

Quantificação da Evolução Espacial de Elementos Climáticos para Projetos de Sistemas Elétricos

A. A. Menezes Jr, BATAVIA

A. B. R. de Macedo, LIGHT -RIO

G. Azzam, LIGHT-RIO

M. M. Nogueira, LIGHT-RIO

Resumo - São aqui apresentados os principais elementos desenvolvidos no projeto de P&D 2000 da ANEEL, elaborado pela a Light Serviços de Eletricidade Ltda., quando estão dados relativos a variáveis climáticas atuantes sobre os sistemas de transmissão aéreos foram estatisticamente tratados. Na sua forma final de apresentação de resultados, foram produzidos mapeamentos que oferecem aos usuários meios de avaliar as evoluções espaciais das variáveis estudadas na área da Light-Rio. Os elementos objeto desse estudo foram aqueles que de forma permanente constituem uma necessidade informativa, de tal sorte que estudos bem fundamentados possam ser levados a uma consecução tendo precisão compatível com a sua importância. Esses elementos são: temperatura ambiente, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação pluvial, evaporação, insolação, nebulosidade, densidade relativa do ar, níveis cerâmicos, fatores de correção atmosféricos e velocidades extremas de vento. As abordagens descritas nos itens seguintes são genéricas e portanto aplicáveis a qualquer das variáveis citadas. No entanto, por limitação física, este documento finaliza suas considerações focalizando com exclusividade as velocidades extremas de vento, pela importância que desempenham nos sistemas elétricos.

Palavras-chave - clima, desempenho, estatística, mapas, modelagens

I. INTRODUÇÃO

As variáveis climáticas têm se consolidado como elementos fundamentais nos aprimoramentos das atividades de Planejamento, Projeto e Operação dos sistemas elétricos. Mesmo no caso do Brasil, onde as condições climáticas não são adversas como em inúmeros outros países, muitas vezes assolados pelos mais variados cataclismos, há sempre uma necessidade básica de que o ambiente seja bem modelado, de forma a permitir projetos otimizados com base na quantificação dos elementos externos. Esta mesma quantificação permite que os momentos mais hostis ao suprimento eletro-energético sejam identificados e que as medidas preventivas adequadas sejam tomadas a priori, evitando os diversos contratemplos das ações corretivas de emergência. O Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento que ensejou este documento objetivou em primeira instância a formulação de modelos analíticos dos elementos climáticos relevantes e já definidos no resumo acima. O acesso às informações processadas é facilitado através da elaboração de mapas contendo as respectivas isolinhas das estatísticas

dessas variáveis, por mês e por ano, na maioria dos casos, para que a sazonalidade dos eventos possa ser inferida.

II. MODELOS DE MAPEAMENTOS

Existem publicadas várias técnicas de mapeamentos que definem a variabilidade espacial de elementos climáticos, desde que a rede de coleta tenha uma densidade capaz de representar os diversos climas da região alvo dos interesses. Este documento concentrará sua atenção em duas dessas técnicas que, não raro, logram o esperado êxito quanto à precisão: os modelos de regressão linear múltipla e os modelos de interpolação espacial.

A. Modelos de Regressão Linear Múltipla

As características geográficas de uma região, tais como latitudes, longitudes e altitudes, têm marcante influência em determinados parâmetros climáticos, fato este que estabelece o desafio de quantificar essa relação, de forma que o modelo de transferência espacial seja bem elaborado. Pode-se, em tais casos bem definidos, tentar o estabelecimento de uma relação do tipo:

$$var = k_0 + k_1 (x_1)^{t_1} + k_2 (x_2)^{t_2} + k_3 (x_3)^{t_3} \quad (1)$$

var : variável a ser modelada

x_1, x_2 e x_3 : latitude, longitude e altitude,

t_1, t_2 e t_3 : expoentes quaisquer, geralmente iguais a 1.

k_0, k_1, k_2 e k_3 : coeficientes de ajuste

Uma equação como a acima permite, em qualquer ponto da região em análise, o cálculo da variável, conhecidas suas geo-referências e a altitude. A aceitação do modelo se dá quando o coeficiente de correlação é elevado, próximo de um, ou quando os erros cometidos no ajuste são aceitáveis.

B. Modelos de Interpolação Espacial

Há casos em que as formulações de regressão linear múltipla não são capazes de representar a evolução espacial da variável, mesmo após a introdução de novas variáveis independentes no modelo, ou as mesmas variáveis elevadas a expoentes diferentes do unitário. Significa dizer, que a variabilidade espacial de certas variáveis tem um nível de complexidade maior pelas várias influências regionais que sofrem, muitas vezes microclimáticas, e que a sua modelagem matemática não se faz de forma simples e

III AS ISÓTACAS

direta. Em tais casos, são utilizados modelos alternativos do ponto de vista de interpretação e aplicação e podem ser denominados modelos de interpolação espacial. Um dos modelos, e que será aqui adotado, faz uso de hipersuperfícies que têm sua expressão analítica dada pela seguinte expressão:

$$z = \sum_{i=1}^n C_i [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{1/2} \quad (2)$$

onde z é a altura da hipersuperfície no ponto de coordenadas (x,y) e representa o valor da variável objeto de modelagem, n é o número de estações de medição e C_i são coeficientes que definem características da hipersuperfície.

C. Aderência e Validação dos Modelos

É uma boa prática de verificação da aderência de modelos, que se proceda à denominada calibração/validação, que pode ser descrita da seguinte forma:

- determina-se o modelo que melhor define a evolução espacial da variável em questão, numa determinada área servida por n estações de coleta;
- retira-se uma estação qualquer da massa de dados inicial e repete-se a aplicação do modelo proposto, obtendo-se uma nova expressão matemática;
- determina-se então o valor da variável em consideração na estação excluída e calcula-se o erro pontual;
- repetem-se os mesmos procedimentos acima para todas as estações da área em estudo;
- avalia-se se os erros constatados são aceitáveis ou não, o que, em outras palavras, é a validação do modelo.

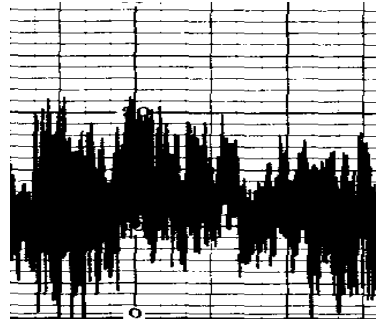
D. Os Resultados das Aplicações dos Modelos

Os conceitos descritos em A., B. e C. foram aplicados a uma considerável e representativa massa de dados meteorológicos de várias fontes, tais como: INMET¹, DEPV², ANEEL³, SERLA⁴, IBGE⁵ e CEPEL/LIGHT.⁶ Os resultados específicos foram transformados em mapas contendo as respectivas isolinhas e podem ser apreciados nos 11 relatórios técnicos emitidos dentro do programa de P&D. De particular importância revestem-se os resultados práticos obtidos com relação às velocidades prospectivas de vento inferidas para a área da Light-Rio e os consequentes subsídios que deles podem ser extraídos para efeitos práticos. Dada a limitação física deste documento, os itens seguintes focalizam basicamente os resultados relativos exclusivamente à atividade eólica intensa.

Antes de se abordar a definição dos ventos destrutivos no Rio de Janeiro, propriamente ditos, vale um razoável envide de esforços nos seguintes conceitos: os tipos de ventos incidentes na região e as características desejáveis da coleta.

A. Os Ventos Causados Pelas Frentes

No exame visual de anemogramas, os ventos causados pelas frentes têm um aspecto relativamente alto e largo, lembrando que o eixo das abcissas representa o tempo e o eixo das ordenadas representa a intensidade da velocidade. A elas estão associadas intensidades de vento bem acima da média local, com duração de algumas ou muitas horas. Outra característica a ser enfatizada é a de que os ventos frontais alargam-se por algumas centenas de quilômetros, fato que os torna mais facilmente identificáveis em intensidade e duração em alguma estação nas vizinhanças do fenômeno. Os ventos dos deslocamentos de grandes massas de ar, associados aos sistemas de pressão de largas escalas, geralmente formando as frentes mencionadas, podem causar uma estabilidade vertical na atmosfera.



Neste fenômeno, geralmente, os ventos fortes têm duração prolongada com rajadas de menor intensidade, direção do vento quase constante ou de lenta variação, mudança de temperatura e chuva prolongada.

Figura 1 - Anemograma típico de vento frontal

Ventos frontais têm fatores de rajada baixos (1,4, por exemplo) e a ausência de mudanças bruscas de variação na sua direção pode até reduzir bastante a sua capacidade destrutiva.

B. As Tempestades

Por outro lado, as tempestades, ou ventos de formação local, são devidas às instabilidades atmosféricas ocasionadas pelo movimento convectivo do ar e, invariavelmente, estão associadas a nuvens do tipo *cumulus-nimbus*, trovoadas, relâmpagos, chuvas fortes, queda da pressão atmosférica e mudanças bruscas da direção do vento e da temperatura do ar. Tais fenômenos têm uma relativa curta duração, podendo variar de minutos a poucas horas. Quanto ao seu aspecto em anemogramas, as tempestades se apresentam relativamente mais altas e estreitas, com valor de pico em geral bem mais elevado do que o dos ventos frontais, mas com tempos de duração bem mais curtos, numa média de poucos a vários minutos, com células convectivas ciclônicas e fortes rajadas. A figura 2 apresenta o registro anemográfico típico dessa instabilidade atmosférica. Uma particularidade bem notável deste tipo de ocorrência é que os fatores de rajada associados são bem mais elevados, em comparação com o que se verifica com os ventos frontais.

¹ Instituto Nacional de Meteorologia

² Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo

³ Agência Nacional de Energia Elétrica

⁴ Superintendência Estadual de Rios e Lagoas

⁵ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para modelar a altitude

⁶ Convênio entre CEPEL e LIGHT, para a rede anemo-ceraunométrica

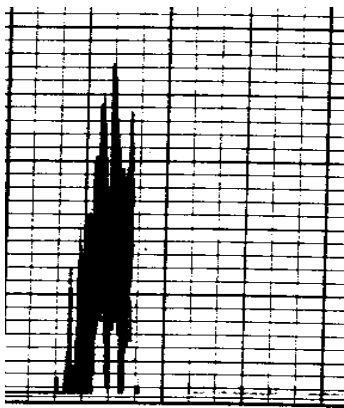


Figura 2 - Anemograma típico de tempestade

São os sistemas mistos ou associados de sistemas frontais com tempestades.

C. Os sistemas mistos

Podem ser enquadrados nessa situação, os eventos em que, antecipando as frentes, ocorrem as linhas de instabilidades pré-frontais com formação de células convectivas com nuvens do tipo *cumulus-nimbus*, onde o período de ventos com altas velocidades tem duração mais longa do que os de formações locais apresentando, portanto, médias mais elevadas com altas rajadas.

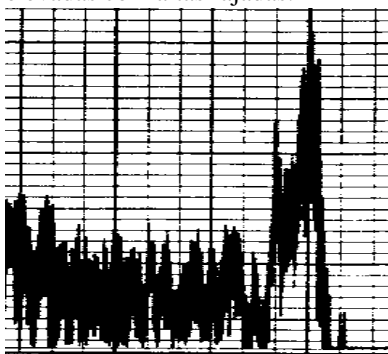


Figura 3 - Anemograma típico de sistema misto

Além disso, tais fatores tendem a decrescer com os valores máximos instantâneos. As descrições anteriores quanto aos ventos frontais e as tempestades são aqui colocadas em termos gerais e teóricos pois, na prática, e numa expressiva quantidade de casos, verifica-se também a ocorrência dos dois fenômenos associados.

As características de mudança de direção do vento e de baixa pressão estão associadas a este tipo de fenômeno. Os fatores de rajada nestes casos são inferiores aos de tempestades, i.e., os ventos de 10 minutos são mais elevados.

D.O Tempo Do Valor Médio Da Velocidade

Vários livros como [1] têm considerações bastante aprofundadas sobre o tema, com esclarecimentos compreensíveis sobre o intervalo de tempo de leitura dos ventos. Há duas características na coleta que a estatística exige, de forma que os elementos amostrais sejam aleatórios:

- as propriedades estatísticas das amostras devem ser independentes do instante em que a velocidade do vento é medida: é a característica da estacionariedade
- as propriedades estatísticas das amostras devem ser independentes do tempo ao longo do qual a leitura é feita: é a característica da ergodicidade

A primeira condição é somente atendida quando as leituras são feitas em períodos relativamente longos [1]. A experiência mundial mostra que períodos adequados encontram-se situados entre 5 minutos e poucas horas, dependendo do tipo de evento. Como nesta mesma faixa de

valores de intervalo de tempo o valor espectral da velocidade é baixo, significando uma baixa taxa de variação na energia eólica envolvida, a segunda condição também fica satisfeita para a faixa de 5 minutos a poucas horas. Os valores básicos adotados em [2,3] estão portando em concordância com as assertivas acima e são portanto dissuasivos de coletas sistemáticas da ordem de poucos segundos como tempo de média das leituras.

E. Os Mapeamentos

Os conceitos de A. a D. contém as diretrizes para os mapeamentos (figuras 4 e 5), resumidas da seguinte forma, admitida uma boa familiaridade do leitor com as questões específicas que unem máximos anuais de velocidades do vento com a já bem difundida distribuição de Gumbel:

- as velocidades máximas anuais de vento, em cada estação, foram determinadas independentemente da sua origem (frontal, tempestade ou misto), sempre com tempos de média de 10 minutos, lidas de anemogramas
- os fatores de rajada da figura 5 foram identificados através de toda a massa de dados acima de 60 km/h e não somente dos valores máximos anuais, de forma a inferir fatores de rajadas mais realistas que tivessem uma probabilidade de 20 % de serem excedidos

IV CONCLUSÕES GERAIS

A. Os mesmos procedimentos aqui descritos podem ser adotados para quaisquer outras regiões, desde que se invista na aquisição de dados junto aos órgãos de coleta

B. Um dos dois modelos de transferência espacial dará respostas compatíveis com a precisão desejada, mesmo que haja necessidade de que a massa inicial de dados tenha que ser avolumada.

C. Os mapeamentos resultantes sempre conseguem disponibilizar ao projetista de sistemas aéreos uma visão espacial das variáveis em questão, dando-lhe maior flexibilidade na escolha otimizada das estatísticas dos parâmetros do estudo. Particularmente estimulante podem ser os casos em que haja expressiva variação espacial do fenômeno em análise, de forma a estabelecer bases práticas para projetos diferenciados por trechos de linhas.

D. Mesmo sobre uma extensão territorial relativamente reduzida, em relação aos 8.500.000 km² do Brasil, as velocidades de vento diferem de cerca de 20 km/h (veja a figura 4, 250 anos, 10 minutos, terreno B), o que pode ser economicamente estimulante para definir padrões estruturais discretos ou com cartas de aplicação diferenciadas.

E. Os fatores de rajada, que relacionam as velocidades de 10 minutos e de 3 segundos são sistematicamente superiores aos indicados em [2,3], implicando subestimativas no cálculo dos carregamentos mecânicos estruturais. O fato sugere um aprofundamento do assunto, principalmente quando da próxima revisão de [2].

V REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Peter Sachs, "Wind Loads in Engineering", Pergamon Press:
- [2] NBR-5422, "Projetos de Linhas de Transmissão".
- [3] IEC -286, "Wind Loadings on Overhead Transmission Lines"

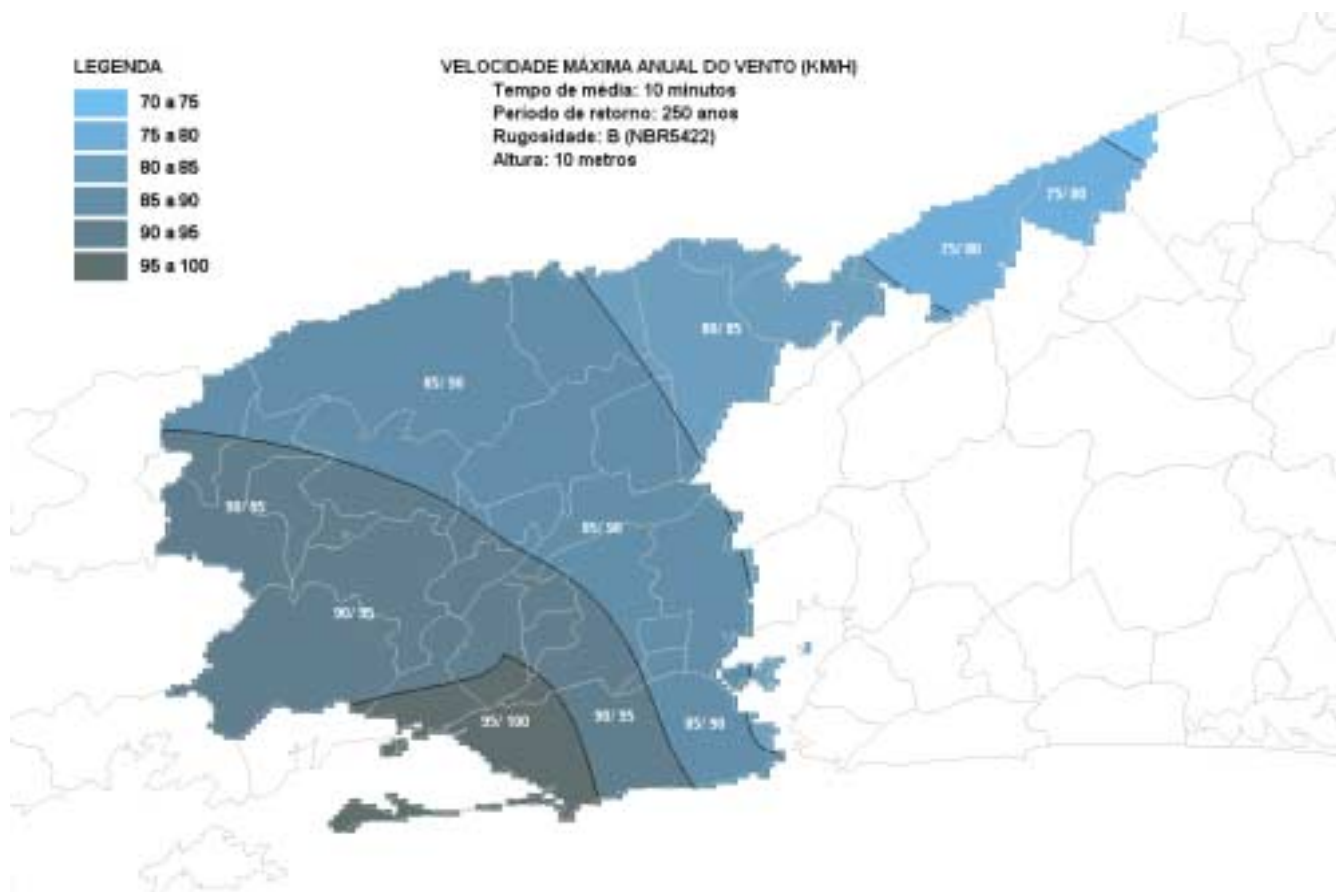


Figura 4 - Isótcas referidas a 10 minutos , período de 250 anos, terreno tipo B, medições a 10 m de altura (km/h)

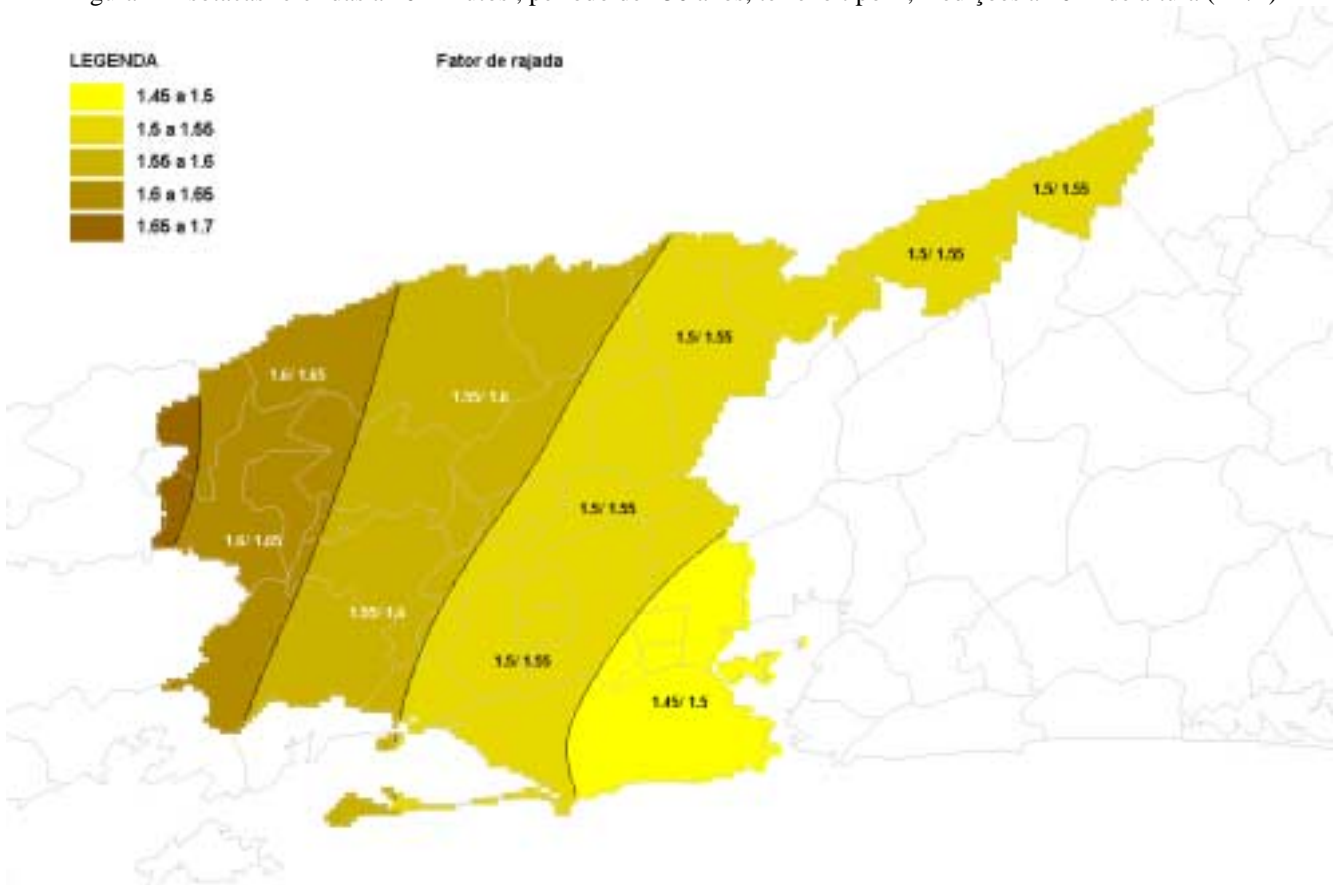


Figura 5 - Fatores de rajada (p.u.) para a transformação das velocidades de ventos de 10 minutos para 3 segundos