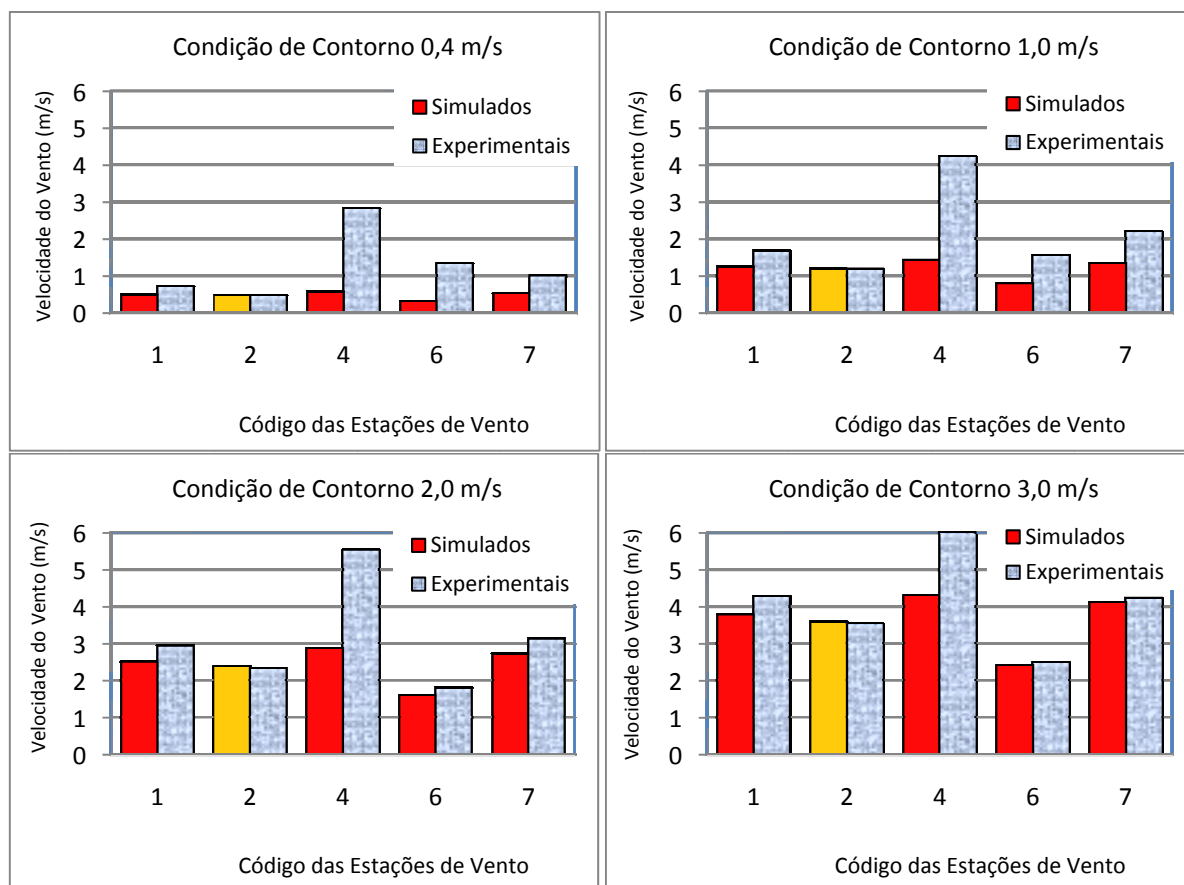


Figura 3. Comparação entre valores medidos e simulados das estações de coleta de velocidade do vento em Acuruí-MG. A coluna em amarelo, referente à estação No. 2, identifica a referência utilizada.

## 6.0 - METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta neste trabalho foi desenvolvida com base em informações de velocidade do vento, obtidas via análise da camada limite atmosférica, para determinação do conjunto de vãos críticos climatológicos em uma dada linha aérea e na redefinição de ampacidade por meio de monitoramento da linha em operação conforme mostra a Figura 4. Dessa forma, a determinação da ampacidade se torna mais precisa pelo fato de se considerar a influência do clima de forma regional na linha de transmissão.

Selecionados os parâmetros da linha aérea que será estudada, discretiza-se o domínio de estudo, ou seja digitaliza-se a região topográfica que contenha todos os vãos da linha em questão. Para esse domínio são efetuadas as simulações na camada limite da atmosfera - CLA por meio do software ANSYS CFX com as fronteiras apropriadas. A partir dos valores simulados é possível identificar os vãos críticos climatológicos  $V_{cc}$ , ou seja, aqueles que apresentam amplitudes para a velocidade do vento inferiores a um valor referencial (normalmente 1,0 m/s). Paralelamente, uma análise do projeto da linha nos permite identificar os vãos que apresentam as menores distâncias do condutor ao objeto aterrado mais próximo, ou seja, os vãos críticos elétricos  $V_{ce}$ .

A interseção dos conjuntos  $V_{cc}$  e  $V_{ce}$  fornece como resultado o conjunto de vãos que apresentam concomitantemente as menores distâncias do condutor ao objeto aterrado mais próximo bem como as menores velocidades de vento. A este conjunto, dá-se o nome de conjunto de vãos críticos. De posse dos vãos críticos, que limitam a capacidade de transmissão da linha pode-se agora monitorá-los utilizando de sensores do tipo Power Donut e determinar a ampacidade em tempo real.

Outra forma mais confiável de se avaliar a variação climatológica ao longo da linha aérea é por meio da medição direta da temperatura do condutor por meio do uso de sensores tipo Power Donut (veja Figura 4). Para fazer a análise são apresentados a seguir os dados monitorados pelos sensores Power Donut nos vãos 50 e 75. A Figura 5a apresenta as curvas da amplitude da velocidade do vento simuladas pelo CFX para várias condições de contorno impostas na fronteira. A Figura 5b apresenta as curvas de temperatura do condutor médias horárias medidas em tempo real. Por meio dessas temperaturas medidas nos vãos 50 e 75 é possível comprovar, de forma

experimental, que o vão 50 é um vão mais crítico que o vão 75, confirmando desta forma a qualidade dos dados numéricos que apontaram o vão 50 como tendo velocidades menores do que o vão 75.



Figura 4. Linha aérea de 138 kV monitorada em Acuruí-MG (Vão 50).

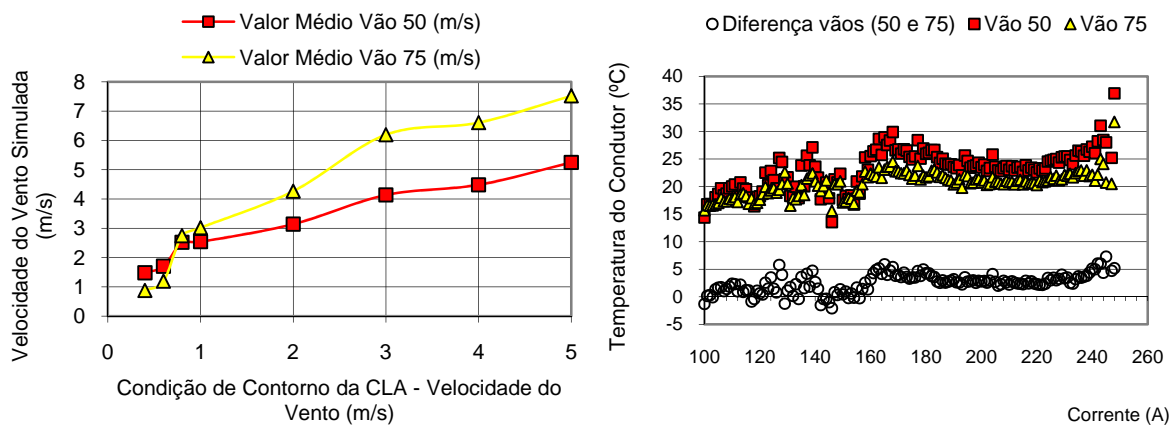


Figura 5. (a) Comparação entre os perfis médios de vento simulados para os Vãos 50 e 75 em função da condição de contorno imposta na fronteira da CLA e (b) Comparação entre os valores médios das médias horárias das temperaturas do condutor monitoradas na LT 138 kV em Acuruí-MG.

## 7.0 - APLICAÇÃO PRÁTICA

A busca pela localização precisa dos vãos críticos nas linhas aéreas ainda é uma área de estudo que requer avanços no seu conhecimento técnico. Dessa forma, o critério de localização dos vãos, proposto nesse artigo, está baseado na adoção do estudo numérico da camada limite da atmosfera ao longo de todos os vãos de uma dada linha aérea. Os resultados práticos desse artigo mostram por meio de resultados obtidos em campo como é importante verificar na fase de projeto a real influência das condições climatológicas ao longo da linha. Isso foi comprovado na aplicação real em uma linha aérea de transmissão que está localizada no Sítio Experimental da região de Acuruí/MG.

A metodologia proposta foi aplicada na determinação da ampacidade dessa linha cujo projeto utiliza condutor do tipo Linnet ou 336(mcm), corrente elétrica = 510 (A) e tensão da linha = 138 (kV). A linha em estudo possui 133 vãos distribuídos ao longo de 52 km de comprimento na região de Acuruí-MG. As distâncias livres mínimas, em todos os vãos, são calculadas ou retiradas diretamente do projeto da linha.

A camada limite atmosférica foi simulada considerando como condição de fronteira a velocidade de vento igual a 1 (m/s), para cada uma das 4 direções do vento (45; 135; 225 e 315°C), conforme indicado na Figura 6. Dos

resultados numéricos obtidos com estas simulações foram então extraídas as velocidades de vento em todos os vãos ao longo da linha aérea. Os valores mostrados na Figura 7 são os menores valores de velocidade de vento obtidos em 4 simulações. Os três vãos (20-21, 40-41 e 51-52) foram considerados críticos do ponto de vista climatológico ( $V_{cc}$ ). Tendo em vista a pequena extensão da linha, a mesma condição de temperatura ambiente e radiação solar foram consideradas fixas ao longo de toda a linha.

Por meio do projeto da linha aérea foi possível determinar o conjunto de vãos críticos elétricos ( $V_{ce}$ ). Para esta linha, este conjunto é composto de 5 (cinco) vãos apenas, isto é,  $V_{ce} = \{3-4, 19-20, 20-21, 39-40, 40-41\}$ . A localização dos vãos críticos -  $V_{cne}$  foi feita tomando a interseção entre os conjuntos  $V_{cc}$  e  $V_{ce}$ , isto é,  $V_{cne} = V_{cc} \cap V_{ce} = \{20-21, 40-41, 51-52\} \cap \{3-4, 19-20, 20-21, 39-40, 40-41\} = \{20-21, 40-41\}$ . Este resultado mostra que esta linha aérea poderia ser monitorada em tempo-real em apenas dois vãos do total de cento e trinta e três.

Esse novo critério técnico para localização dos vãos críticos é a sintetização das contribuições técnicas apresentadas nesse artigo. Os resultados obtidos na linha real comprovam experimental e numericamente a validade da metodologia proposta. Esta metodologia abre uma nova possibilidade, mesmo na fase de projeto da linha, pois com sua aplicação pode se perceber que a linha para ser eficiente talvez requer critérios específicos devido às diferenças de condições climatológicas esperadas, devido, sobretudo, à diferença de topografia ao longo da mesma. Esta metodologia poderá permitir no futuro desenvolver projetos mais realistas e mais seguros, em comparação aos métodos tradicionais da literatura disponível.

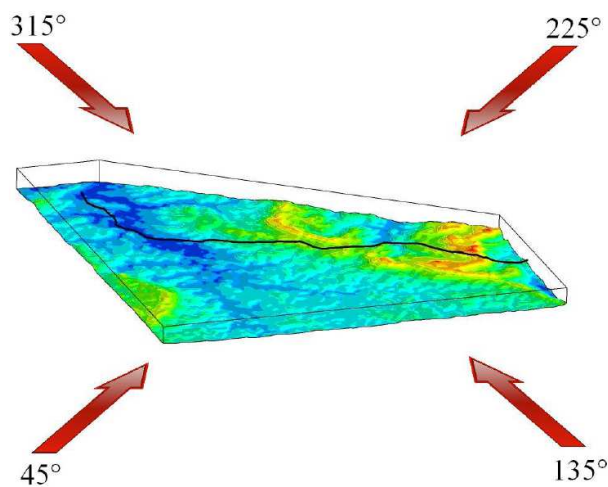


Figura 6. Domínio de simulação com os ângulos de incidência do vento na CLA.

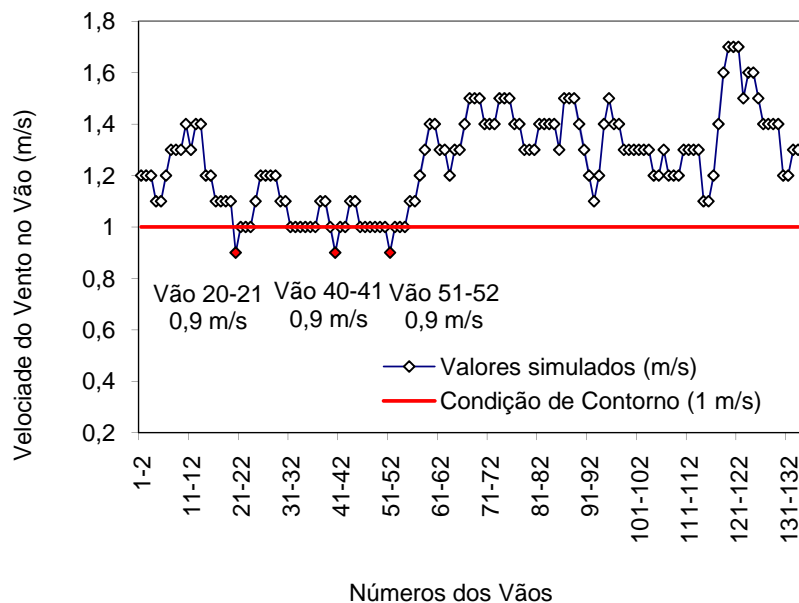


Figura 7. Velocidade do vento nos vãos da linha aérea de 138 kV.

## 8.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma nova metodologia para identificar os vãos críticos de uma linha aérea por meio do estudo numérico da camada limite da atmosfera - CLA. Para demonstrar a aplicação da metodologia em um caso real, utilizou-se uma linha aérea de 133 vãos, de 138 kV, na região de Acuruí – MG. Os resultados obtidos mostram a consistência da metodologia, bem como a necessidade de um pequeno investimento para permitir o monitoramento em tempo real e consequentemente à exploração máxima da capacidade de transmissão da linha, auxiliando a equipe de operação das concessionárias por meio do aumento de segurança.

Atualmente, um campo amplo para aplicação do estudo da CLA se justifica em linhas aéreas, pela possibilidade real de se conseguir um aumento importante na capacidade de transmissão de energia, conforme demonstrado pelos resultados obtidos.

Com certeza, fatos motivadores e desafiadores como a dificuldade de se construir novos projetos devido às restrições ambientais e econômicas, certificam a relevância do estudo da CLA, a qual permite calcular a capacidade de linhas aéreas com mais segurança, e com possibilidades reais de ganhos operacionais para as empresas do setor elétrico.

## 9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ELECTRA 174 - WG 22.12. The thermal behaviour of overhead conductors", October 1997.
- (2) RAMON, G.J. Dynamic Thermal Line Rating: Summary and Status of the State-of-the-Art Technology. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 3, July 1987.
- (3) DO NASCIMENTO, C.A.M. e J.A. Vasconcelos – P&D 162 – Aneel / Cemig D / Ciclo 2004\_05\_06 - Aplicação do Modelamento da Camada Limite Atmosférica na Ampacidade de Linhas Aéreas, Jul/2010.
- (4) DO NASCIMENTO, C.A.M. e J.A. Vasconcelos – Cálculo da Ampacidade de Linhas Aéreas de Energia Considerando a Influência da Camada Limite da Atmosfera, Tese de Doutorado UFMG/DEE - Jul/2009.
- (5) UCHIDA, T. and ONYA, Y, Numerical Simulation of Atmospheric Flow Over Complex Terrain, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 81, p. 283-293, 1999.
- (6) TAYLOR P.A. and TEUNISSEN, H.W., The Askervein Hill Project: Overview and Background data. Boundary Layer Meteorology, v.39. pp,15-39. 1987.
- (7) IEEE P738/D1. Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors, January 2007.
- (8) CIGRE-Task Force B2.12.6, Guide for selection of weather parameters for bare overhead conductor ratings. December 28, 2005.
- (9) CFX-5.5 - AEA Technology plc. Documentation. AEA Technology Engineering Software Ltd, United Kingdom, 2002.

## 8.0 – DADOS BIOGRÁFICOS



**Carlos Alexandre M. Do Nascimento:** Doutor pelo curso de pós graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (2009), mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1999), graduação em engenharia mecânica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1993) e técnico em eletrotécnica pelo CEFTE-MG (1986). Atualmente é engenheiro de tecnologia e normalização da Cemig Distribuição S.A. sendo responsável pelo programa de P&D da Aneel da diretoria de distribuição e comercialização da

Cemig D. É membro regular do Cigre Brasil por meio da coordenação de Grupo de Trabalho GT-06 “Princípios para Projeto de Linhas Aéreas” e representante do Cigre Internacional por meio do grupo B2-TAG-4 “Aspectos Elétricos de Linhas Aéreas”. Tem experiência na área de Engenharia de Distribuição e Transmissão de Energia, com ênfase em Engenharia de Otimização, Térmica e Computacional, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de linhas de transmissão, otimização de linhas de transmissão, projetos de linhas de transmissão, ampacidade, condutores especiais, supercondutores e sistemas ópticos. Possui 4 registros de patentes em sistemas de monitoramento de Linhas Aéreas e 2 Registros de Software para sistemas de potencia. Maiores detalhes podem ser vistos em seu CV Lattes.



**João Antônio de Vasconcelos:** Doutor pela École Centrale de Lyon - França (1994), Mestre pela Universidade Federal da Paraíba - Centro Tecnológico de Campina Grande (1985) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais (1982). Atualmente é Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. É membro fundador da International Compumag Society e Sociedade Brasileira de Eletromagnetismo. É consultor ad hoc do CNPq, CAPES e FAPEMIG. Tem desenvolvido projetos de pesquisa com empresas do setor elétrico e atua no desenvolvimento de ferramentas computacionais para solução de problemas do setor elétrico, em especial para linhas de transmissão (determinação de ampacidade e alocação de pára-raios em linhas aéreas). Além desta atuação, destaca-se também sua atuação nas áreas de computação

evolucionária, inteligência artificial, mineração de dados e eletromagnetismo computacional, para aplicações principalmente em sistemas de energia elétrica. Maiores detalhes podem ser vistos em seu CV Lattes.