

<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Descrição</i>	<i>Por</i>	<i>Aprovação</i>
0B	24/09/2013	Conforme comentários	MF	SA
0A	03/05/2013	Emissão Inicial	MF	SA

 <b>TRIÂNGULO MINEIRO</b> <b>TRANSMISSORA</b>	<i>Nome da Obra</i>	<b>LT 500kV MARIMBONDO - ASSIS</b>							
	<i>Título do Documento</i>	<b>MEMORIAL DO ESTUDO DE CLIMA</b>							
  <small>Indústria Construções e Montagens Inpelec S.A.</small>	<i>Projeto</i>	MARCOS F.	24/09/2013	<i>Nº</i>	<b>311-010-RT-4-B</b>	<i>Rev</i>	0B	<i>Folha</i>	1/39
	<i>Aprovação</i>	SÉRGIO A.	24/09/2013	<i>Sit.Proj.</i>	Básico	<i>Clas.Proj.</i>	Eletromecânico		
	<i>Responsável</i>	SÉRGIO A.	24/09/2013						

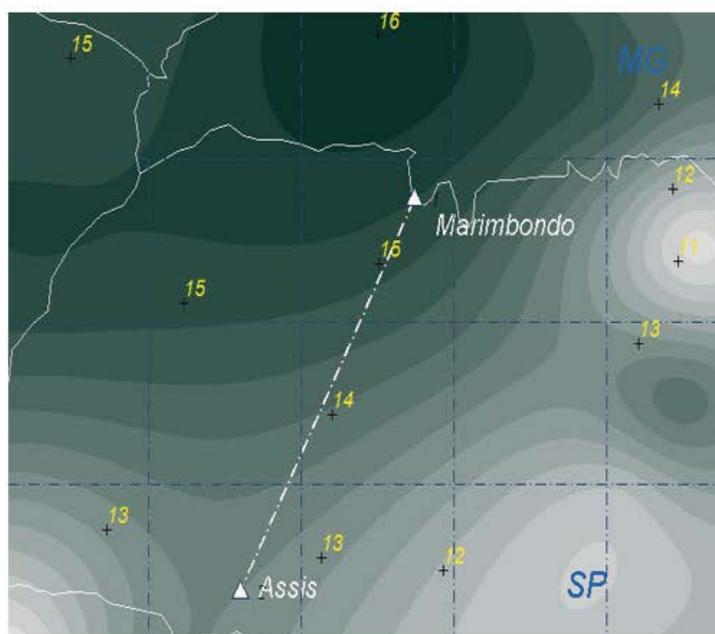
## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Objetivo</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Temperaturas do ar</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Densidade Relativa do Ar e Fatores de Correção Atmosféricos</b>	<b>6</b>
3.1	Valor médio da DRA e dos FCAs	7
3.2	Os desvios padrão da DRA e dos FCAs	9
<b>4</b>	<b>Altitude e a pressão atmosférica</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Mapeamento das variáveis</b>	<b>11</b>
5.1	Densidades relativas do ar e “nível de tempo - ruim”	13
5.2	Fatores de Correção Atmosféricos	13
5.3	Umidades relativa e absoluta	14
5.3.1	Cálculo dos pontos de orvalho e de gelo	14
5.3.2	Cálculo das pressões de vapor	15
5.3.3	Cálculo das umidades absolutas	15
<b>6</b>	<b>Conclusões e recomendações</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Comentários finais</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>Referências</b>	<b>17</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>Dados para determinação espacial da DRA e dos FCAs</b>	<b>19</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>Características das estações do INMET</b>	<b>27</b>
<b>Anexo 3</b>	<b>Distribuição espacial das estações e altitudes</b>	<b>27</b>
<b>Anexo 4</b>	<b>Mapa das pressões atmosféricas</b>	<b>28</b>
<b>Anexo 5</b>	<b>Mapas das temperaturas ambientes</b>	<b>28</b>
<b>Anexo 6</b>	<b>Mapas das densidades relativas do ar e de “tempo - ruim”</b>	<b>32</b>
<b>Anexo 7</b>	<b>Mapas dos fatores de correção atmosféricos</b>	<b>34</b>
<b>Anexo 8</b>	<b>Mapas das umidades do ar</b>	<b>37</b>
<b>Anexo 9</b>	<b>Resultados das correlações nos modelos analíticos</b>	<b>38</b>

# Relatório Técnico para a TACTA Enercon

## Elementos Ambientais para a LT Marimbondo - Assis, 500 kV

**BATÁVIA**  
Engenharia



*Preparado por Amauri A Menezes em 01/2013*

*Este Relatório Técnico apresenta o memorial descritivo para a determinação dos elementos climáticos relevantes na implantação das LTs acima citadas. A reprodução parcial ou total deste documento só deve ser feita com a permissão da TACTA Enercon*

1	Objetivo	5
2	Temperaturas do ar	6
3	Densidade Relativa do Ar e Fatores de Correção Atmosféricos	7
3.1	Valor médio da DRA e dos FCAs	8
3.2	Os desvios padrão da DRA e dos FCAs	10
4	Altitude e a pressão atmosférica	12
5	Mapeamento das variáveis	12
5.1	Densidades relativas do ar e “nível de tempo - ruim”	14
5.2	Fatores de Correção Atmosféricos	14
5.3	Umidades relativa e absoluta	15
5.3.1	Cálculo dos pontos de orvalho e de gelo	15
5.3.2	Cálculo das pressões de vapor	16
5.3.3	Cálculo das umidades absolutas	16
6	Conclusões e recomendações	16
7	Comentários finais	18
8	Referências	18
	Anexo 1 Dados para determinação espacial da DRA e dos FCAs	20
	Anexo 2 Características das estações do INMET	27
	Anexo 3 Distribuição espacial das estações e altitudes	27
	Anexo 4 Mapa das pressões atmosféricas	28
	Anexo 5 Mapas das temperaturas ambientes	28
	Anexo 6 Mapas das densidades relativas do ar e de “tempo - ruim”	32
	Anexo 7 Mapas dos fatores de correção atmosféricos	34
	Anexo 8 Mapas das umidades do ar	37
	Anexo 9 Resultados das correlações nos modelos analíticos	38

## 1 Objetivo

Este relatório objetiva quantificar as variabilidades espacial e temporal de fenômenos meteorológicos que tenham interferências substanciais com a *linha de transmissão Marimbondo - Assis, 500 kV*. As variáveis aqui objetivadas têm as seguintes características gerais ao longo das linhas citadas:

Variáveis Ambientais	unidades
Altitude média	alt - metros
Temperatura média	$t_{med}$ - °C
Temperatura mínima média anual	$t_{min\ anual}$ - °C
Temperatura mínima média no inverno	$t_{min\ inv}$ - °C
Temperatura mínima absoluta	$t_{min\ abs}$ - °C
Temperatura máxima média anual	$t_{max\ anual}$ - °C
Temperatura máxima média no verão	$t_{max\ ver}$ - °C
Temperatura máxima absoluta	$t_{max\ abs}$ - °C
Pressão Atmosférica	$p_{atm}$ - mbar
Densidade Relativa do Ar	$DRA_{50\%}$ e $DRA_{90\%}$ - ( pu)
Fator de Correção Atmosférico, 60 Hz	$FCA_{60Hz-50\%}$ e $FCA_{60Hz-99\%}$ - ( pu)
Fator de Correção Atmosférico, surto de manobra	$FCA_{man50\%}$ e $FCA_{man90\%}$ - ( pu)
Fator de Correção Atmosférico, surto atmosférico	$FCA_{atm50\%}$ e $FCA_{atm90\%}$ - ( pu)
Umidade Relativa do Ar média	$U_{rel}$ - (%)
Umidade Absoluta do Ar média	$u_{abs}$ - (g/m <sup>3</sup> )
Tempo Ruim (para níveis de RI)	$T_{ruim}$ - (%)

Linhas de transmissão aéreas constituem-se em empreendimentos com dimensões territoriais consideráveis e, não raro, atravessam áreas com diferentes condições geograficamente bem diferenciadas, resultando numa multiplicidade de elementos climáticos sobre elas atuantes. Portanto, torna-se relevante, para a execução de um projeto otimizado, que haja a disponibilidade de métodos de inferências capazes de avaliar a evolução espacial das grandezas ambientais ao longo da rota da LT em estudo. A coleta de tais variáveis deve ser convenientemente feita em estações meteorológicas na mesma região e obrigatoriamente devem quantificar as suas respectivas variabilidades temporais. Como certo número de variáveis ambientais aqui enfocadas é dependente da altitude, o estudo em curso considera também a altitude na região, como forma de dimensionar algumas variações espaciais do clima, através de modelos matemáticos de correlação linear múltipla. A densidade relativa do ar (DRA) e os fatores de correção atmosféricos (FCAs<sup>1</sup>) não são variáveis meteorológicas, no rigor do conceito, mas encontram-se aqui incluídas por serem diretamente derivados da temperatura do ar, da pressão atmosférica e, para os FCAs, também da umidade absoluta do ar.

## 2 Temperaturas do ar

Os dados de temperatura utilizados no estudo foram medidos em estações climatológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)<sup>2</sup> e instaladas nos estados de implantação do empreendimento. Nessas estações, as temperaturas máximas e mínimas são medidas diariamente e as temperaturas correntes às 12, 18 e 24 horas, referidas ao horário de Greenwich (Greenwich Meridian Time - GMT). No procedimento de operação das estações do INMET, as temperaturas extremas diárias ficam perfeitamente caracterizadas.

Já para o cálculo da temperatura média diária, o ideal seria que as medições tivessem uma taxa de amostragem horária ao longo de todo o dia. Para contornar esse problema, obtendo-se valores com erros inferiores a 1 °C, a temperatura média diária é estimada através da seguinte equação, de uso rotineiro pelo INMET:

$$T_{med} = \frac{T_{12} + 2 \cdot T_{24} + T_{máx} + T_{mín}}{5}$$

$T_{med}$  - temperatura média diária  
 $T_{máx}$  - temperatura máxima diária  
 $T_{mín}$  - temperatura mínima diária  
 $T_{12}$  e  $T_{24}$  - temperaturas às 12 e 24 horas

As estatísticas dos valores de temperatura, medidos diariamente no período de 1961 a 1990, podem ser consultadas em [1]. Além dos valores médios anuais, buscou-se caracterizar as médias das temperaturas extremas, extraindo-se do banco de dados os valores mínimos ou máximos ocorridos ao longo do ano, independentemente do mês em que foram anotados, e garantindo assim mapas de isolinhas que refletissem valores extremos que fossem os mais conservadores. Portanto, neste estudo,

<sup>1</sup> ou ainda RIS (Relative Insulation Strength)

<sup>2</sup> INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura

extremos de temperatura encontram-se também avaliados apropriadamente nos respectivos meses em que ocorrem.

*A seguinte nomenclatura deve ser seguida:*

<i>média das temperaturas máximas</i>	(°C)	- anual	(média dos 12 meses)
<i>média das temperaturas máximas</i>	(°C)	- de verão	(média no verão)
<i>média das temperaturas mínimas</i>	(°C)	- anual	(média dos 12 meses)
<i>média das temperaturas mínimas</i>	(°C)	- de inverno	(média no inverno)

Além disso, os mapeamentos apresentados no Anexo 5 correspondem aos valores termométricos tal como medidos pelo INMET, nas suas estações de interesse, e corrigidos pela altimetria definida no item 4. Assim é que, para cada 100 m de correção na altitude, um decréscimo de 0,4 °C é feito nos valores das temperaturas. Esta correção de 0,4 °C encontra-se definida por correlação dos valores medidos pelo INMET [1] em sua rede própria mostrada na Figura 2.1.

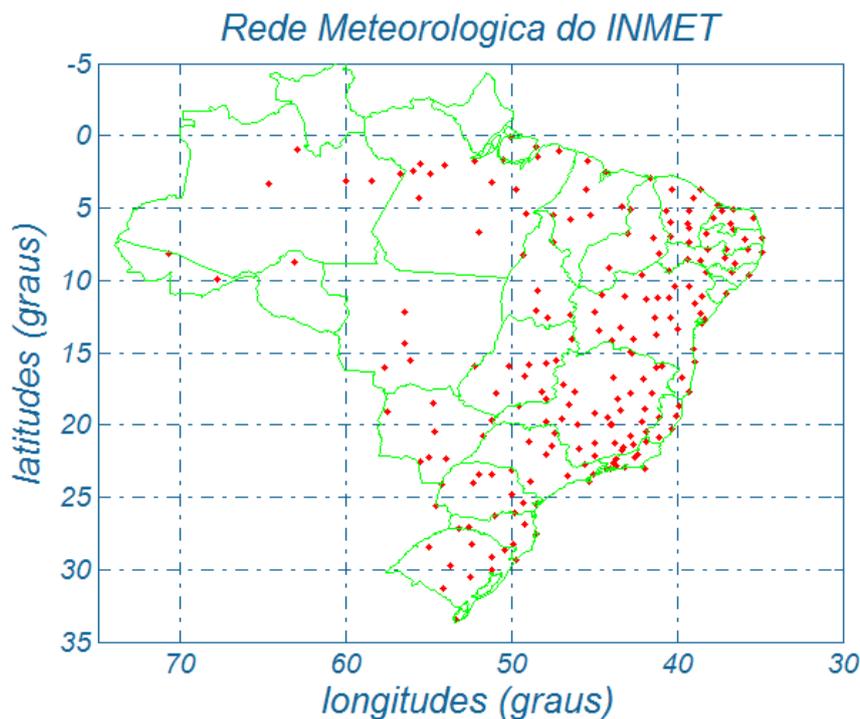


Figura 2.1 - Distribuição espacial das estações meteorológicas do INMET

### *3 Densidade Relativa do Ar e Fatores de Correção Atmosféricos*

A caracterização da média e do desvio padrão da densidade relativa do ar (DRA) e dos fatores de correção atmosféricos (FCAs), para frequência industrial e surtos de manobra ou atmosféricos, é aqui feita através de abordagens distintas.

### 3.1 Valor médio da DRA e dos FCAs

O valor médio dessas variáveis será feito por meio dos dados médios anuais medidos na rede do INMET (temperatura, pressão atmosférica para a DRA, acrescidos da umidade absoluta, para os valores dos FCAs). DRAs e FCAs têm distribuições normais para qualquer efeito prático [8] e seus valores médios podem ser calculados com as médias das variáveis indiretas ( $t_{med}$ ,  $p_{med}$  e  $u_{abs}$ ). Para dirimir qualquer dúvida quanto a essa afirmativa, as Tabelas 3.1.1 e 3.1.2 apresentam os respectivos resultados, quando se usa um banco de dados horário em 10 anos, e quando se faz o cálculo com médias anuais. O banco de dados usado como referência é o do DEPV<sup>3</sup>, tal como apresentado em [8].

Tabela 3.1.1 - Comparação dos valores para DRA calculados por ( $t_{med}$ ,  $p_{med}$ ) a cada hora e com valores médios anuais

Cidade	sigla	DRA <sub>50%</sub> (pu) como em [8]	DRA <sub>50%</sub> (pu) médias anuais
Belém	BE	0.976	0.980
Belo Horizonte	BH	0.913	0.900
Brasília	BR	0.883	0.870
Campo Grande	CG	0.927	0.930
Curitiba	CT	0.913	0.890
Caravelas	CV	0.987	0.990
Florianópolis	FL	1.001	1.000
Fortaleza	FZ	0.975	0.970
Galeão (RJ)	GL	0.990	0.990
Campinas	KP	0.926	0.926
Manaus	MN	0.968	0.970
Maceió	MO	0.973	0.980
Natal	NT	0.975	0.975
Porto Alegre	PA	1.004	0.990
Recife	RF	0.980	0.980
Rio de Janeiro (SD)	RJ	0.991	0.990
São Luiz	SL	0.971	0.980
São Paulo	SP	0.918	0.920
Salvador	SV	0.983	0.980
Vitória	VT	0.991	0.980

<sup>3</sup> Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo, do Ministério da Aeronáutica.

Tabela 3.1.2 - valores dos FCAs para 60 Hz ( $FCA_{60Hz}$ ) e surtos de manobra ( $FCA_{man}$ ), calculados por ( $t_{med}$ ,  $p_{med}$  e  $u_{abs}$ ) a cada hora e com valores médios anuais, gapes de 1 a 5 metros

tensão a 60 Hz (gape de 3 m)		
sigla	FCA50% (pu) como em [8]	FCA50% (pu) médias anuais
BE	1.062	1.061
BH	0.960	0.959
BR	0.925	0.922
CG	0.992	0.994
CT	0.939	0.936
CV	1.050	1.050
FL	1.033	1.034
FZ	1.053	1.053
GL	1.045	1.045
KP	0.965	0.964
MN	1.059	1.059
MO	1.044	1.044
NT	1.049	1.049
PA	1.022	1.023
RF	1.053	1.053
RJ	1.042	1.043
SL	1.059	1.058
SP	0.956	0.953
SV	1.053	1.053
VT	1.049	1.049

surtos de manobra (gape de 3 m)		
sigla	FCA50% (pu) como em [8]	FCA50% (pu) médias anuais
BE	1.041	1.040
BH	0.962	0.963
BR	0.932	0.932
CG	0.987	0.988
CT	0.948	0.949
CV	1.034	1.033
FL	1.023	1.023
FZ	1.035	1.034
GL	1.030	1.029
KP	0.967	0.969
MN	1.039	1.038
MO	1.028	1.027
NT	1.032	1.031
PA	1.015	1.016
RF	1.035	1.034
RJ	1.028	1.028
SL	1.039	1.038
SP	0.960	0.961
SV	1.035	1.034
VT	1.033	1.032

As diferenças verificadas nos três casos indicam que as médias podem muito bem ser aproximadas usando-se valores médios das variáveis indiretas ( $t_{med}$ ,  $p_{med}$  e  $u_{abs}$ ). Essa é uma alternativa a se um cálculo bem mais requintado, tal como é o de bancos de dados horários durante 10 anos, com todas as variáveis lidas simultaneamente. A simplificação é bastante apreciável, pois nem sempre, ou quase nunca, tais bancos encontram-se disponíveis. Portanto, os dados do INMET, que tem uma bem mais expressiva quantidade de estações (205, em todo o Brasil, por ocasião da elaboração de [1]) são capazes de fornecer valores médios para DRA e FCAs. Observe ainda a Figura 3.2.1 onde a rede do DEPV encontra-se grafada.

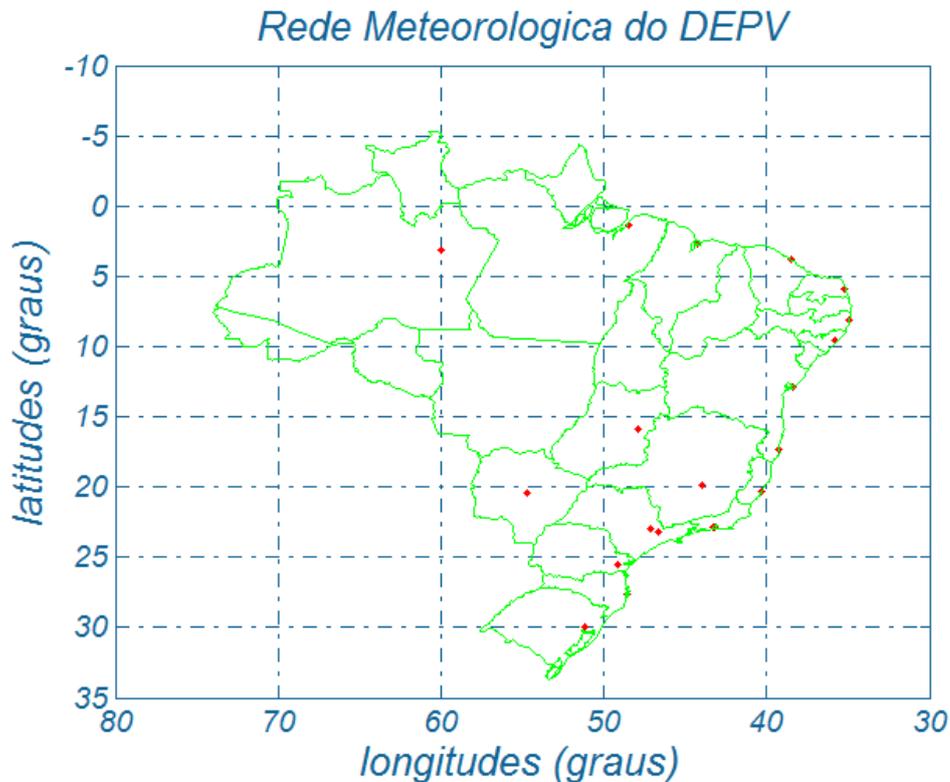


Figura 3.2.1 - Rede do DEPV, com as 20 estações usadas na modelagem de [8]

Entretanto, o valor médio isolado dessas variáveis não é suficientemente seguro para a aplicação em LTs. É preciso associá-los a valores mais conservadores que levem em conta as incertezas espaciais típicas que estão amiúde vinculados a LTs que atravessam variados micro e macro climas.

### *3.2 Os desvios padrão da DRA e dos FCAs*

Os mais recentes Editais da ANEEL, no que se refere à DRA, exigem um valor ao longo da LT que seja garantido 90% do tempo, de forma a minimizar as influências do efeito Corona e suas manifestações (RI, RA, perdas). Portanto, os valores médios devem ser corrigidos pela conhecida fórmula genérica  $Var_{90\%} = \mu - 1.28 \sigma$ , onde  $Var$  é uma variável que se encontre estatisticamente em questão e  $(\mu, \sigma)$  seus valores médios e desvios padrão respectivos.

Como as variabilidades temporais da DRA e dos FCAs, medida por  $\sigma$ , não podem ser caracterizadas pelo banco de dados do INMET [1], é preciso que se recorra ao relevante trabalho desenvolvido em [8]. A Figura 3.2.1 apresenta a dispersão pouco densa da rede do DEPV, mas que é atualmente a única fonte para se processar um modelo de transferência espacial para os coeficientes de variação aqui objetivados.

Complementando, a Tabela 3.2.1 apresenta os coeficientes de variação<sup>4</sup> da DRA e dos  $FCA_{60Hz}$  e  $FCA_{man}$ .

<sup>4</sup> coeficiente de variação = CV% = 100 ( $\sigma/\mu$ )

Tabela 3.2.1 - Características geográficas das estações do DEPV e respectivos valores percentuais dos coeficientes de variação da DRA e de FCAs

sigla	latitude (°)	altitude (m)	CV <sub>DRA</sub> (%)	CV <sub>60Hz</sub> (%)	CV <sub>man</sub> (%)
BE	1.38	16	1.00	0.68	0.53
BH	19.85	787	1.70	2.70	1.89
BR	15.87	1060	1.50	3.66	2.88
CG	20.47	558	1.70	3.08	2.15
CT	25.52	909	1.90	2.90	1.99
CV	17.28	3	1.30	1.08	0.76
FL	27.67	7	1.90	1.85	1.20
FZ	3.78	24	0.80	0.98	0.75
GL	22.83	9	1.60	1.34	0.92
KP	23.00	661	1.80	3.06	2.17
MN	3.15	83	1.00	0.75	0.59
MO	9.51	116	1.10	1.04	0.78
NT	5.92	49	1.00	0.92	0.69
PA	30.00	20	2.40	1.95	1.27
RF	8.13	10	0.80	0.81	0.59
RJ	22.92	5	1.40	1.42	0.98
SL	2.72	53	0.90	0.71	0.57
SP	23.17	805	1.60	2.70	1.89
SV	12.90	6	1.00	0.97	0.69
VT	20.30	60	1.50	1.20	0.83

Com as informações acima, as seguintes equações de correlação linear múltipla podem ser inferidas objetivando a transferência espacial dos coeficientes de variação citados ou, respectivamente:

$$\begin{aligned}
 CV_{DRA} &= 0.7160 + 41.32 \text{ latitude}/1000 + 0.3268 \text{ altitude}/1000 \\
 CV_{FCA60Hz} &= 0.6050 + 39.28 \text{ latitude}/1000 + 1.5640 \text{ altitude}/1000 \\
 CV_{FCAman} &= 0.7790 + 15.61 \text{ latitude}/1000 + 0.8388 \text{ altitude}/1000 \\
 CV_{DRA} &\text{ coeficiente de variação da distribuição da DRA (\%)} \\
 CV_{FCA60Hz} &\text{ coeficiente de variação dos valores de FCAs para } 60 \text{ Hz}^5 \text{ (\%)} \\
 CV_{FCAman} &\text{ coeficiente de variação dos FCAs para surtos de manobra}^6 \text{ (\%)}
 \end{aligned}$$

<sup>5</sup> Essa mesma equação será mantida para tensões operativas em corrente contínua. Tais CVs são suficientemente baixos para garantir a validade dessa analogia, acrescido à semelhança entre as modelagens matemáticas das tensões em 60 Hz e contínua. Veja também o item 5.2.

<sup>6</sup> Essa mesma equação será mantida para os surtos atmosféricos, pelos motivos acima descritos.

#### 4 *Altitude e a pressão atmosférica*

Apesar de não ser uma variável climática, no sentido estrito do termo, a altitude faz parte desse relatório, por ser uma variável geográfica que modifica de forma considerável o comportamento espacial do clima numa região. Nos casos em que esse modelo de relevo seja insuficiente para bem representar as variações de altitude ao longo da LT, um acréscimo corretivo deve ser introduzido. Essa correção pode ser obtida de mapas que tenham uma melhor aproximação altimétrica do que aquela dada pela rede do INMET. A Figura do Anexo 3 apresenta o mapa com o relevo aproximado da região de interesse, correspondendo aproximadamente às altitudes das estações da rede do INMET e acrescido da correção já mencionada para simular a altitude média da LT. Além disso, o ajuste espacial é feito através de uma superfície específica ajustada às altitudes corrigidas da rede. Não se rebuscou um maior requinte no que tange o modelo de altitudes regionais, haja vista que linhas aéreas raramente seguem um itinerário de máximas altitudes, sendo preferencialmente locadas em altitudes médias e em vales.

Por oportuno, vale ainda esclarecer que as variáveis cujos valores dos CVs se correlacionam bem com a altitude foram modeladas por correlações lineares múltiplas através dos dados horários do DEPV em 20 estações e essas mesmas equações foram aplicadas às medições das estações do INMET (205 estações) com o direto objetivo de expandir a rede do estudo. Esses são os casos dos mapeamentos das densidades relativas do ar e dos fatores de correção atmosféricos. As pressões atmosféricas apresentadas no Anexo 4 correspondem às pressões relatadas em [1] e corrigidas para as altitudes reais da LT, levando em conta que, para fins práticos, cada 8 metros a mais na altitude representa um decréscimo de 1 mbar na pressão atmosférica.

#### 5 *Mapeamento das variáveis*

Todos os mapeamentos constantes deste relatório foram realizados pela aplicação de uma superfície matematicamente definida e aderente aos valores das variáveis em cada estação da rede de coleta e obedecendo ao seguinte algoritmo específico:

*“Em cada ponto da rede, o valor da variável em estudo é influenciada pelos valores em cada ponto de coleta, ponderados pelo inverso da distância ao ponto genérico.”*

Acrescente-se que esse algoritmo é clássico quando se trata de modelos de transferência espacial, para fins de mapeamentos<sup>7</sup>. O valor de cada variável meteorológica em avaliação ou é medida na própria estação do INMET, como é o caso das temperaturas médias e extremas, ou é inferida por suas próprias medições de variáveis intemediárias ( $t_{med}$ ,  $p_{med}$  e  $u_{abs}$ ), tal como se aplicou nos casos das DRAs e dos FCAs.

Esse trabalho concentra seu embasamento em [8], que contém inferências com base em medições horárias ao longo de 10 anos, permitindo a determinação dos

---

<sup>7</sup> veja ainda a referência [4]

valores de 50 e 90% para a DRA. O mesmo princípio aplica-se aos valores de FCAs de 60 Hz referidos a 50 e 99% e, ainda, FCAs a impulso de manobra e atmosféricos para 50 e 90%, pois explicita valores médios e respectivos desvios padrão dessas variáveis. A Tabela 5.1 seguinte faz um resumo dos tipos de ajustes espaciais constantes deste relatório.

Tabela 5.1 - Resumo dos ajustes espaciais utilizados neste estudo

variável climática	ajuste
temperatura média	superfície
temperatura mínima absoluta	superfície
média das temperaturas mínimas diárias	superfície
temperatura máxima absoluta	superfície
média das temperaturas máximas diárias	superfície
densidade relativa do ar (DRA) médio	superfície
DRA excedido em 90% do tempo	correlação
pressão atmosférica média	superfície
FCA para 60 Hz médio	superfície
FCA para 60 Hz excedido em 99% do tempo	correlação
FCA para impulsos médio	superfície
FCA para impulsos excedido 90% do tempo	correlação
umidade relativa média	superfície
umidade absoluta média	superfície
tempo - ruim, para cálculo de RI (%)	superfície

### 5.1 Densidades relativas do ar e “nível de tempo - ruim”

Textualmente, os editais de Linhas de Transmissão da ANEEL exigem que:

#### (a) Corona visual

*A linha de transmissão, com seus cabos e acessórios, bem como as ferragens das cadeias de isoladores, não deve apresentar corona visual em 90% do tempo para as condições atmosféricas predominantes na região atravessada pela linha de transmissão aérea.*

O  $DRA_{90\%}$  corresponde a um maior rigor na aplicação do  $DRA$ , particularmente quando da sua utilização nas avaliações do efeito corona e suas manifestações em LTs, através da relação:

$$DRA_{90\%} = DRA_{médio} - 1,28 \sigma_{DRA}$$

onde o valor de  $\sigma_{DRA}$  já foi discutido e modelado tal como descrito em 3.2.

Ainda diretamente vinculado ao efeito Corona e suas manifestações, o Anexo 6 apresenta uma quantificação para o percentual de “tempo - ruim”, a ser aplicado na determinação dos níveis de rádio interferência ao longo de “todo o tempo”, tal como requer a metodologia de [9, Red Book]. Os resultados fundamentam-se na precipitação pluviométrica anual registrada nas estações do INMET e que serve de medição para variabilidade espacial do tempo ruim sobre o território brasileiro. Para a inferência do % de tempo ruim, foi adotada uma média anual de 1,5 mm/h para transformar a precipitação pluviométrica média anual registrada nas estações do INMET em horas de tempo ruim.

Tal consideração de 1.5 mm/h é certamente subjetiva, mas é mais realista do que se adotarem os padrões climáticos do Alasca ou Califórnia, constantes de [9], como sendo típicos do Brasil.

### 5.2 Fatores de Correção Atmosféricos

Os fatores de correção atmosféricos são definidos através de uma relação entre os fatores de correção da densidade relativa do ar ( $k_1$ ) e da umidade absoluta ( $k_2$ ), como segue e detalhadamente descrito em [8].

$$FCA = k_1 \cdot k_2$$

$k_1 = \delta^m$  - fator de correção para a densidade relativa do ar, veja Figura 1.2

$k_2 = k^w$  - fator de correção para a umidade absoluta do ar, veja Figura 1.3

Para o caso de 60 Hz recomenda-se a utilização do valor referido a 99% pois as tensões dessa natureza devem ser suportadas em quaisquer condições atmosféricas, de forma que a qualidade de suprimento energético seja assegurada. Para sobretensões de manobra ou atmosféricas, que correspondem a solicitações de ocorrência mais infreqüente, o valor médio do FCA ( $FCA_{man}^{médio}$  - manobra ou  $FCA_{atm}^{médio}$  - atmosférico) pode ser adotado, mas recomenda-se o valor de 90% que é mais conservador, pois que há erros de avaliação que decorrem da variabilidade espacial dessa variável. Há também as simplificações descritas no Anexo 1, que se enquadram bem para o caso de LTs e não a corpos de prova de dimensões bem delimitadas, como é o caso comum de ensaios em laboratórios .

As formulações para os FCAs acima valem para distâncias em ar de 1 a 5 m, com dispersão em torno da média de 1,3% para 60 Hz e 1,7% para impulsos. Para os casos de distâncias superiores a 5 m, os valores de FCA tendem para o valor de 1.0, indicando que para gapes mais longos, o FCA não mais depende das condições atmosféricas. Como os casos mais severos são aqueles em que o  $FCA < 1.0$ , nenhuma correção será aqui recomendada, pois os resultados encontram-se a favor da segurança.

### 5.3 Umidades relativa e absoluta

A umidade relativa ( $U_{rel}$ ) guarda uma baixa correlação com as variáveis fisiográficas, de forma que equações de regressão dão somente uma aproximação do valor real. Para contornar a situação, o mapeamento propriamente dito desta variável, que é disponibilizada em [1], foi levado a termo por meio de interpolação espacial através de superfície matematicamente definida, tal como descrito [4].

Por outro lado, a umidade absoluta, que é relevante para as determinações dos FCAs, pode ser modelada através das equações que seguem:

#### 5.3.1 Cálculo dos pontos de orvalho e de gelo

Inicialmente, são determinados os pontos de orvalho e de gelo, para as temperaturas ambientes em questão (bulbo seco):

$$T_d = \frac{237.3 \left[ \frac{\ln(RH/100)}{17.270} + \frac{T}{237.3 + T} \right]}{1 - \left[ \frac{\ln(RH/100)}{17.270} + \frac{T}{237.3 + T} \right]} \quad T_i = \frac{265.5 \left[ \frac{\ln(RH/100)}{21.875} + \frac{T}{265.5 + T} \right]}{1 - \left[ \frac{\ln(RH/100)}{21.875} + \frac{T}{265.5 + T} \right]}$$

$RH$  é a umidade relativa (%),  
 $T_d$  e  $T_i$  são os pontos de orvalho e de gelo (K), respectivamente,  
 $T$  temperatura de bulbo seco do ambiente (K).

### 5.3.2 Cálculo das pressões de vapor

As pressões de vapor saturado correspondentes aos pontos de orvalho ( $e_d$ ) e de gelo ( $e_i$ ) são dadas pelas fórmulas seguintes:

$$e_d = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27 T_d}{T_d + 237.3}\right] \quad e_i = 0.6108 \exp\left[\frac{21.875 T_i}{T_i + 265.5}\right]$$

### 5.3.3 Cálculo das umidades absolutas

E finalmente, as umidades absolutas em  $\text{g/m}^3$  ( $u_{abs}$ ) ou são calculadas como segue, onde  $e$  assume os valores de  $e_d$  ou de  $e_i$ :

$$u_{abs} = \frac{2165 e}{T + 273.16}$$

## 6 Conclusões e recomendações

Os mapas constantes deste relatório oferecem ao projetista de LTs recursos ora disponíveis para uma escolha paramétrica tecnicamente justificável no que se refere aos elementos climáticos aqui avaliados estatisticamente. De uma forma geral, os parâmetros recomendados são conservadores e visam garantir um desempenho superior ao mínimo exigido. Com uma importância de destaque, encontra-se a densidade relativa do ar, caracterizada pelo seu valor médio e  $DRA_{90\%}$ , que é o valor excedido 90% do tempo, garantindo o que é exigido nos editais da ANEEL. Somente com os mapeamentos exclusivos das médias e dos desvios da DRA, não se torna imediata a identificação do local onde as condições do DRA são as mais adversas, pois a média mínima não coincide, necessariamente, com o máximo desvio padrão da DRA.

Assim sendo, para facilidade de interpretação e escolha, foram traçadas as isolinhas do Anexo 6 que apresenta os valores de  $DRA_{médio}$  e de  $DRA_{90\%}$ , através da relação  $DRA_{90\%} = DRA_{médio} - 1,28 \text{ desvios-padrão}$ . Os mesmos conceitos se aplicam aos fatores de correção atmosféricos aqui sugeridos ( $FCA_{60\text{Hz}}^{99\%}$ ,  $FCA_{man}^{90\%}$  e  $FCA_{atm}^{90\%}$ ), muito embora a sua utilização ainda não esteja regulamentada e nem mesmo exigida, embora correspondam à prática segura de escolha paramétrica.

*Vale ainda sublinhar que FCAs acima de 1.00 pu são típicos de regiões com elevada umidade absoluta, tal como é o caso da região amazônica e do planalto no centro-oeste. No entanto, com a continuidade avassaladora de queimadas e desmatamentos, que vêm ocorrendo há décadas, a tendência é de que os valores de FCA venham se reduzindo com o tempo. O alerta serve para que valores de FCA acima de 1.00 pu sejam usados*

*com certa reserva, à critério do projetista. Esse estudo recomenda um valor máximo de 1.00 pu.*

A Tabela seguinte apresenta um resumo das leituras feitas nos mapas de isolinhas:

Tabela 6.1 - Resumo das recomendações numéricas para os elementos climáticos objeto deste estudo.

Parâmetros Climáticos	Marimbondo - Assis
altitude média - (m)	<b>500</b>
temp média anual – (°C)	<b>23</b>
temp mín anual – (°C)	<b>17</b>
temp mín inverno – (°C)	<b>12</b>
temp mín abs – (°C)	<b>- 1</b>
temp máx anual – (°C)	<b>30</b>
temp máx verão – (°C)	<b>32</b>
temp máx abs – (°C)	<b>41</b>
pressão – (mbar)	<b>950</b>
DRA 50%/90% ( pu)	<b>0.92/0.90</b>
FCA <sub>60 Hz</sub> 50%/ 99% ( pu)	<b>0.97/0.93</b>
FCA <sub>man</sub> 50%/90% ( pu)	<b>0.97/0.95</b>
FCA <sub>atm</sub> 50%/90% ( pu)	<b>0.96/0.95</b>
umi relativa (U <sub>rel</sub> ) (%)	<b>70</b>
umi absoluta (U <sub>abs</sub> ) (g/m <sup>3</sup> )	<b>14</b>
tempo ruim (%)	<b>10</b>

Nota: Entre os valores de FCA para 50 e 90 ou 99%, usar preferencialmente os de 90 ou 99%, por razões de segurança, embora a ANEEL não estabeleça nenhuma exigência a respeito do assunto.

## 7 *Comentários finais*

As recomendações relativas à quantificação de elementos climáticos constantes deste relatório seguem as orientações e cálculos apresentados basicamente pelas referências [ 2, 3, 4, 6, 7 e 8], enquanto que as bases de dados provêm de [1, 2 e 8]. Vale sempre lembrar que [2 e 8] contêm sínteses metodológicas pioneiras que permitiram uma avaliação estatística mais aprofundada quanto a determinados fenômenos, notadamente no que se refere aos percentis da densidade relativa do ar e dos variados fatores de correção atmosféricos aqui considerados, através de modelos objetivando a determinação dos seus respectivos desvios-padrão. Além disso, há que se dar a devida ênfase ao que [6 e 7] declaram a respeito dos FCAs sempre que o fator  $U_{abs} / DRA$  excede  $15 \text{ g/m}^3$  (sic): *“Para valores de  $U_{abs} / DRA$  acima de  $15 \text{ g/m}^3$ , o valor do parâmetro  $k$  pode chegar a (- 15%)”*. Tal observação tem influência expressiva sobre os resultados de cálculo, na medida em que valores acima de  $15 \text{ g/m}^3$  são freqüentemente encontrados no Brasil<sup>8</sup>, mesmo em locais conhecidamente como tendo baixa umidade relativa, bastando para isso que as temperaturas do bulbo seco e úmido sejam ambas elevadas, tal como se pode concluir da Figura 1.1, do Anexo 1.

## 8 *Referências*

1. *INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – “Normais climatológicas” (1961-1990).*
2. *Andrade, V. H. G et ali – Dados meteorológicos e parâmetros correlatos que influenciam os isolamentos em ar – Estatística de valores, VII SNTPEE.*
3. *International Electrotechnical Commission, High Voltage Test Techniques, Publication 60-1, Genève, 1973*
4. *Menezes Jr A. A., Silva Filho J. I. - Transferência espacial de informações meteorológicas - Modelos matemáticos. Relatório Técnico CEPEL/1983*
5. *NBR 5422 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica - Procedimentos, 1985.*
6. *IEC Publication 60-1 - High Voltage Test Techniques - Part 1: General definitions and test requirements, 1989.*
7. *NBR 6936 - Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão, 1992.*

---

<sup>8</sup> veja os valores típicos em [2 e 8].



8. *Azevedo, R. M., Silva Filho, J. I. Andrade, V. H. G., - Fatores de correção atmosféricos aplicados ao dimensionamento de isolamentos em ar - Nova metodologia de cálculo, XVII SNPTEE, 2003*
9. *Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above, Electric Power Research Institute, Palo Alto*

## Anexo 1 Dados para determinação espacial da DRA e dos FCAs

Este Anexo objetiva apresentar parte dos resultados constantes de [8], que constituem a base das recomendações constantes deste relatório. Neste particular, as Tabelas A1.1, A1.2 e A1.3 ilustram os valores básicos de DRAs (ou  $\delta$ ) e FCAs contidos na citada referência e provenientes de um banco de dados horários durante 10 anos em cada estação.

Tabela A1.1 - Resultados do processamento e dados provenientes do DEPV

estação	longitude (graus)	latitude (graus)	altitude (m)	h (g/m <sup>3</sup> )		$\delta$ (pu)		h/ $\delta$ (g/m <sup>3</sup> )	
				média	desvio	média	desvio	média	desvio
BE - Belém	48,48	1,38	16	21,10	1,37	0,976	0,010	21,628	1,515
BH - B. Horizonte	43,95	19,85	787	13,64	2,66	0,913	0,017	14,985	3,061
BR - Brasília	47,92	15,87	1060	12,92	2,78	0,883	0,015	14,646	3,227
CG - C. Grande	54,67	20,47	558	15,72	3,59	0,927	0,017	17,008	4,054
CT - Curitiba	49,18	25,52	909	11,92	2,93	0,913	0,019	13,107	3,399
CV - Caravelas	39,25	17,28	3	18,43	2,22	0,987	0,013	18,688	2,410
FL - Florianópolis	48,55	27,67	7	15,00	3,58	1,001	0,019	15,051	3,817
FZ - Fortaleza	38,53	3,78	24	19,77	1,47	0,975	0,008	20,292	1,520
GL - Galeão (RJ)	43,25	22,83	9	17,36	2,73	0,990	0,016	17,567	2,965
KP - Campinas	47,13	23,00	661	13,15	2,91	0,926	0,018	14,246	3,284
MN - Manaus	59,98	3,15	83	21,22	1,26	0,968	0,010	21,938	1,381
MO - Maceió	35,78	9,51	116	18,45	1,63	0,973	0,011	18,969	1,764
NT - Natal	35,25	5,92	49	19,02	1,52	0,975	0,010	19,521	1,637
PA - Porto Alegre	11,18	30,00	20	13,38	3,65	1,004	0,024	13,412	3,893
RF - Recife	34,92	8,13	10	19,39	1,48	0,980	0,008	19,793	1,584
RJ - S. Dumont	43,15	22,92	5	16,94	2,67	0,991	0,014	17,118	2,865
SL - São Luiz	44,25	2,72	53	20,94	1,10	0,971	0,009	21,578	1,171
SP - São Paulo	46,65	23,17	805	12,87	2,62	0,918	0,016	14,058	3,005
SV - Salvador	38,35	12,90	6	19,12	1,95	0,983	0,010	19,474	2,110
VT - Vitória	40,30	20,30	60	17,92	2,59	0,991	0,015	18,123	2,823

Tabela A1.2 - Média  $\bar{x}$  e coeficiente de variação  $cv$  da série horária do  $FCA_{60}$ , em 10 anos, função do comprimento do gape ( $d$ )

local	$d = 1$ m		$d = 3$ m		$d = 5$ m	
	$\bar{x}$ (pu)	$cv$ (%)	$\bar{x}$ (pu)	$cv$ (%)	$\bar{x}$ (pu)	$cv$ (%)
BE	1,091	0,96	1,062	0,68	1,041	0,45
BH	0,956	2,74	0,960	2,70	0,973	1,83
BR	0,922	3,37	0,925	3,66	0,947	2,77
CG	0,993	3,66	0,992	3,08	0,994	2,08
CT	0,936	2,69	0,939	2,90	0,959	2,03
CV	1,074	1,60	1,050	1,08	1,033	0,72
FL	1,047	2,72	1,033	1,85	1,022	1,24
FZ	1,079	1,43	1,053	0,98	1,035	0,65
GL	1,066	2,01	1,045	1,34	1,030	0,89
KP	0,961	3,13	0,965	3,06	0,976	2,10
MN	1,087	1,07	1,059	0,75	1,039	0,50
MO	1,065	1,59	1,044	1,04	1,029	0,69
NT	1,072	1,37	1,049	0,92	1,032	0,61
PA	1,031	2,79	1,022	1,95	1,015	1,31
RF	1,079	1,15	1,053	0,81	1,035	0,53
RJ	1,062	2,13	1,042	1,42	1,028	0,94
SL	1,087	0,99	1,059	0,71	1,039	0,47
SP	0,951	2,65	0,956	2,70	0,970	1,86
SV	1,078	1,42	1,053	0,97	1,035	0,65
VT	1,072	1,79	1,049	1,20	1,032	0,80

Tabela A1.3 - Média e coeficiente de variação da série horária do  $FC_{Aman}$ , em 10 anos, função do comprimento do gape ( $d$ )

local	$d = 1$ m		$d = 3$ m		$d = 5$ m	
	$\bar{x}$ (pu)	$cv$ (%)	$\bar{x}$ (pu)	$cv$ (%)	$\bar{x}$ (pu)	$cv$ (%)
BE	1,075	1,51	1,041	0,53	1,025	0,32
BH	0,936	1,75	0,962	1,89	0,976	1,18
BR	0,902	1,99	0,932	2,88	0,957	1,82
CG	0,968	2,54	0,987	2,15	0,992	1,34
CT	0,925	1,46	0,948	1,99	0,967	1,25
CV	1,056	1,74	1,034	0,76	1,021	0,47
FL	1,036	2,07	1,023	1,2	1,014	0,74
FZ	1,058	1,85	1,035	0,75	1,021	0,46
GL	1,049	1,93	1,030	0,92	1,018	0,56
KP	0,946	2,01	0,967	2,17	0,979	1,36
MN	1,067	1,61	1,039	0,59	1,023	0,36
MO	1,041	1,65	1,028	0,78	1,017	0,48
NT	1,049	1,58	1,032	0,69	1,019	0,42
PA	1,025	1,92	1,015	1,27	1,009	0,78
RF	1,059	1,48	1,035	0,59	1,021	0,36
RJ	1,045	1,95	1,028	0,98	1,017	0,6
SL	1,067	1,57	1,039	0,57	1,023	0,34
SP	0,936	1,57	0,960	1,89	0,975	1,18
SV	1,059	1,66	1,035	0,69	1,021	0,42
VT	1,055	1,83	1,033	0,83	1,020	0,51

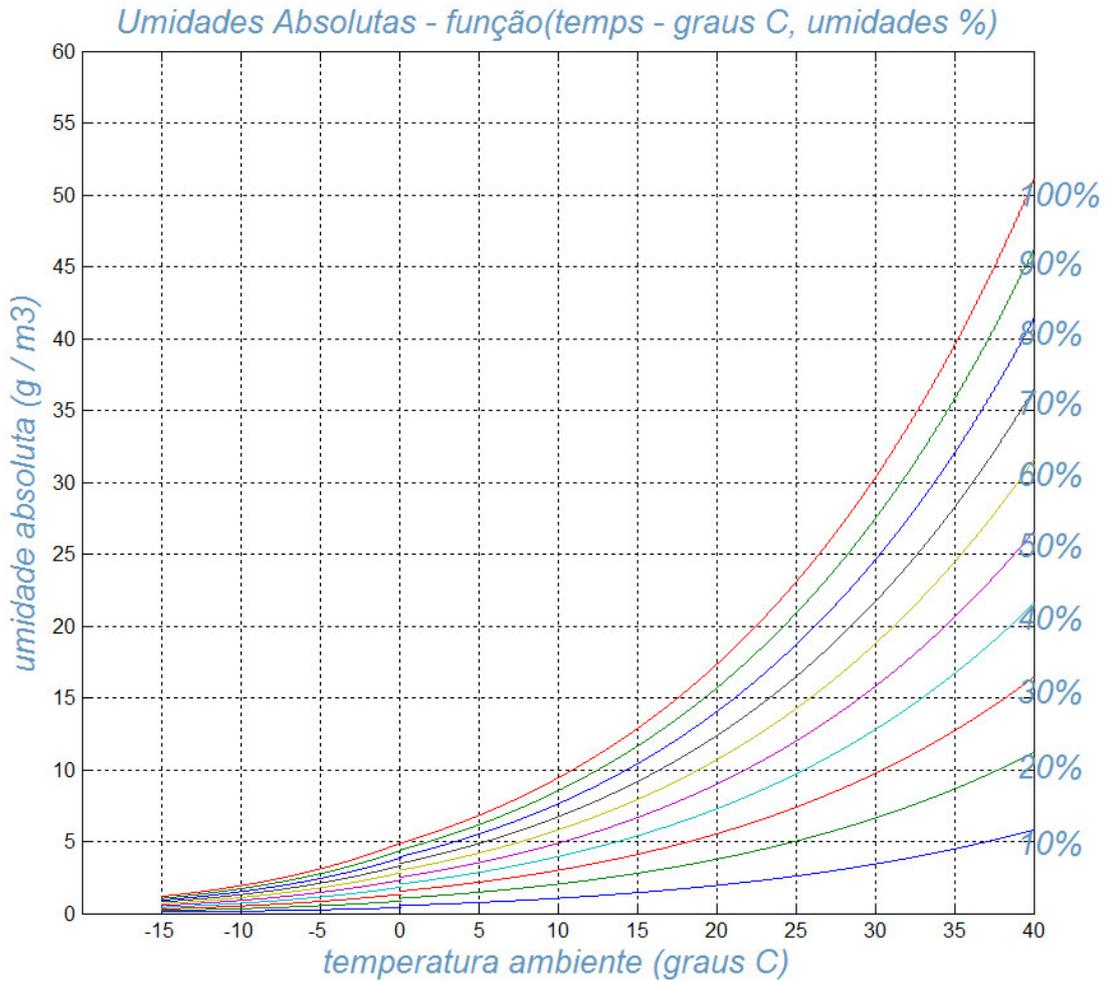


Figura A1.1 - Umidade absoluta do ar em função das leituras dos termômetros de bulbo seco e úmido

Uma vez de posse das condições climáticas na região de interesse, ou seja, das temperaturas de bulbo seco e úmido, da pressão atmosférica e da umidade relativa, determinam-se a umidade absoluta respectiva ( $U_{abs}$  ou  $h$ , veja o item 5.3) e a densidade relativa do ar (DRA ou  $\delta$ ). Da relação entre essas 2 variáveis ( $h$  e  $\delta$ ), o coeficiente  $k$  é definido pela Figura A1.2, como segue.

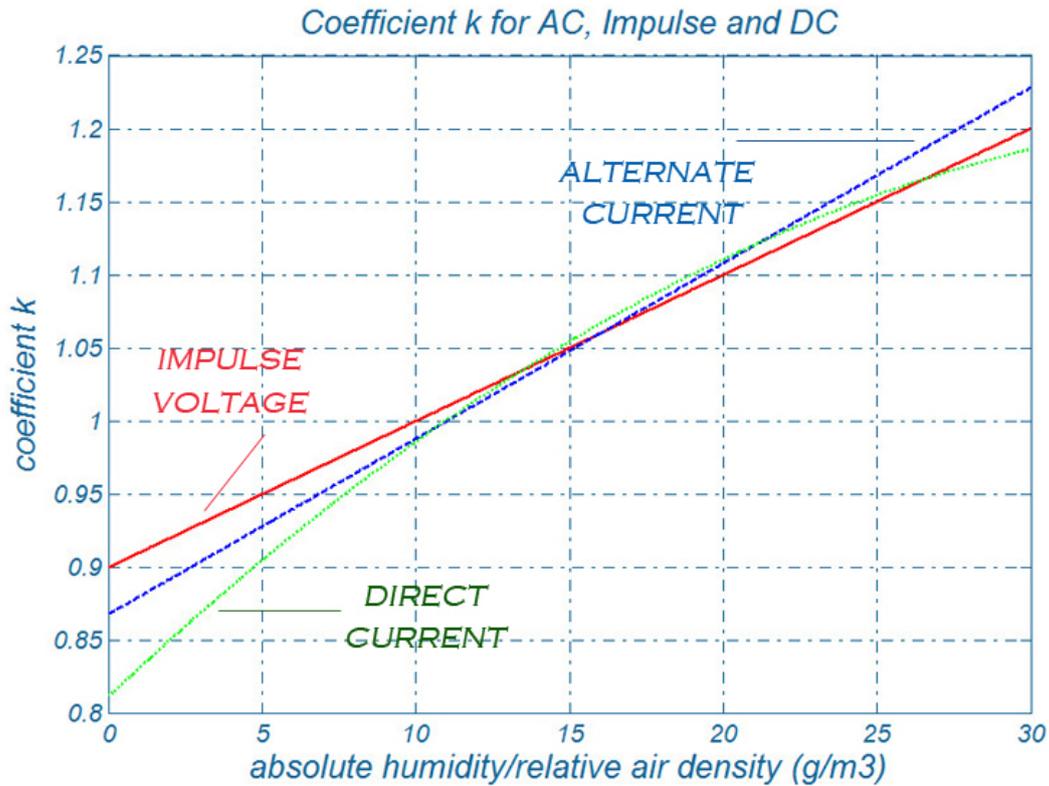


Figura A1.2 - Determinação do fator  $k$  em função de  $h / \delta$  ( $g / m^3$ ) e do tipo de tensão (60 Hz, impulso ou CC)

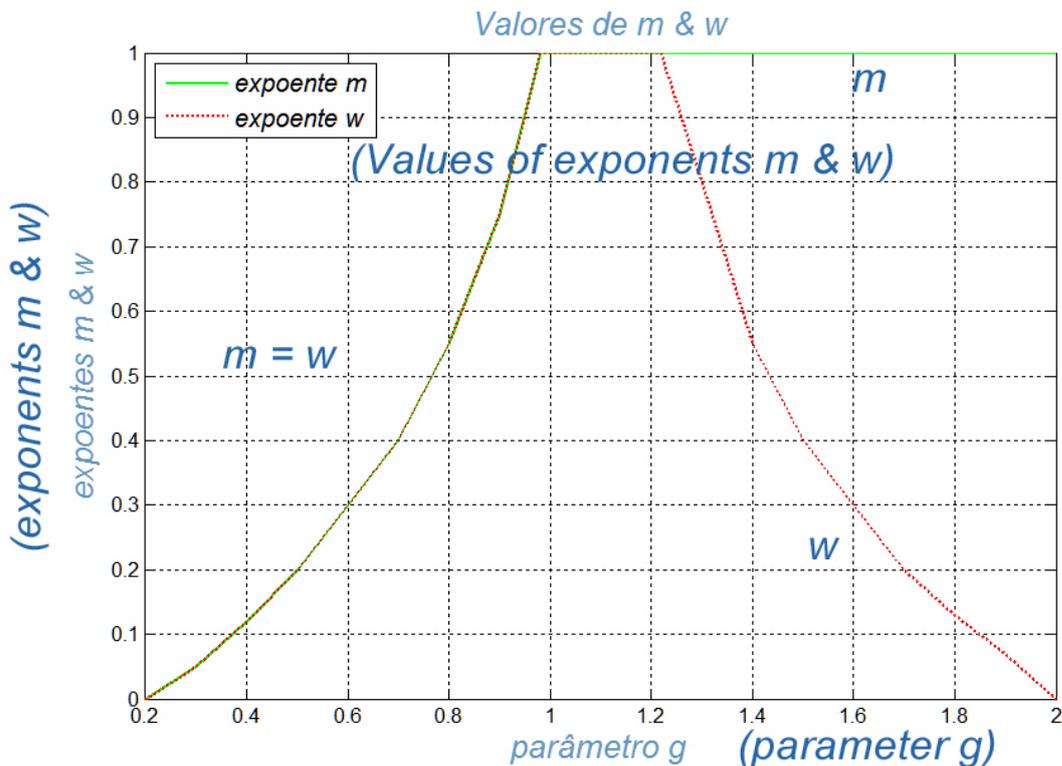


Figura A1.3 - Valores dos expoentes  $m$  para a DRA e  $w$  para a correção da umidade absoluta do ar, em função do parâmetro  $g$

O parâmetro  $g$  que determina os expoentes  $m$  e  $w$  é determinado pela relação

$$g = \frac{U_{50}}{500 d \delta k}$$

$d$  - distância do isolamento (ou gape em ar), em metros.

$\delta$  - densidade relativa do ar (pu), ou DRA

$k$  - coeficiente obtido da Figura A 1.2

$U_{50}$  - valor de crista da tensão disruptiva com 50% de probabilidade de não ser excedido nas reais condições atmosféricas de trabalho, em kV, dado pelas expressões seguintes:

- tensões a frequência industrial

$$U_{50} = 750\sqrt{2} * \ln(1 + 0,55d^{1,2}) * (1,35K_g - 0,35K_g^2)$$

- sobretensões de frente lenta ou de manobra

$$U_{50} = 500 * d^{0,6} * K_g$$

onde  $K_g$  é o fator de gape = 1.3

- sobretensões de frente rápida ou atmosféricas, polaridade positiva:

$$U_{50} = 530 * d$$

Os dados indicados nas Tabelas A1.1 a A1.3 foram determinados com base nas Figuras A1.1 a A1.3 e a metodologia adotada encontra-se detalhadamente descrita em [7 e 8]. Cabe aqui ressaltar que [1, 2, 3, 4 e 8] desempenharam um papel fundamental no equacionamento da DRA e dos FCAs para aplicação sistemática ao longo de LTs, haja vista que as normas IEC que cuidam do assunto [3 e 6] foram originalmente desenvolvidas para aplicação em laboratórios de alta tensão.

Os trabalhos citados introduziram simplificações cabíveis que tornaram possível estender os conceitos normativos com fins laboratoriais para aplicações em linhas de transmissão, quando uma visão mais espacial sempre se faz necessária. Ainda com relação aos valores constantes das Tabelas A1.1 a A1.3, algumas considerações de simplificação tornam-se cabíveis, quando se leva em conta que a aplicação primordial, neste estudo, concentra-se em linhas de transmissão aéreas.

Inicialmente, observe-se que a dispersão dos valores dos FCAs em função do comprimento do gape, de 1 a 5 m é pequena, senão desprezível. Verifique nas Tabelas A1.4 a A1.7 a seguir. Em conseqüência, é possível que se faça uso dos valores de FCA no entorno de 3 m, com erros médios de 1,56%, 1,31% e 1,75% respectivamente para  $FCA_{60Hz}^{médio}$ ,  $FCA_{60Hz}^{99\%}$  e  $FCA_{imp}^{médio}$ , e aplicáveis na faixa de 1 a 5 m de comprimento de gapes em ar sem comprometimento da precisão.

Tabela A1.4 - Valores médios de  $FCA_{60\text{Hz}}^{\text{médio}}$   
para d = 1, 3 e 5 m e os erros referidos a 3 m

cidade	longitude (graus)	latitude (graus)	altitude (m)	$FCA_{60\text{Hz}}^{\text{médio}}$ 1 m	$FCA_{60\text{Hz}}^{\text{médio}}$ 3 m	$FCA_{60\text{Hz}}^{\text{médio}}$ 5 m	$FCA_{60\text{Hz}}^{\text{médio}}$ médio	erro (±%)
BE	48,48	1,38	16	1,091	1,062	1,041	1,065	2,35
BH	43,95	19,85	787	0,956	0,960	0,973	0,963	0,88
BR	47,92	15,87	1060	0,922	0,925	0,947	0,931	1,34
CG	54,67	20,47	558	0,993	0,992	0,994	0,993	0,05
CT	49,18	25,52	909	0,936	0,939	0,959	0,945	1,22
CV	39,25	17,28	3	1,074	1,050	1,033	1,052	1,95
FL	48,55	27,67	7	1,047	1,033	1,022	1,034	1,21
FZ	38,53	3,78	24	1,079	1,053	1,035	1,056	2,08
GL	43,25	22,83	9	1,066	1,045	1,030	1,047	1,72
KP	47,13	23,00	661	0,961	0,965	0,976	0,967	0,78
MN	59,98	3,15	83	1,087	1,059	1,039	1,062	2,26
MO	35,78	9,51	116	1,065	1,044	1,029	1,046	1,72
NT	35,25	5,92	49	1,072	1,049	1,032	1,051	1,90
PA	11,18	30,00	20	1,031	1,022	1,015	1,023	0,78
RF	34,92	8,13	10	1,079	1,053	1,035	1,056	2,08
RJ	43,15	22,92	5	1,062	1,042	1,028	1,044	1,63
SL	44,25	2,72	53	1,087	1,059	1,039	1,062	2,26
SP	46,65	23,17	805	0,951	0,956	0,970	0,959	0,99
SV	38,35	12,90	6	1,078	1,053	1,035	1,055	2,04
VT	40,30	20,30	60	1,072	1,049	1,032	1,051	1,90

Tabela A1.5 - Valores médios de  $FCA_{60\text{Hz}}^{99\%}$   
para d = 1, 3 e 5 m e os erros referidos a 3 m

cidade	longitude (graus)	latitude (graus)	altitude (m)	$FCA_{60\text{Hz}}^{99\%}$ (1 m)	$FCA_{60\text{Hz}}^{99\%}$ (3 m)	$FCA_{60\text{Hz}}^{99\%}$ (5 m)	$FCA_{60\text{Hz}}^{99\%}$ médio	erro (±%)
BE	48,48	1,38	16	1,067	1,045	1,030	1,05	1,74
BH	43,95	19,85	787	0,895	0,900	0,932	0,91	2,01
BR	47,92	15,87	1060	0,850	0,846	0,886	0,86	2,11
CG	54,67	20,47	558	0,908	0,921	0,946	0,92	2,03
CT	49,18	25,52	909	0,877	0,876	0,914	0,89	2,04
CV	39,25	17,28	3	1,034	1,024	1,016	1,02	0,89
FL	48,55	27,67	7	0,981	0,988	0,992	0,99	0,60
FZ	38,53	3,78	24	1,043	1,029	1,019	1,03	1,15
GL	43,25	22,83	9	1,016	1,012	1,009	1,01	0,37
KP	47,13	23,00	661	0,891	0,896	0,928	0,91	2,06
MN	59,98	3,15	83	1,060	1,040	1,027	1,04	1,58
MO	35,78	9,51	116	1,026	1,019	1,012	1,02	0,64
NT	35,25	5,92	49	1,038	1,027	1,017	1,03	1,00
PA	11,18	30,00	20	0,964	0,976	0,984	0,97	1,03
RF	34,92	8,13	10	1,050	1,033	1,022	1,04	1,35
RJ	43,15	22,92	5	1,009	1,008	1,005	1,01	0,19
SL	44,25	2,72	53	1,062	1,041	1,028	1,04	1,64
SP	46,65	23,17	805	0,892	0,896	0,928	0,91	1,97
SV	38,35	12,90	6	1,042	1,029	1,019	1,03	1,12
VT	40,30	20,30	60	1,027	1,020	1,013	1,02	0,71

Tabela A1.6 - Valores médios de  $FCA_{imp}^{médio}$   
para d = 1, 3 e 5 m e os erros referidos a 3 m

cidade	longitude (graus)	latitude (graus)	altitude (m)	$FCA_{imp}^{médio}$ (1 m)	$FCA_{imp}^{médio}$ (3 m)	$FCA_{imp}^{médio}$ (5 m)	$FCA_{imp}^{médio}$ médio	erro ( $\pm\%$ )
BE	48,48	1,38	16	1,075	1,041	1,025	1,047	2,39
BH	43,95	19,85	787	0,936	0,962	0,976	0,958	2,09
BR	47,92	15,87	1060	0,902	0,932	0,957	0,930	2,96
CG	54,67	20,47	558	0,968	0,987	0,992	0,982	1,22
CT	49,18	25,52	909	0,925	0,948	0,967	0,947	2,22
CV	39,25	17,28	3	1,056	1,034	1,021	1,037	1,69
FL	48,55	27,67	7	1,036	1,023	1,014	1,024	1,07
FZ	38,53	3,78	24	1,058	1,035	1,021	1,038	1,78
GL	43,25	22,83	9	1,049	1,030	1,018	1,032	1,50
KP	47,13	23,00	661	0,946	0,967	0,979	0,964	1,71
MN	59,98	3,15	83	1,067	1,039	1,023	1,043	2,11
MO	35,78	9,51	116	1,041	1,028	1,017	1,029	1,17
NT	35,25	5,92	49	1,049	1,032	1,019	1,033	1,45
PA	11,18	30,00	20	1,025	1,015	1,009	1,016	0,79
RF	34,92	8,13	10	1,059	1,035	1,021	1,038	1,83
RJ	43,15	22,92	5	1,045	1,028	1,017	1,030	1,36
SL	44,25	2,72	53	1,067	1,039	1,023	1,043	2,11
SP	46,65	23,17	805	0,936	0,960	0,975	0,957	2,04
SV	38,35	12,90	6	1,059	1,035	1,021	1,038	1,83
VT	40,30	20,30	60	1,055	1,033	1,020	1,036	1,69

Tabela A1.7 - Valores médios de  $FCA_{imp}^{90\%}$   
para d = 1, 3 e 5 m e os erros referidos a 3 m

cidade	longitude (graus)	latitude (graus)	altitude (m)	$FCA_{imp}^{90\%}$ (1 m)	$FCA_{imp}^{90\%}$ (3 m)	$FCA_{imp}^{90\%}$ (5 m)	$FCA_{imp}^{90\%}$ médio	erro ( $\pm\%$ )
BE	48,48	1,38	16	1,0542	1,0339	1,0228	1,0370	1,51
BH	43,95	19,85	787	0,9150	0,9387	0,9475	0,9337	1,74
BR	47,92	15,87	1060	0,8790	0,8976	0,8899	0,8889	0,61
CG	54,67	20,47	558	0,9365	0,9598	0,9551	0,9505	0,98
CT	49,18	25,52	909	0,9077	0,9239	0,9352	0,9222	1,49
CV	39,25	17,28	3	1,0325	1,0239	1,0164	1,0243	0,78
FL	48,55	27,67	7	1,0086	1,0073	1,0026	1,0062	0,29
FZ	38,53	3,78	24	1,0329	1,0251	1,0166	1,0249	0,80
GL	43,25	22,83	9	1,0231	1,0179	1,0114	1,0175	0,57
KP	47,13	23,00	661	0,9217	0,9401	0,9412	0,9343	1,05
MN	59,98	3,15	83	1,0450	1,0312	1,0203	1,0321	1,20
MO	35,78	9,51	116	1,0190	1,0177	1,0122	1,0163	0,33
NT	35,25	5,92	49	1,0278	1,0229	1,0153	1,0220	0,61
PA	11,18	30,00	20	0,9998	0,9985	0,9963	0,9982	0,17
RF	34,92	8,13	10	1,0389	1,0272	1,0183	1,0281	1,00
RJ	43,15	22,92	5	1,0189	1,0151	1,0095	1,0145	0,47
SL	44,25	2,72	53	1,0456	1,0314	1,0205	1,0325	1,21
SP	46,65	23,17	805	0,9172	0,9368	0,9465	0,9335	1,57
SV	38,35	12,90	6	1,0365	1,0259	1,0173	1,0265	0,94
VT	40,30	20,30	60	1,0303	1,0220	1,0146	1,0223	0,77

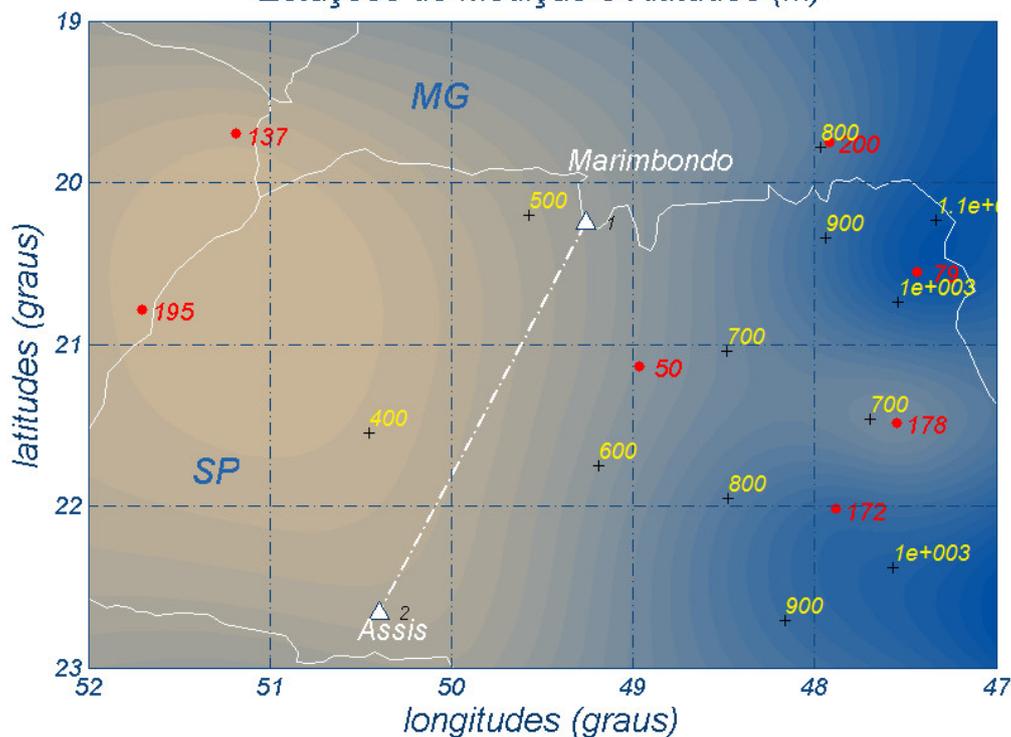
Anexo 2 Características das estações do INMET

Tabela 2 - Características das estações meteorológicas

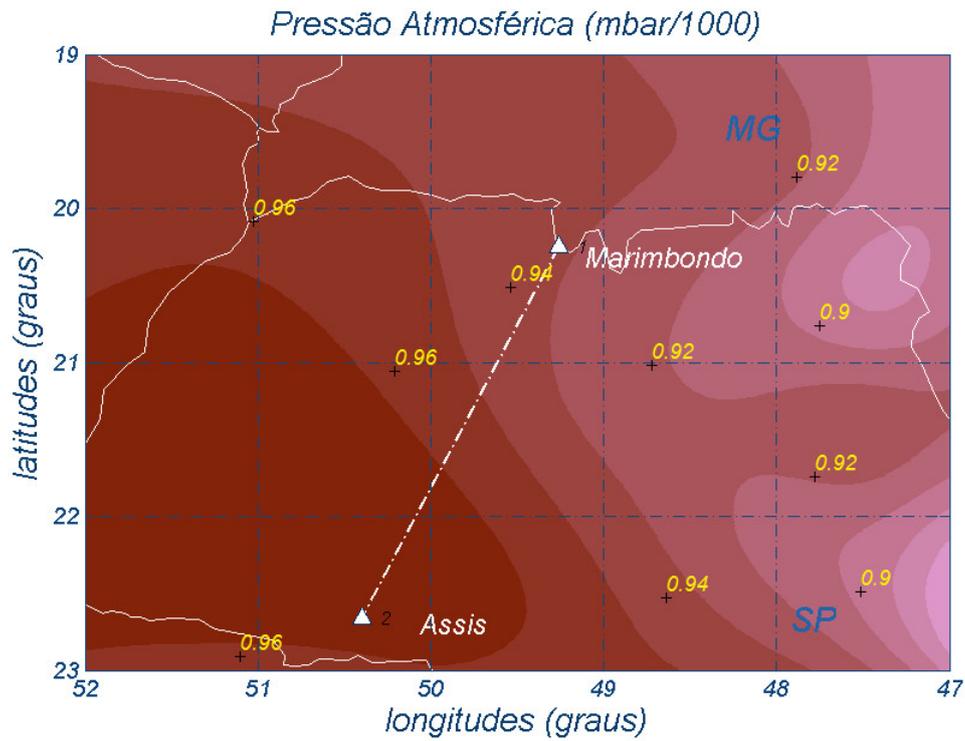
número no mapa	cidade	longitude (graus)	latitude (graus)	altitude (m)	estado
50	Catanduva	48.97	21.13	606	SP
79	Franca	47.43	20.55	1096	SP
137	Paranaíba	51.18	19.70	401	GO
172	São Carlos	47.88	22.02	926	SP
178	São Simão	47.55	21.48	687	SP
195	Tras Lagoas	51.70	20.78	383	GO
200	Uberaba	47.92	19.75	813	MG

Anexo 3 Distribuição espacial das estações e altitudes

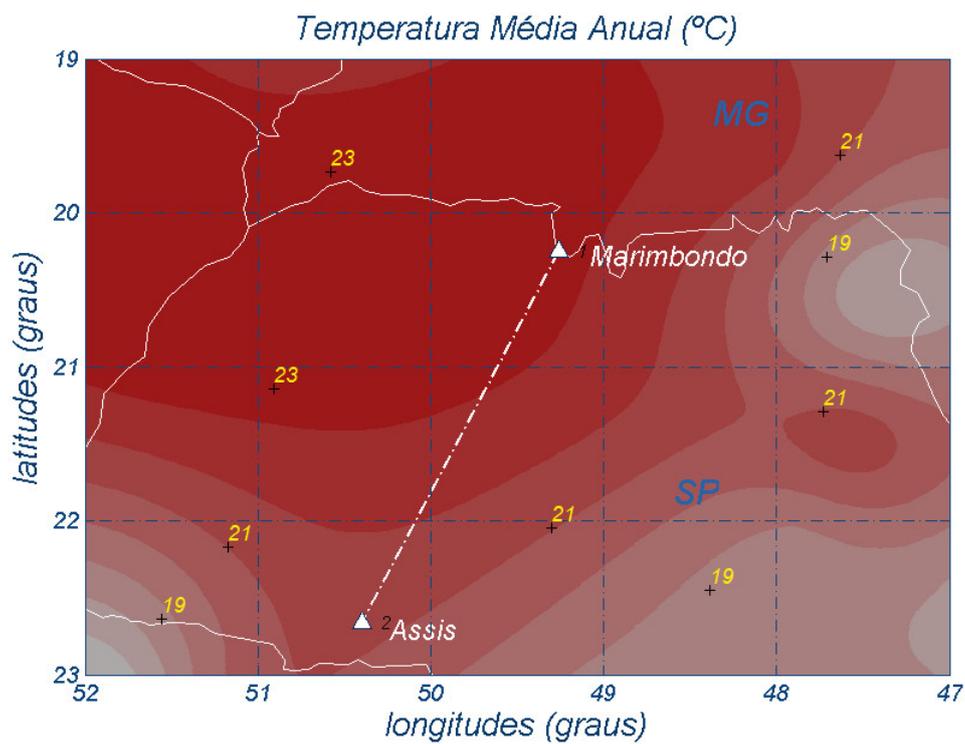
Estações de Medição e Altitudes (m)



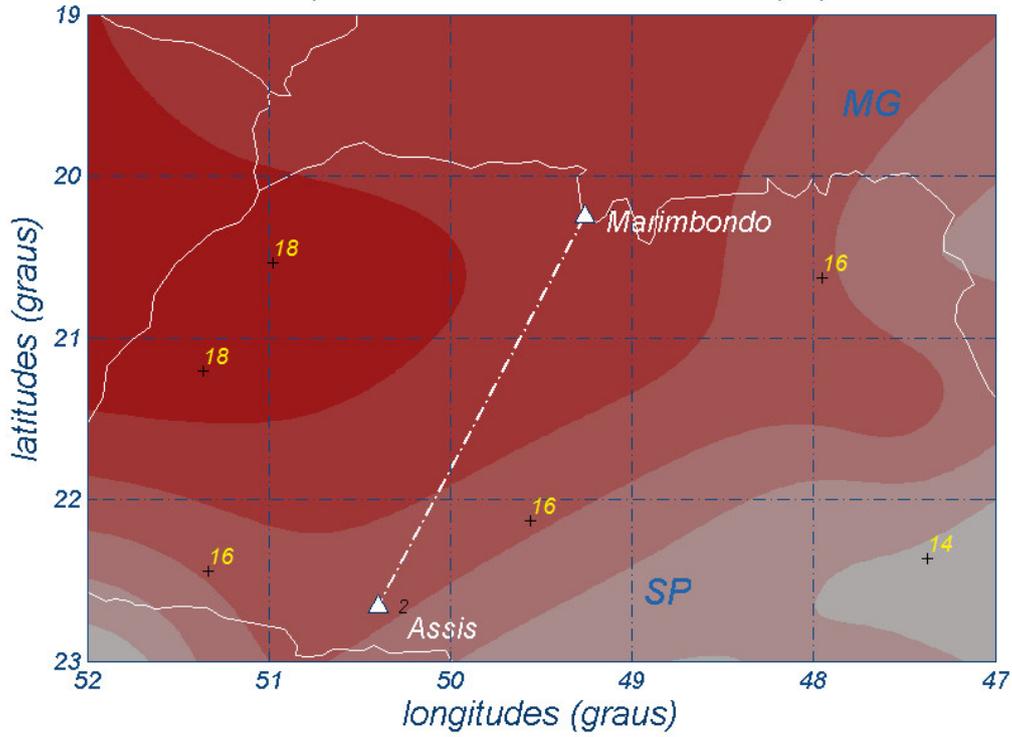
Anexo 4 Mapa das pressões atmosféricas



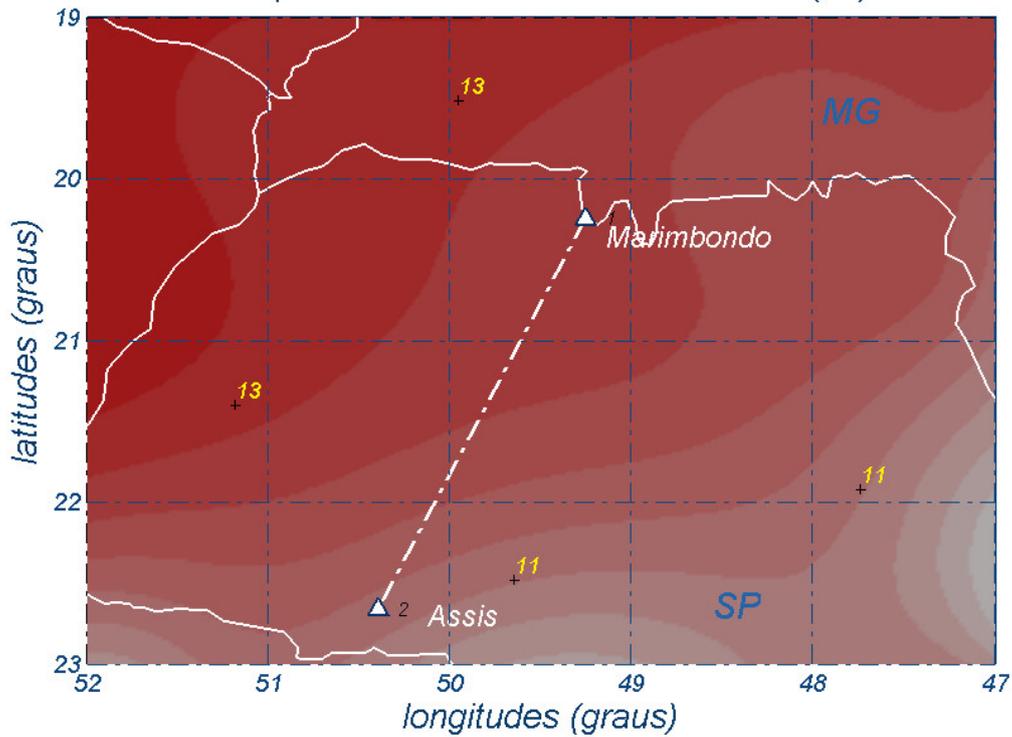
Anexo 5 Mapas das temperaturas ambientes

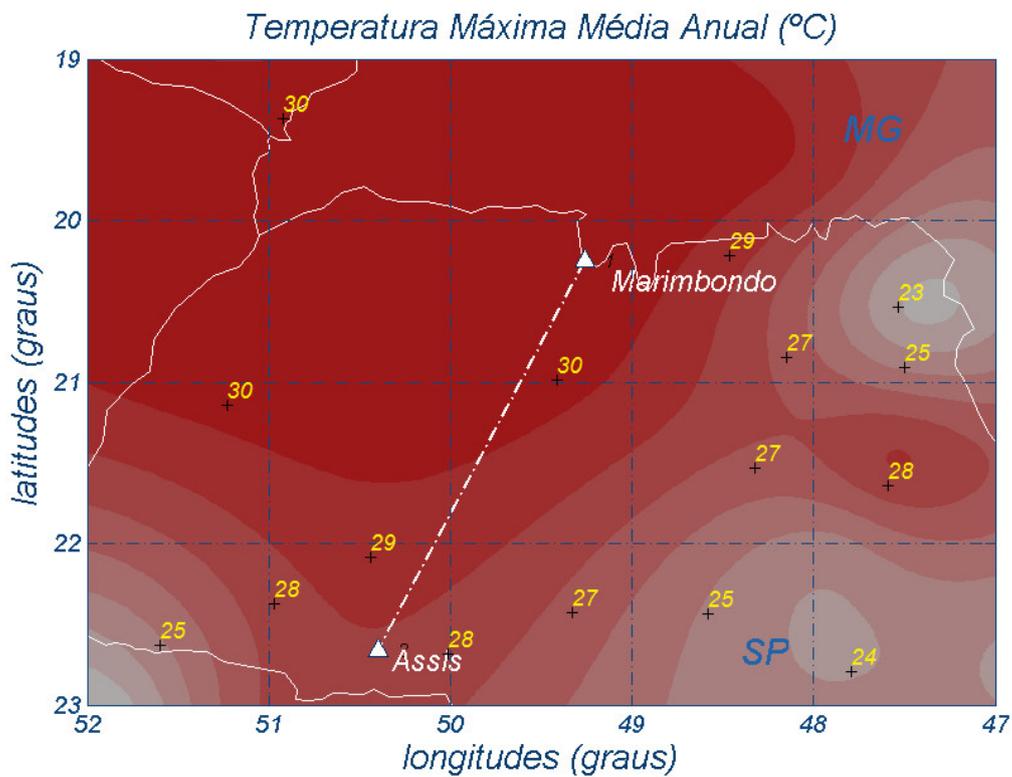
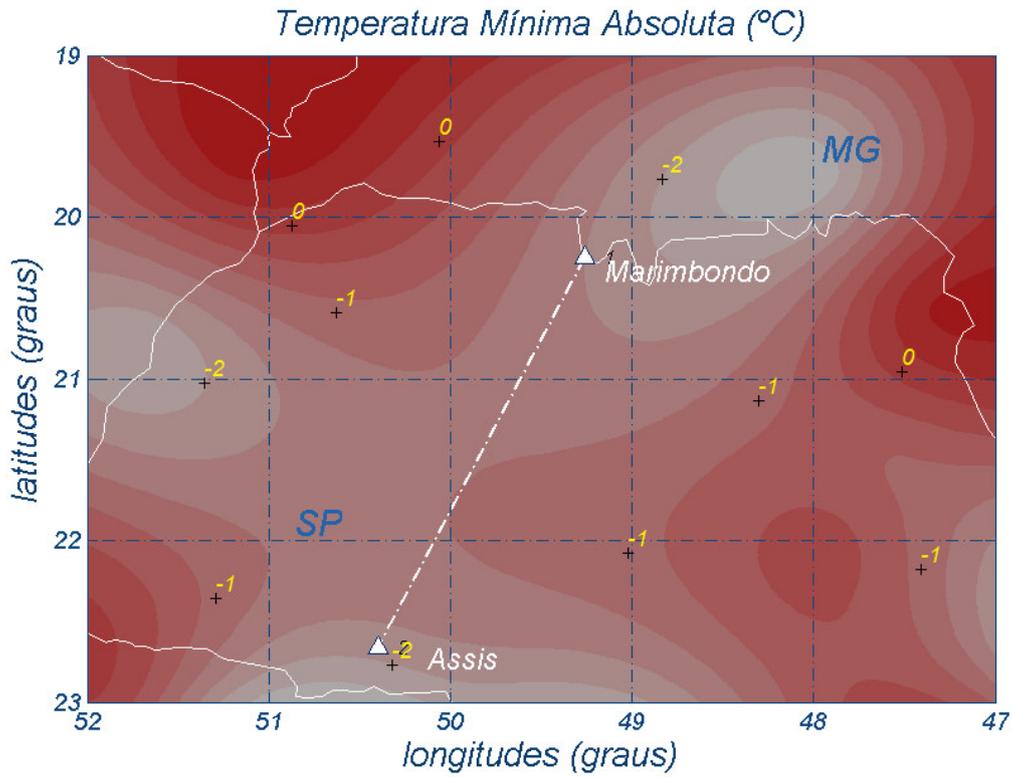


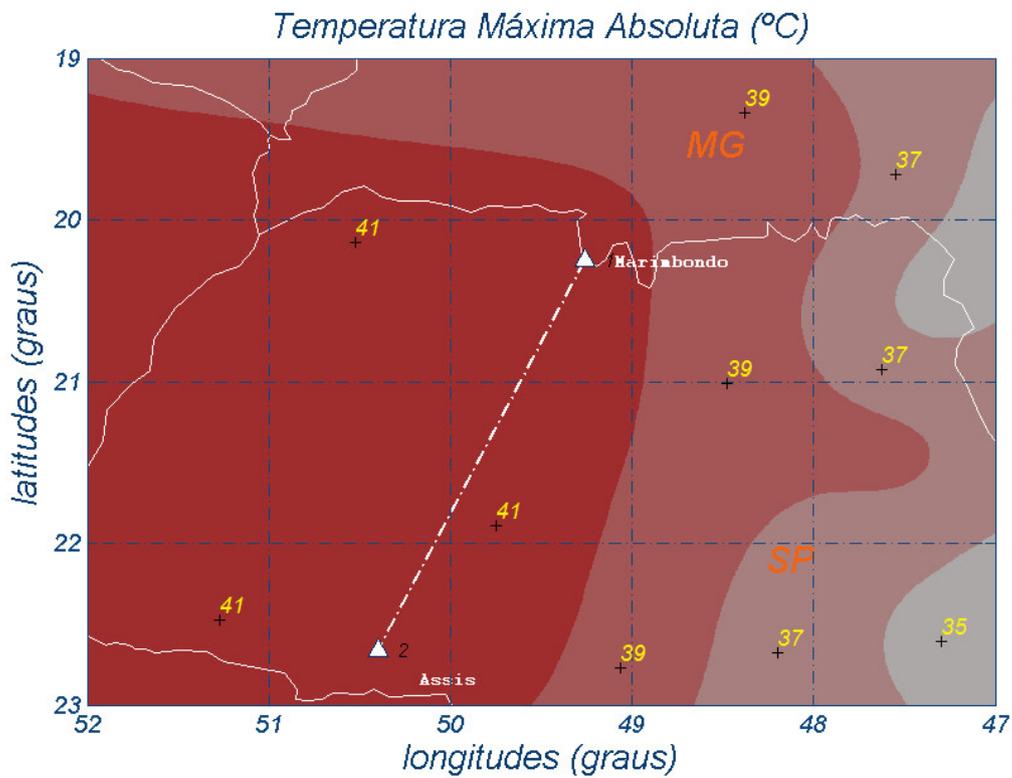
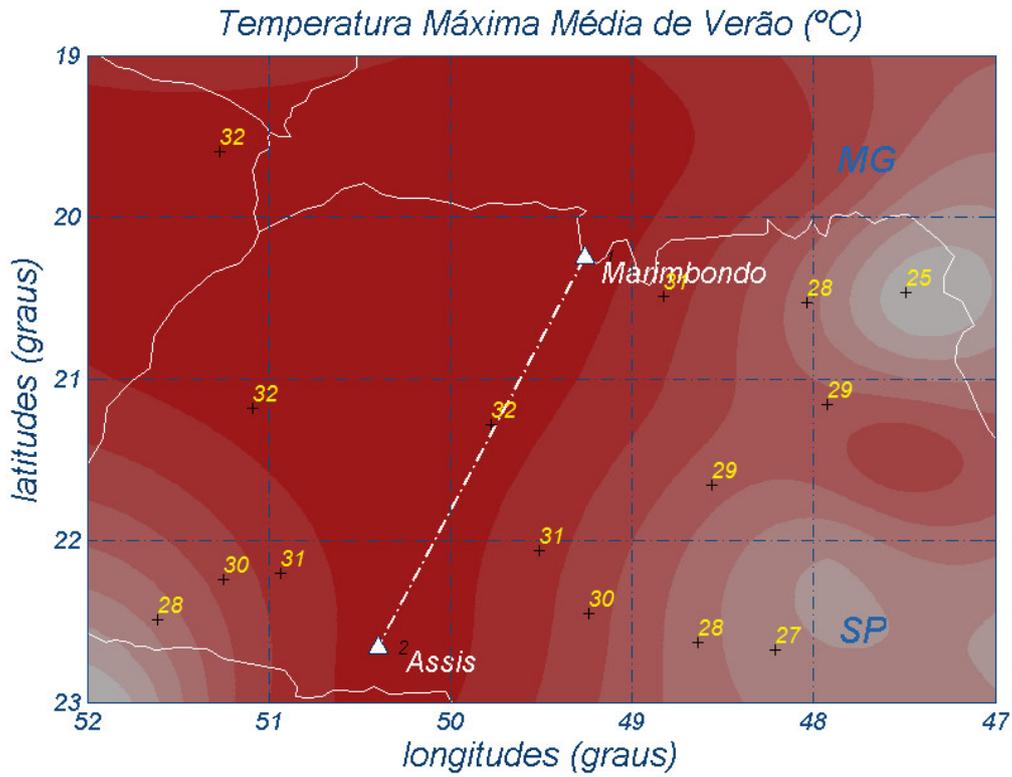
Temperatura Mínima Média Anual (°C)



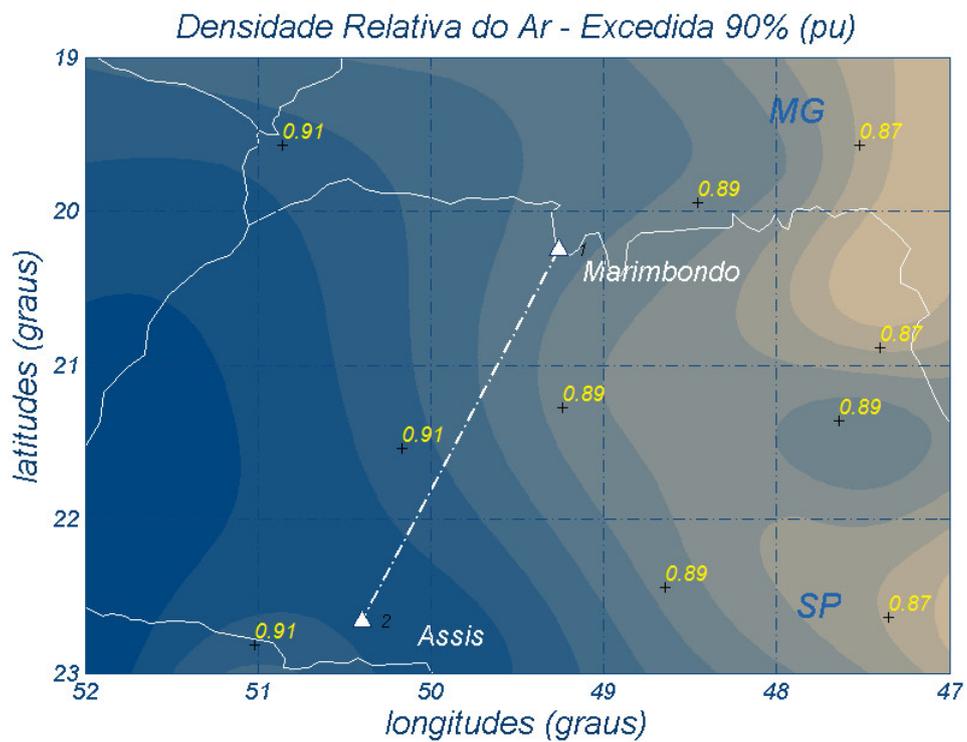
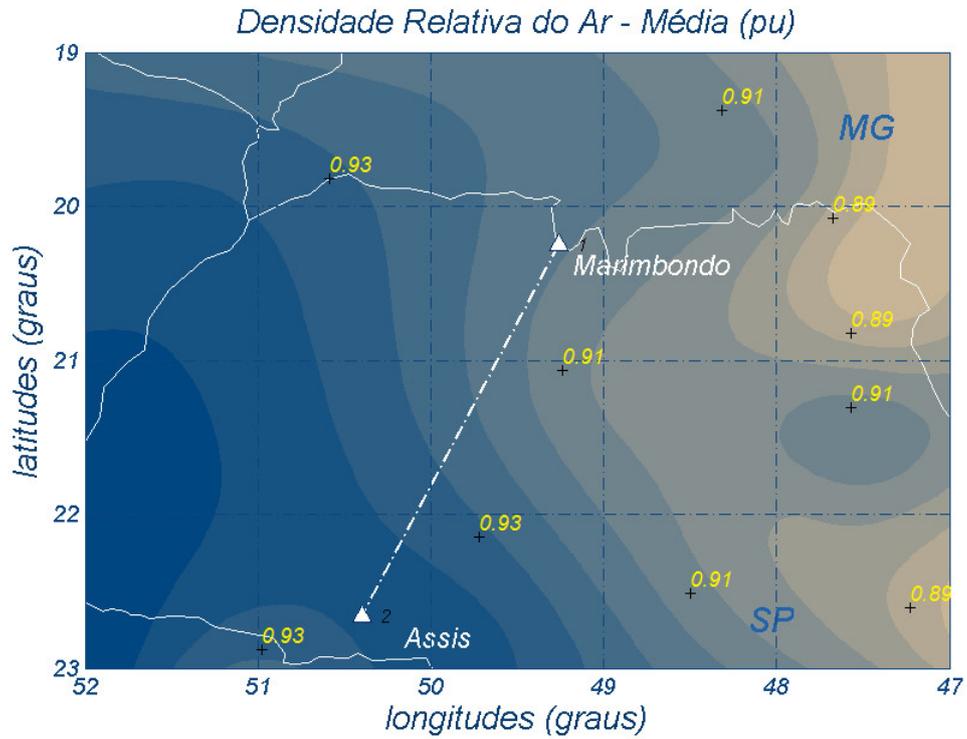
Temperatura Mínima Média de Inverno (°C)

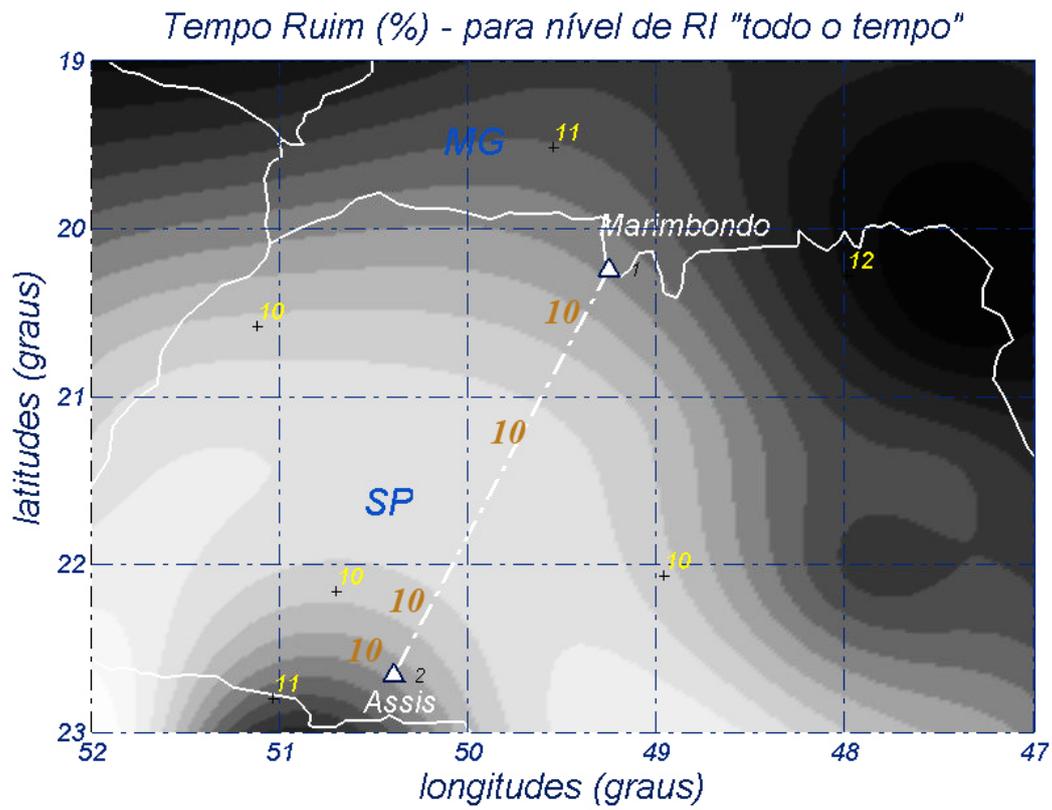






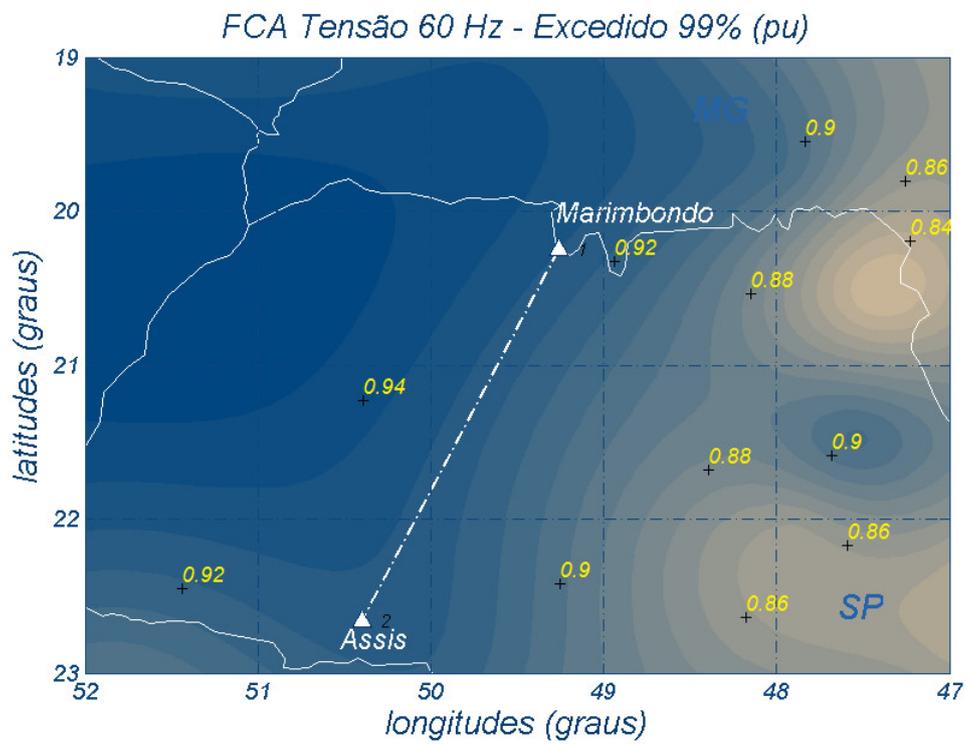
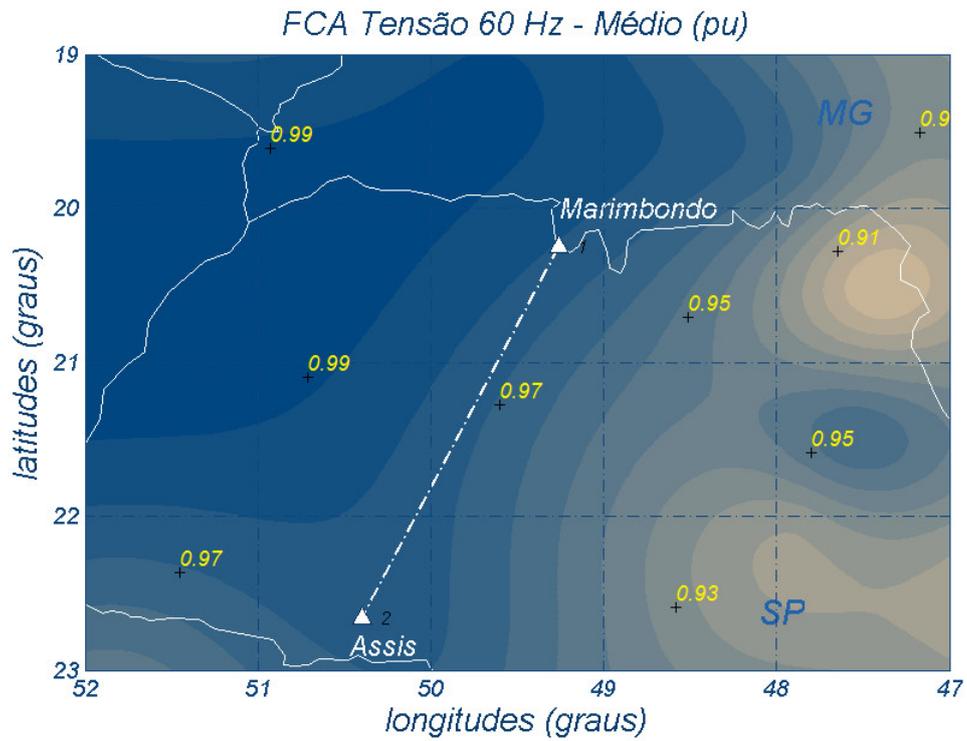
Anexo 6 Mapas das densidades relativas do ar e de “tempo - ruim”



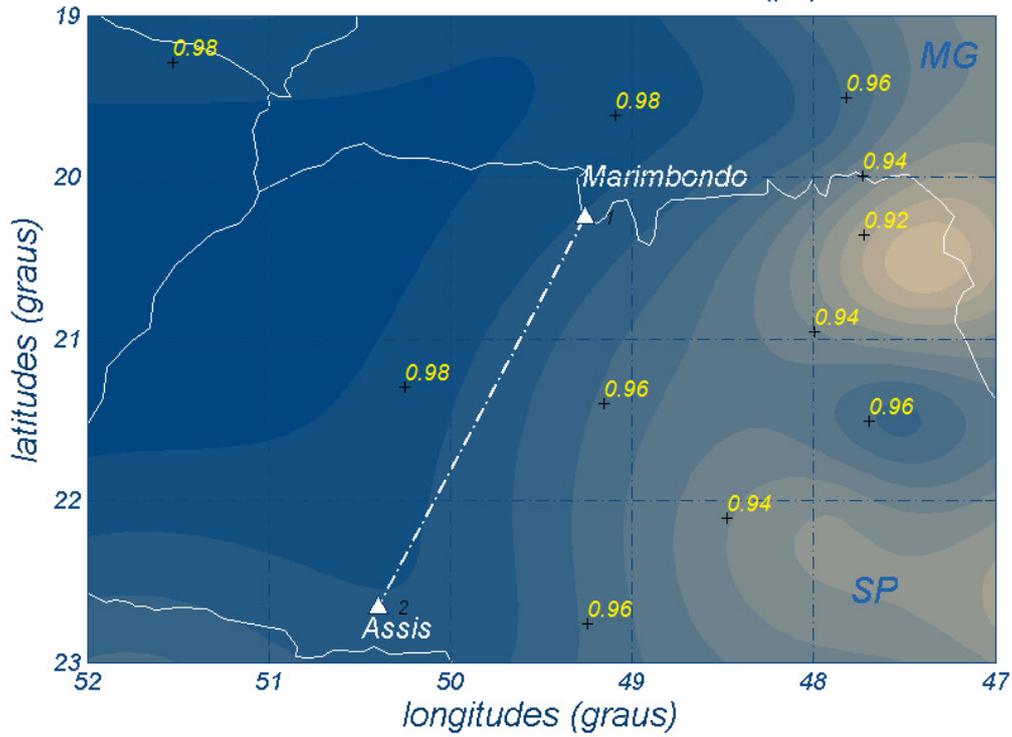


Anexo 7

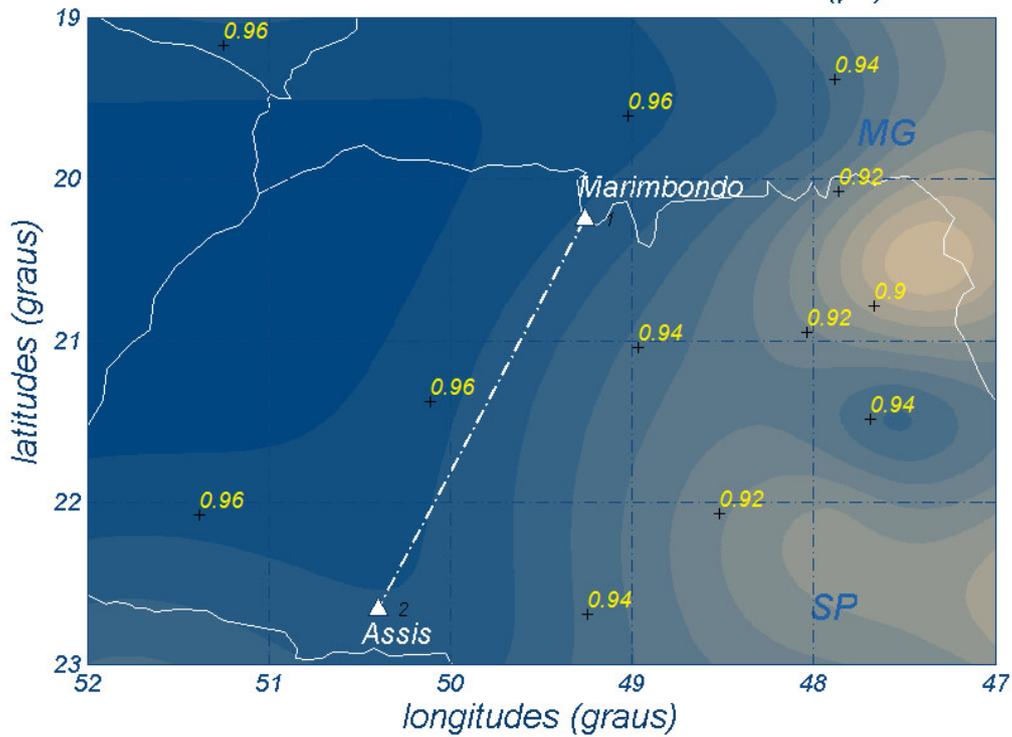
Mapas dos fatores de correção atmosféricos



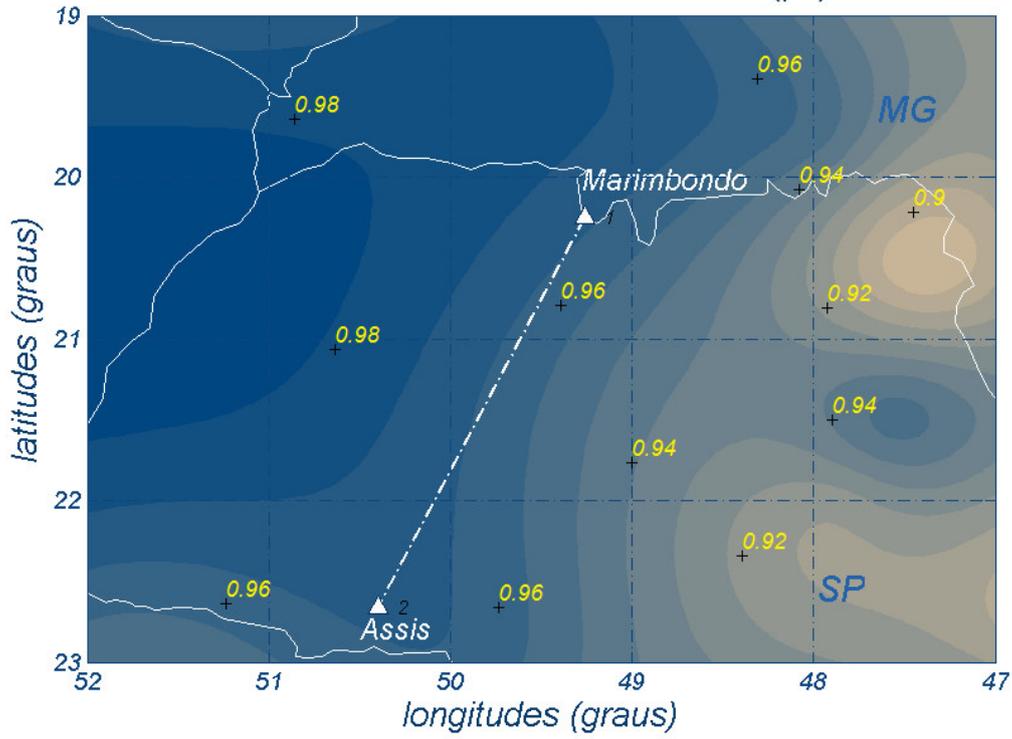
FCA Surtos de Manobra - Médio (pu)



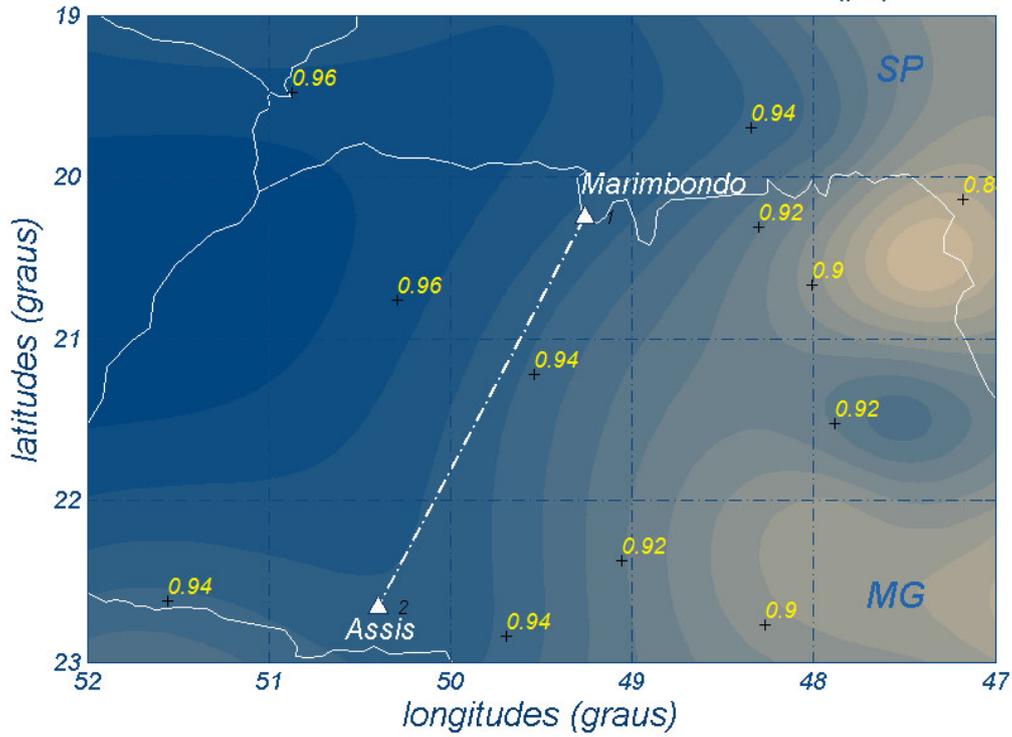
FCA Surtos de Manobra - Excedido 90% (pu)



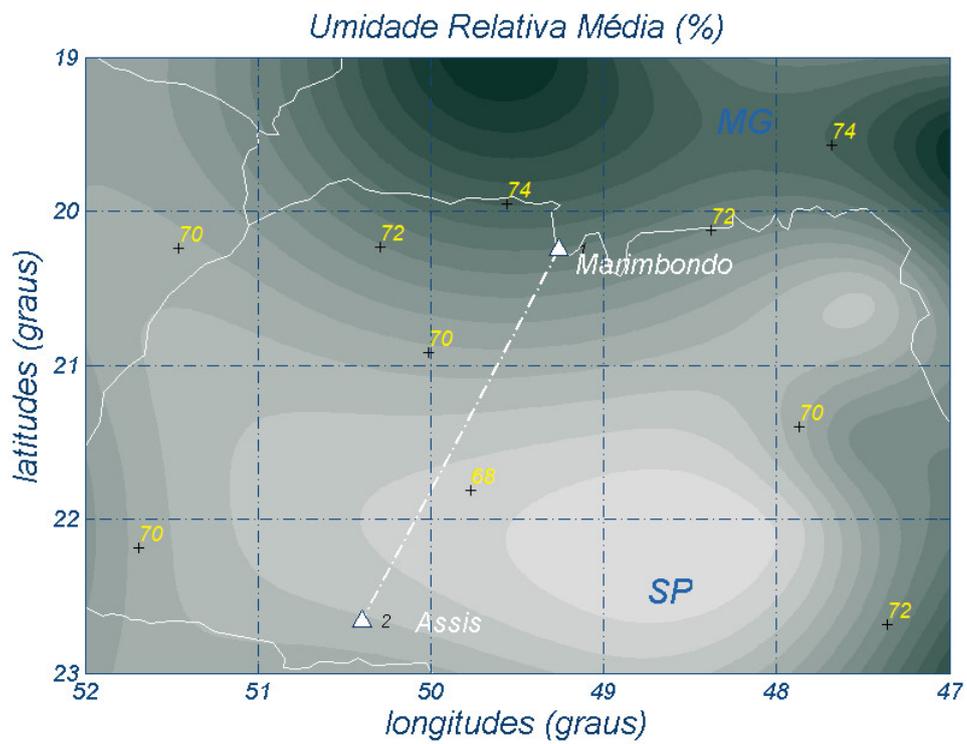
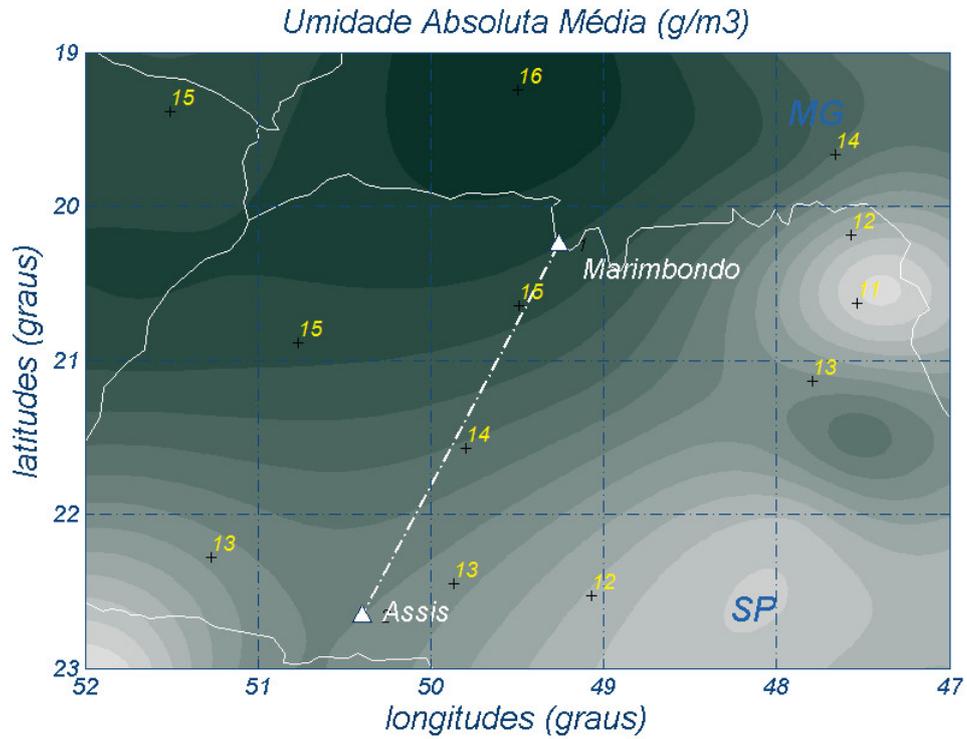
FCA Surtos Atmosféricos - Médio (pu)



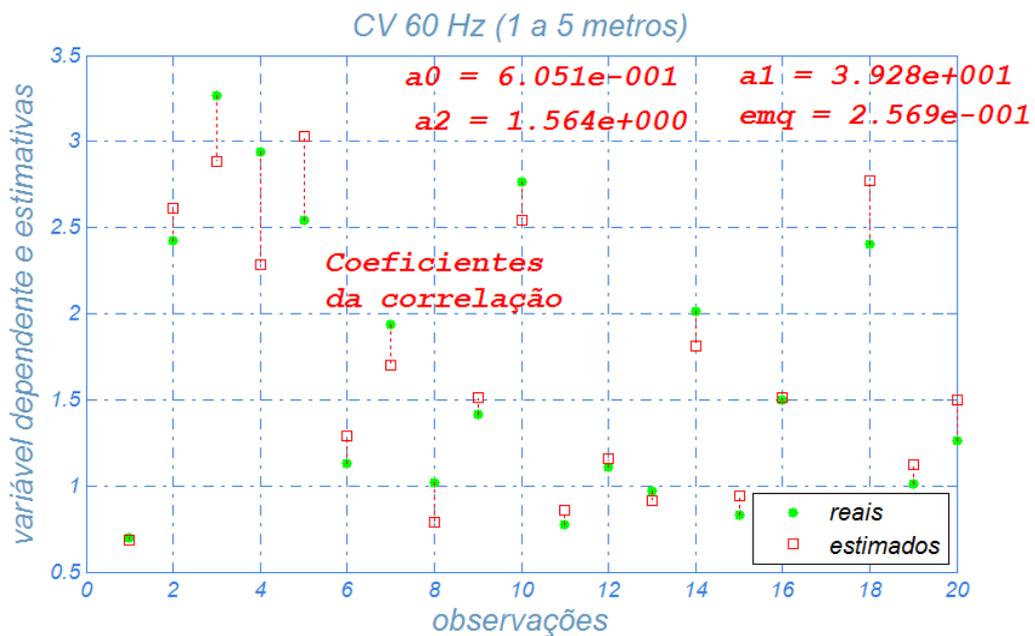
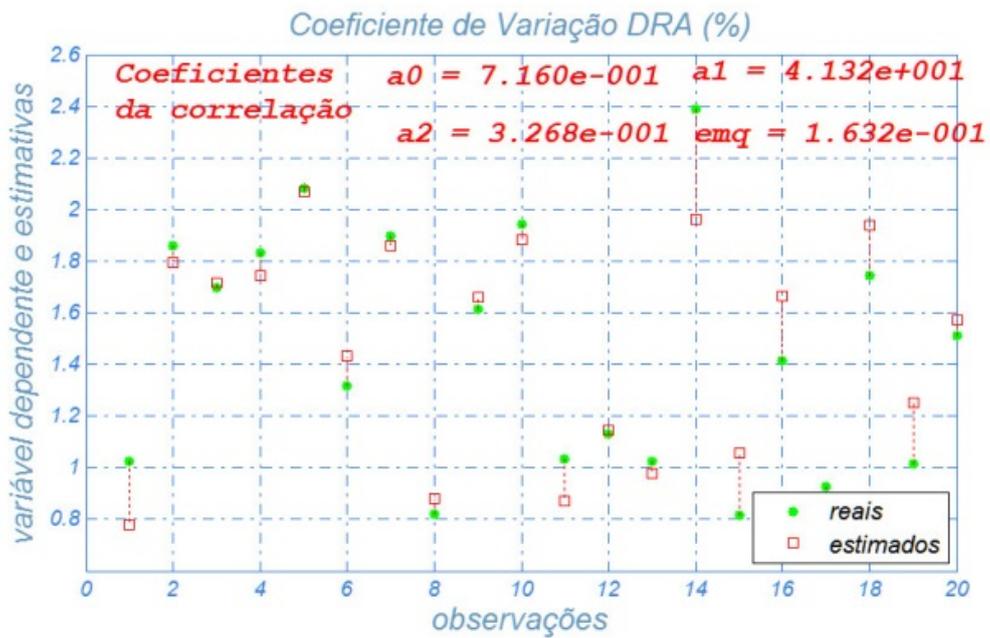
FCA Surtos Atmosféricos - Excedido 90% (pu)

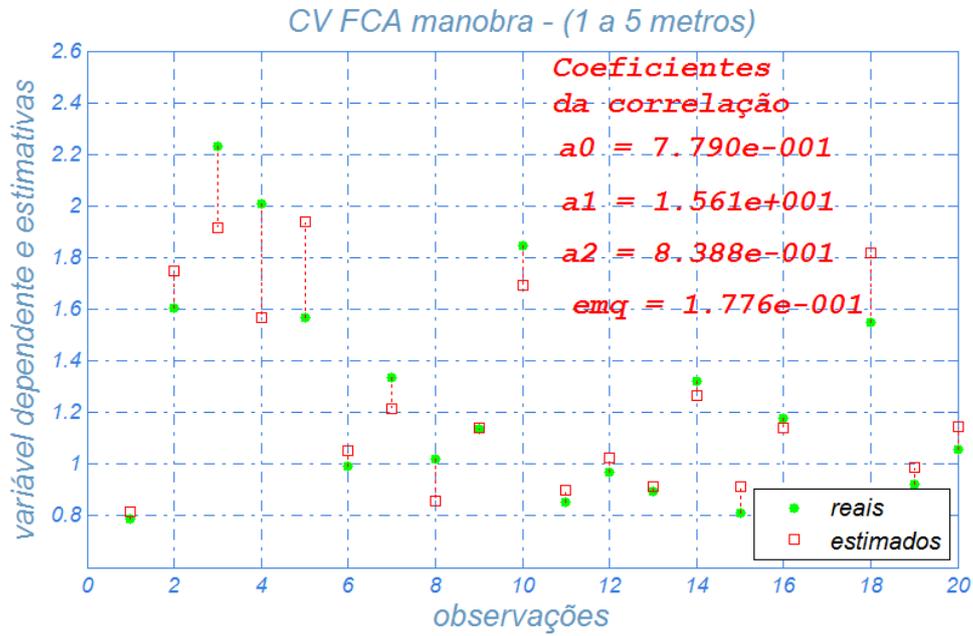


Anexo 8 Mapas das umidades do ar



Anexo 9 Resultados das correlações nos modelos analíticos





A fórmula geral tem a seguinte formatação:

$$CV\% = a_0 + a_1 \text{ latitude} + a_2 \text{ altitude}$$

latitude em graus  
altitude em km