

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE NOWCASTING  
SUBCOMPONENTE: MODELO DE PREVISÃO DE RELÂMPAGOS**

Elaborado por: Dr. Enrique Vieira Mattos

Coordenador: Dr. Luiz Augusto Toledo Machado

Cachoeira Paulista

Janeiro de 2017

## SUMÁRIO

<b>Dados do Bolsista .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1 Nome do projeto básico.....	7
1.2 Objetivo .....	7
<b>2. PRODUTO DE PREVISÃO DE RELÂMPAGOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 Descrição do produto .....	7
2.2 Estrutura de diretórios do produto.....	12
2.2.1 MODULO0 .....	13
2.2.2 MODULO1_3DVOL.....	16
2.2.3 MODULO2_FORTRACC.....	18
2.2.4 MODULO3_RAIOS .....	20
2.2.5 MODULO4_EVENTOSEVERO.....	26
2.2.6 MODULO5_VISUALIZACAO.....	32
2.2.7 SRC .....	33
2.2.8 CRON.....	39
2.2.9 LOGS.....	40
2.2.10 MANUAL.....	41
2.3 Validação dos produtos .....	43
<b>3. FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO DE CADA ETAPA COM CRONOGRAMA.....</b>	<b>46</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE A: MANUAL DE INSTALAÇÃO DO SOFTWARE DE NOWCASTING USANDO RADARES POLARIMÉTRICOS .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático da execução do produto de nowcasting. ....	12
Figura 2 - Diagrama esquemático da execução do MODULO0. ....	13
Figura 3 - Exemplo da formatação do arquivo volumétrico (PPIs) em formato ascii gerado pelo “MODULO0”. ....	16
Figura 4 - Diagrama esquemático da execução do MODULO1_3DVOL.....	18
Figura 5 - Exemplo de um arquivo Family gerado pelo ForTraCC-Radar. ....	19
Figura 6 - Diagrama esquemático da execução do MODULO2_FORTRACC. ....	20
Figura 7 - Exemplo de um arquivo log gerado pelo MODULO3_RAIOS. ....	23
Figura 8 - Exemplo do arquivo “config” que contém todas as informações do radar e do CAPPI. Este arquivo está alocado no diretório “/SRC/”.....	24
Figura 9 - Diagrama esquemático da execução do MODULO3_RAIOS. ....	26
Figura 10 - Exemplo de um arquivo log gerado pelo MODULO4_EVENTOSEVERO. ....	28
Figura 11 - Diagrama esquemático da produção do arquivo diagnóstico de severidade no MODULO4_EVENTOSEVERO.....	29
Figura 12 - Diagrama esquemático da produção do arquivo prognóstico de severidade no MODULO4_EVENTOSEVERO.....	31
Figura 13 - Diagrama esquemático da execução do MODULO5_VISUALIZACAO. ....	33
Figura 14 - Descrição dos parâmetros do cron. ....	40

Figura 15 - (a) CAPPI de 3 km de altura da refletividade observada, (b) Relâmpago totais observados (intranuvem e nuvem-solo) e (c) previsão de relâmpago produzida pelo modelo de previsão desenvolvido para 12 de abril de 2016 às 2105 UTC. Para esta validação foi utilizado o radar banda-S de Jaraguari do Mato Grosso do Sul. .... 45

Figura 16 - (a) CAPPI de 3 km de altura da refletividade observada, (b) Relâmpago totais observados (intranuvem e nuvem-solo) e (c) previsão de relâmpagos produzida pelo modelo de previsão desenvolvido para 15 de abril de 2016 às 2000 UTC. Para esta validação foi utilizado o radar banda-S de Jaraguari do Mato Grosso do Sul. .... 46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentis of 25 %, 50 % e 90 % para $Z_H$ , $Z_{DR}$ , $K_{DP}$ e $\rho_{HV}$ para as camadas de fase quente, mista 1, mista 2 e glaciada. Os percentis são mostrados para as categorias de frequência de relâmpagos: sem relâmpagos (SR), baixa (BAIXA), moderada (MOD) e alta (ALTA). .....	10
Tabela 2 - Exemplo da tabela de probabilidade utilizada para determinar a qual categoria de relâmpagos uma tempestade pertence. Neste exemplo a tempestade teve a mais alta probabilidade para a categoria ALTA. ....	11
Tabela 3 - Índices das classes de relâmpagos.....	22
Tabela 4: Descrição dos arquivos gerados e respectivos tamanhos no produto de <i>nowcasting</i> . ....	41

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CHUVA	-	Cloud processes of the main precipitation systems in Brazil: A contribution to cloud resolving modeling and to the GPM
CAPPI	-	Constant Altitude Plan Position
PPI	-	Plan Position Indicator
CAPPI	-	Constant Altitude Plan Position Indicator
SPLMA	-	São Paulo Lightning Mapping Array
Z <sub>H</sub>	-	Refletividade Horizontal
Z <sub>DR</sub>	-	Refletividade Diferencial
K <sub>DP</sub>	-	Fase Diferencial Específica
ρ <sub>HV</sub>	-	Coefficiente de Correlação

## **1. INTRODUÇÃO**

Este relatório apresenta uma descrição do produto de previsão de raios utilizando radar de dupla polarização que será implementado operacional para o SOS CHUVA. Este produto utiliza os valores das variáveis polarimétricas em diversas camadas das tempestades estimadas por radar para determinar a previsão de relâmpagos. Com isso é realizado a previsão para 15-30 minutos da frequência de relâmpagos para cada sistema precipitante, expressando estas informações como: 1) sem relâmpagos, 2) baixa, 3) moderada e 4) alta. Este produto é inédito no Brasil e poderá ser adaptado para qualquer radar polarimétrico. Com o crescente número de radares polarimétricos sendo adquirido pelo Brasil, este produto mostra-se de grande importância para antecipar a ocorrência de relâmpagos que acarretam em prejuízos e a morte de centenas de pessoas anualmente.

Nas seções seguintes deste relatório são apresentadas as características do produto de previsão de relâmpagos; como foi desenvolvido cada componente do produto; o procedimento para operacionalização e instalação do produto, exemplo do produto e validação.

### **1.1 Nome do projeto básico**

Modelo de Previsão de Relâmpagos

### **1.2 Objetivo**

O objetivo desta subcomponente de *nowcasting* foi montar e operacionalizar um produto de previsão de relâmpagos (relâmpagos nuvem-solo e relâmpagos intra-nuvem) usando radar de dupla polarização.

## **2. PRODUTO DE PREVISÃO DE RELÂMPAGOS**

### **2.1 Descrição do produto**

O produto desenvolvido realiza em tempo real a previsão da frequência de relâmpagos para até três imagens seguintes do radar polarimétrico. Fisicamente a previsão é realizada acompanhando-se as propriedades microfísicas de diversas camadas das tempestades estimadas por radar e comparando com uma tabela de referência. Esta metodologia é baseada em um estudo realizado por Mattos et al. (2016) com 5 milhões de perfis verticais provenientes de radar polarimétrico banda X durante a campanha CHUVA-Vale sediada na cidade de São José dos Campos

(detalhes sobre o projeto CHUVA pode ser encontrado em Machado et al., 2014). A metodologia consiste na combinação dos sistemas precipitantes rastreados pelo algoritmo *Forecast and Tracking of Active Convective Cells* (ForTraCC) (Vila et al., 2008) e dos *Constant Altitude Position* (CAPPI) de 2 a 15 km das variáveis polarimétricas do radar. As seguintes variáveis polarimétricas são utilizadas: refletividade horizontal ( $Z_H$ ), refletividade diferencial ( $Z_{DR}$ ), diferencial de fase específico ( $K_{DP}$ ) e coeficiente de correlação ( $\rho_{HV}$ ). A interpretação física destas variáveis e como são determinadas pode ser encontrado em Straka et al. (2000).

A metodologia considera as variáveis polarimétricas ( $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$ ) contabilizada por camada das tempestades que são: camada de fase quente (abaixo de 0 °C), mista 1 (entre 0° e -15 °C), mista 2 (entre -15° e -40 °C) e glaciada (entre -40° e -65 °C). Para cada tempestade identificada pelo algoritmo ForTraCC calcula-se o valor do percentil de 50 % para cada variável polarimétrica para cada camada supracitada. Estes valores são comparados com uma tabela de referência, que descreve para cada variável por camada qual a categoria de relâmpagos esta variável pertence. Estas categorias de relâmpagos determinadas por Mattos et al. (2016) são definidas como: (i) sem relâmpagos (0 descargas); (ii) baixa (1-6 descargas); (iii) moderada (7-13 descargas) e (iv) alta (> 13 descargas) por quilômetro quadrado em 4 minutos. No estudo de Mattos et al. (2016) o termo descargas elétricas são referente às fontes de *Very Low Frequency* (VLF) dos relâmpagos. Estas categorias são doravante denominadas “SR”, “BAIXA”, “MOD” e “ALTA”. A Tabela 1 mostra os valores de referência dos percentis de 10 %, 50 % e 90 % para cada variável para todas as camadas das tempestades determinada por Mattos et al. (2016).

Assim, baseado na diferença mínima entre o percentil de 50 % estimado numa determinada camada da tempestade e aquele da Tabela 1, determina-se em qual categoria de relâmpago aquela variável naquela camada pertence. Este procedimento é repetido para as demais variáveis desta camada, e para as demais camadas da tempestade. Portanto, determina-se uma tabela de probabilidade, em que a categoria de relâmpagos escolhida para aquela tempestade é aquela que possui a maior frequência de ocorrência nesta tabela de probabilidade. A Tabela 2

é um exemplo de uma tabela de probabilidade para uma determinada tempestade.  
Esta tempestade foi prevista com a categoria de relâmpagos ALTA.

**Tabela 1** - Percentis of 25 %, 50 % e 90 % para  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$  para as camadas de fase quente, mista 1, mista 2 e glaciada. Os percentis são mostrados para as categorias de frequência de relâmpagos: sem relâmpagos (SR), baixa (BAIXA), moderada (MOD) e alta (ALTA).

Camadas	Categoria de relâmpagos	$Z_H$ (dBZ)			$Z_{DR}$ (dB)			$K_{DP}$ ( $^{\circ}\text{km}^{-1}$ )			$\rho_{HV}$		
		P25	P50	P75	P25	P50	P75	P25	P50	P75	P25	P50	P75
Glaciada (entre $-40^{\circ}$ e $-65^{\circ}\text{C}$ )	SR	13	16	20	0.1	0.4	0.8	-0.1	0.1	0.4	0.96	0.98	1.00
	BAIXA	16	20	25	0.1	0.5	0.9	-0.1	0.2	0.5	0.97	0.98	0.99
	MOD	17	22	28	0.1	0.4	0.9	-0.2	0.2	0.5	0.97	0.98	0.99
	ALTA	20	27	33	0.1	0.4	0.9	-0.3	0.1	0.4	0.97	0.98	0.99
Mista 2 (entre $-15^{\circ}$ e $-40^{\circ}\text{C}$ )	SR	15	20	24	0.1	0.5	0.9	0.0	0.2	0.5	0.97	0.98	0.99
	BAIXA	21	25	30	0.1	0.3	0.7	0.0	0.2	0.5	0.97	0.98	0.99
	MOD	22	27	33	0.0	0.3	0.7	-0.1	0.2	0.5	0.97	0.98	0.99
	ALTA	26	32	39	0.0	0.3	0.6	-0.2	0.2	0.5	0.97	0.98	0.99
Mista 1 (entre $0^{\circ}$ e $-15^{\circ}\text{C}$ )	SR	18	24	30	0.2	0.6	1.2	-0.1	0.2	0.4	0.94	0.97	0.99
	BAIXA	23	29	35	0.1	0.4	0.9	0.0	0.2	0.4	0.95	0.98	0.99
	MOD	26	32	38	0.1	0.4	0.9	0.0	0.2	0.5	0.95	0.98	0.98
	ALTA	31	37	44	0.1	0.4	1.0	0.1	0.3	0.7	0.94	0.97	0.98
Quente ( $> 0^{\circ}\text{C}$ )	SR	18	25	32	0.2	0.6	1.2	-0.1	0.1	0.3	0.96	0.98	0.99
	BAIXA	24	31	39	0.5	1.0	1.7	0.0	0.2	0.7	0.95	0.97	0.98
	MOD	28	35	43	0.6	1.3	2.2	0.1	0.5	1.4	0.95	0.97	0.98
	ALTA	33	41	48	1.0	1.9	2.7	0.4	1.2	2.6	0.93	0.96	0.98

**Tabela 2** - Exemplo da tabela de probabilidade utilizada para determinar a qual categoria de relâmpagos uma tempestade pertence. Neste exemplo a tempestade teve a mais alta probabilidade para a categoria ALTA.

Camadas	Categoria de Fontes	Z <sub>H</sub> (dBZ)	Z <sub>DR</sub> (dB)	K <sub>DP</sub> (°km <sup>-1</sup> )	ρ <sub>HV</sub>
		P50	P50	P50	P50
Glaciada (entre -40° e - 65°C)	SRF				
	BAIXA				
	MOD				
	ALTA	X	X	X	X
Mista 2 (entre -15° e -40°C)	SR				
	BAIXA				
	MOD				X
	ALTA	X	X	X	
Mista 1 (entre 0° e -15°C)	SR				
	BAIXA				
	MOD			X	
	ALTA	X	X		X
Quente (> 0°C)	SR				
	BAIXA				
	MOD			X	
	ALTA	X	X		X

## 2.2 Estrutura de diretórios do produto

A estrutura do produto de previsão de relâmpagos é dividida em 10 módulos:

- 1) MODULO0
- 2) MODULO1\_3DVOL
- 3) MODULO2\_FORTRACC
- 4) MODULO3\_RAIO
- 5) MODULO4\_EVENTOSEVERO
- 6) MODULO5\_VISUALIZACAO
- 7) SRC
- 8) CRON
- 9) LOGS
- 10) MANUAL

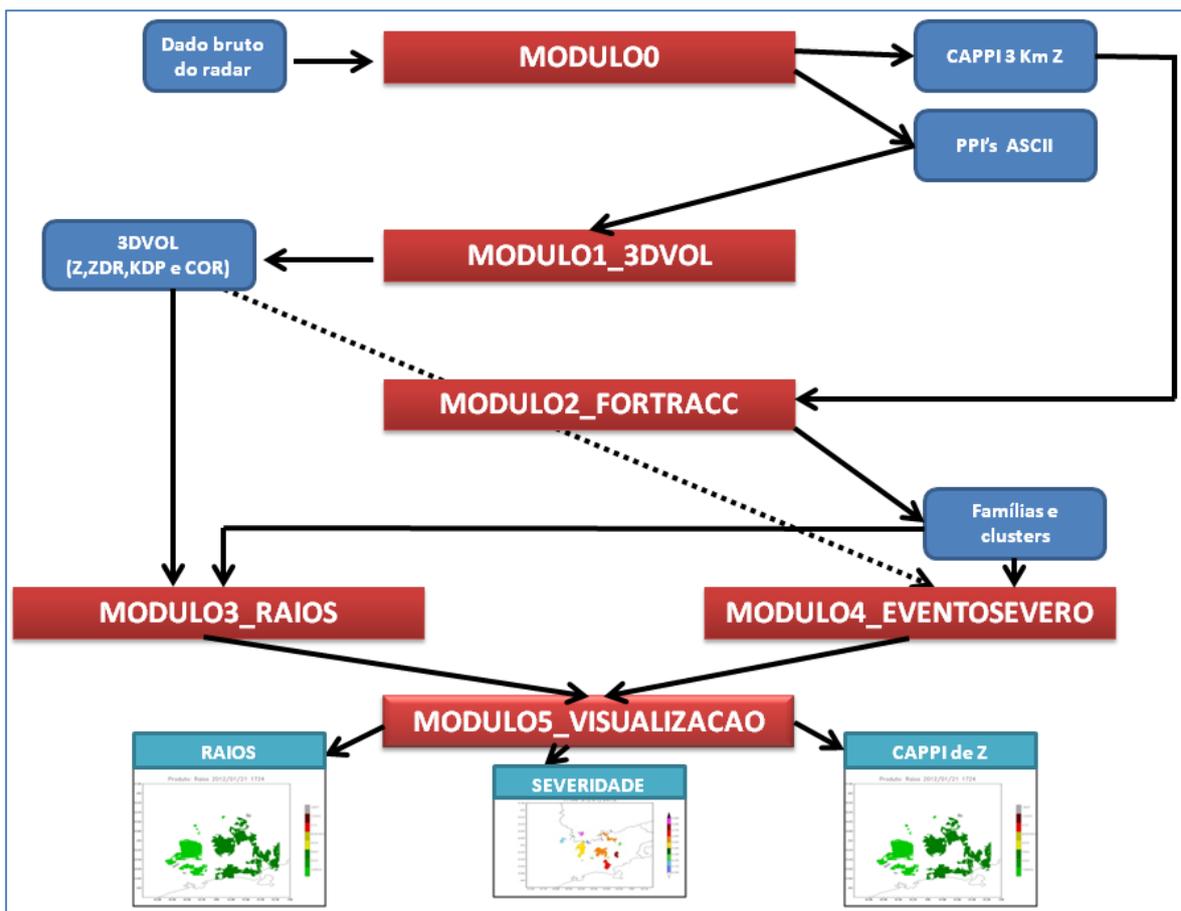
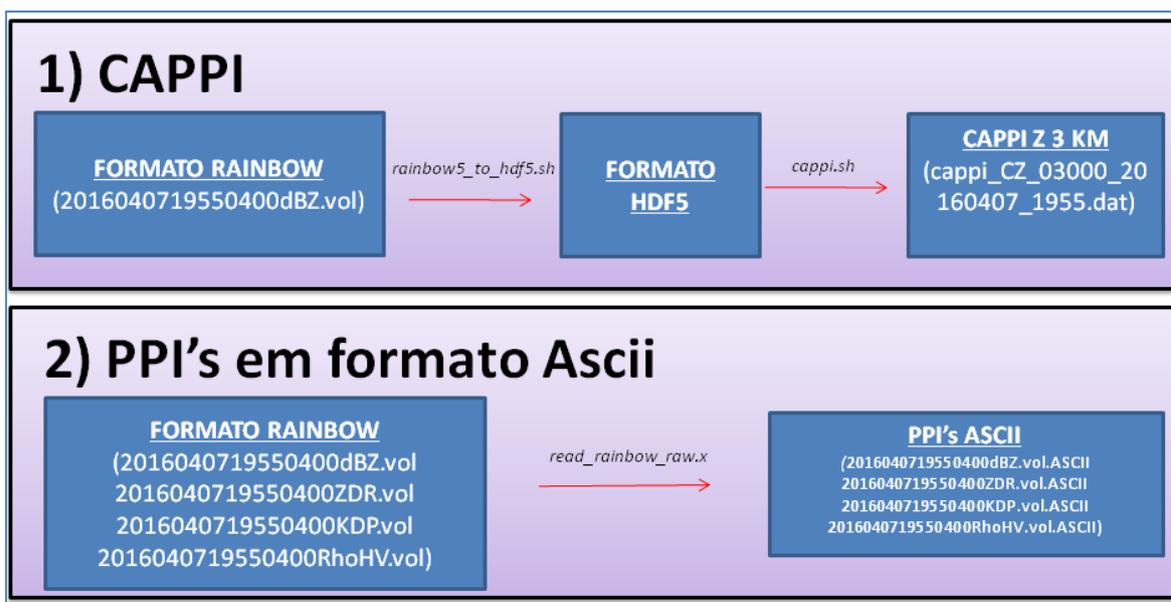


Figura 1 - Diagrama esquemático da execução do produto de *nowcasting*.

Cada módulo é responsável pela execução de uma parte do processamento. A Figura 1 mostra o diagrama esquemático de execução do produto de *nowcasting*. A seguir cada módulo será descrito em detalhes, explicitando seus códigos principais, a estrutura destes códigos e os formatos dos dados de entrada e saída e os tamanhos destes arquivos.

### 2.2.1 MODULO0

Este módulo tem a função de produzir o **CAPPI de refletividade em 3 km de altura de Z em formato binário** e os **PPI's das variáveis polarimétricas no formato ascii**. O principal *script-shell* para tal função esta nomeado como "*script\_principal.sh*" e encontra-se no subdiretório "*MODULO0/src*". A Figura 2 mostra o diagrama de execução deste módulo.



**Figura 2** - Diagrama esquemático da execução do MODULO0.

Portanto, são executadas duas etapas neste módulo:

#### 1) Produzindo o **CAPPI de 3 km de refletividade (Z)**:

Para gerar o cappi de 3 km de Z é utilizado à biblioteca do *TRMM Radar Software Library* (RSL) ([http://trmm-fc.gsfc.nasa.gov/trmm\\_gv/software/rsl/](http://trmm-fc.gsfc.nasa.gov/trmm_gv/software/rsl/)). Os códigos desta biblioteca encontram-se em linguagem C e para seu processamento os dados de entrada precisam estar no formato HDF5. Os dados que são transformados para

HDF5 são aqueles gerados pelo radar (dados brutos no formato *Rainbow*) e estão alocados no subdiretório “*MODULO0/indata\_mvols*”. Estes dados estão targeados e estão nomeados como “*vol\_250e400km\_12el.vol201604071955.tar*” tendo 4,6 Mb. Cada um destes arquivos contém todos os arquivos das variáveis geradas pelo radar, como por exemplo:

2016040719550400dBuZ.vol  
2016040719550400dBZ.vol  
2016040719550400KDP.vol  
2016040719550400PhiDP.vol  
2016040719550400RhoHV.vol  
2016040719550400uPhiDP.vol  
2016040719550400V.vol  
2016040719550400W.vol  
2016040719550400ZDR.vol

Assim a cada rodada estes arquivos são destargeados e seleciona-se o arquivo de Z (“*2016040719550400dBZ.vol*”). A transformação do arquivo de Z bruto em HDF5 é realizado pelo script-shell “*rainbow5\_to\_hdf5.sh*” alocado no subdiretório “*MODULO0/src*” que por sua vez roda o executável “*rainbow5\_to\_hdf5.exe*” que recebe como argumento de entrada o arquivo “*2016040719550400dBZ.vol*”.

Após ter sido gerado o arquivo de Z no formato HDF5 processa-se o *script-shell* denominado “*cappi.sh*”. Este script processa o executável “*cappi.exe*” que recebe como argumento de entrada o arquivo HDF5 produzido anteriormente e gera o arquivo binário do CAPPI de 3 km de Z. Assim o arquivo do cappi em 3 km de Z é gerado e salvo no subdiretório “*MODULO0/outdata\_cappi3km*” com o nome “*cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.dat*”. Este arquivo tem formato binário, com resolução de 500 Linhas x 500 Colunas, tamanho de 980 Kb, sendo o *undef* -99,0.

## 2) Produzindo os PPI's das variáveis polarimétricas no formato ascii:

Nesta etapa os dados no formato original do radar (isto é, dados brutos no formato *Rainbow*) são transformados em arquivos no formato *ascii* para cada variável polarimétrica ( $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$ ). Os dados de entrada são os seguintes:

2016040719550400dBZ.vol  
2016040719550400ZDR.vol  
2016040719550400KDP.vol  
2016040719550400RhoHV.vol

De posse destes arquivos processa-se o executável "*read\_rainbow\_raw.x*" tendo como argumentos de entrada os quatro arquivos supracitados. Os arquivos de saída são salvos no subdiretório "*MODULO0/outdata\_volascii/*" com os seguintes nomes:

2016040719550400dBZ.vol.ASCII  
2016040719550400ZDR.vol.ASCII  
2016040719550400KDP.vol.ASCII  
2016040719550400RhoHV.vol.ASCII

Cada arquivo tem 37,5 Mb e estão formatados da maneira exposta na Figura 3 abaixo:

```

Num elev: 12           → número de elevações
Elevacao 01 = 0.50000 → ângulo de cada elevação em graus
Elevacao 02 = 1.50000
Elevacao 03 = 2.50000
Elevacao 04 = 3.50000
Elevacao 05 = 4.50000
Elevacao 06 = 5.70000
Elevacao 07 = 7.00000
Elevacao 08 = 8.60000
Elevacao 09 = 10.90000
Elevacao 10 = 13.40000
Elevacao 11 = 16.40000
Elevacao 12 = 20.00000
Num rays da elevacao 01 = 0360 → quantidade de azimutes da 1º elevação
  112.01111 113.03284... → valores dos ângulos azimutes da 1º elevação
Num bins da elevacao 01 = 1600 → quantidade de bins de cada azimute da 1º elevação
  15.50000 8.50000... → valor da variável por azimute e bin da 1º elevação
Num rays da elevacao 02 = 0360 → quantidade de azimutes da 2º elevação
  112.01111 113.03284... → valores dos ângulos azimutes da 2º elevação
Num bins da elevacao 02 = 1600 → quantidade de bins de cada azimute da 2º elevação
  15.50000 8.50000... → valor da variável por azimute e bin da 2º elevação
Esse último bloco se repete até a última elevação.

```

**Figura 3** - Exemplo da formatação do arquivo volumétrico (PPIs) em formato ascii gerado pelo “MODULO0”.

### 2.2.2 MODULO1\_3DVOL

Neste módulo são gerados os CAPPIS de 2 a 15 km das variáveis polarimétricas  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$ . Estes dados são utilizados posteriormente pelos módulos “MODULO3\_RAIOS” e “MODULO4\_EVENTOSEVERO”. O código responsável para este processamento encontra-se no subdiretório “MODULO1\_3DVOL/src” e foi escrito na linguagem Fortran estando nomeado como “gera\_3Dvol.f90” e suas variáveis são declaradas no arquivo “variaveis\_3Dvol.ins”. A Figura 4 mostra o diagrama esquemático de execução deste módulo.

Os dados de entrada desse código são os arquivos volumétricos no formato ASCII gerados pelo “MODULO0” e salvos no subdiretório “MODULO0/outdata\_volascii”, os quais foram detalhados no item anterior. Os dados de saída do “MODULO1\_3DVOL” são salvos no subdiretório “MODULO1\_3DVOL/outdata\_3dvol”. Estes arquivos estão no formato binário e são salvos como real de 4 bytes sendo valores *undef* definidos como -9999,0. Ao todo são gerados 56 arquivos a cada rodada compreendendo as alturas entre 2 e

15 km para as variáveis  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$ . Cada arquivo tem um tamanho de aproximadamente 984 Kb, totalizando 55,1 Mb ao somar o tamanho de todos os 56 arquivos gerados. Os arquivos são nomeados como: AAAMMDDHHMMVAR\_cappiALTkm.bin.gz.

Um exemplo dos arquivos gerados para a altura de 2 km seria:

201604071955DBZ\_cappi2.0km.bin.gz

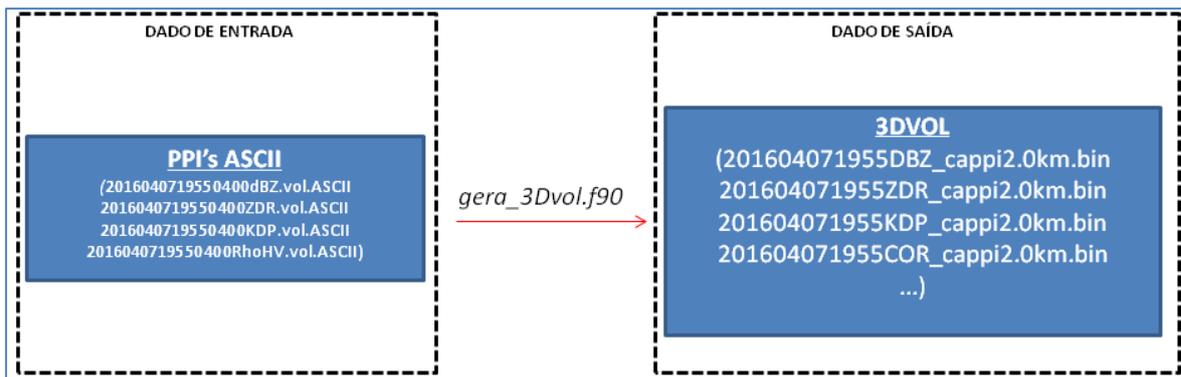
201604071955ZDR\_cappi2.0km.bin.gz

201604071955KDP\_cappi2.0km.bin.gz

201604071955COR\_cappi2.0km.bin.gz

O código “*gera\_3Dvol.f90*” realiza os seguintes procedimentos:

1. Extrai o nome dos diretórios onde estão alocados os arquivos de entrada e saída. Estas informações são informadas pelo *script-shell* que processa este módulo;
2. Declaração/leitura da latitude, longitude do radar e informações da grade do CAPPI;
3. Leitura da tabela que relaciona as coordenadas polares com as coordenadas retangulares;
4. Leitura dos 4 arquivos volumétricos (isto é, de  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$ );
5. Reprojeta os *gates* do radar em coordenadas polares para uma grade retangular. Quando mais de um *gate* do radar pertencer a uma mesma *gridcell* (doravante definida como uma célula volumétrica de 1 km x 1 km x 1 km) é extraído aquele *gate* do radar com a máxima refletividade ( $Z_H$ ). Os valores de  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$  associado a este *gate* do radar são utilizados;
6. Salva os dados em arquivos binários para cada variável separados por nível de altura.



**Figura 4** - Diagrama esquemático da execução do MODULO1\_3DVOL.

### 2.2.3 MODULO2\_FORTRACC

Este módulo processa o algoritmo ForTraCC (Vila et al., 2008) adaptado para imagens de refletividade de radar. O ForTraCC-Radar faz a identificação, rastreamento e a previsão do deslocamento dos sistemas precipitantes. Os códigos para este processamento encontram-se no subdiretório “MODULO2\_FORTRACC/src”. Os dados de entrada são os CAPPIs de 3 km de altura de Z gerados pelo “MODULO0” e encontram-se no subdiretório “MODULO0/outdata\_volascii” (discutidos na seção 2.2.1). Estes dados de entrada são arquivos binários nomeados como “cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.dat” com resolução de 500 Linhas x 500 Colunas, tamanho de 980 Kb, sendo o undef - 99,0.

Os arquivos de saída são salvos no subdiretório “MODULO2\_FORTRACC/results”. Dois grupos de arquivos principais são gerados:

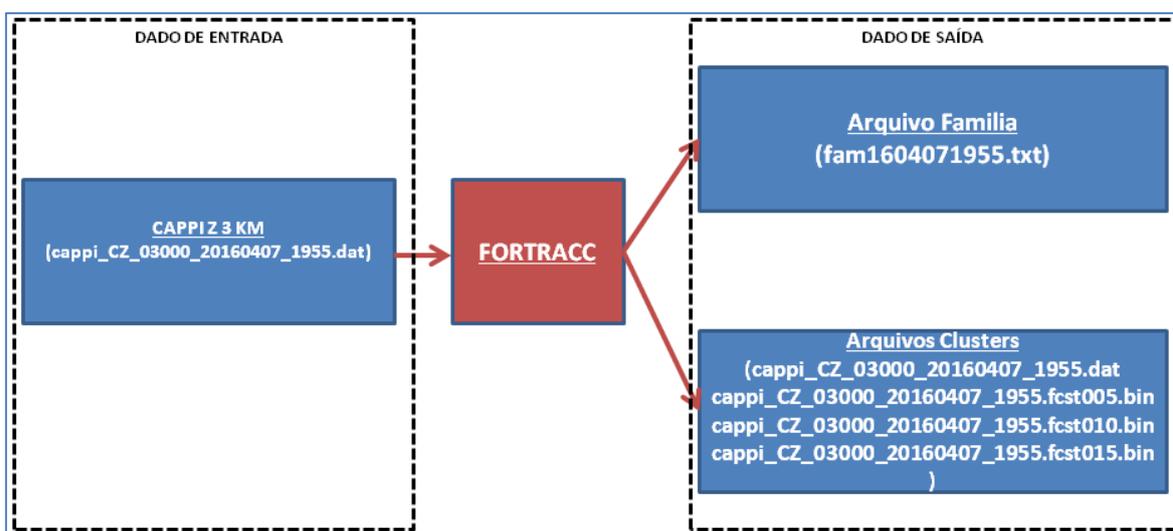
#### 1) Arquivo **FAMILY**:

No subdiretório “MODULO2\_FORTRACC/results/fcst.txt” são salvos os arquivos Family de previsão nomeados como “fam1604071955.txt”. Estes arquivos estão no formato ascii com tamanho aproximado de 52 Kb e descrevem o ciclo de vida dos sistemas precipitantes, com suas posições e características do ciclo de vida e suas previsões. Um exemplo de um típico arquivo *Family* é mostrado na Figura 5.



cappi\_CZ\_03000\_20160421\_2330.dat → *cluster diagnóstico*  
 cappi\_CZ\_03000\_20160421\_2330.fcst005.bin → *cluster de previsão de 5 min*  
 cappi\_CZ\_03000\_20160421\_2330.fcst010.bin → *cluster de previsão de 10 min*  
 cappi\_CZ\_03000\_20160421\_2330.fcst015.bin → *cluster de previsão de 15 min*

A Figura 6 mostra o diagrama esquemático de execução do MODULO2\_FORTRACC.



**Figura 6** - Diagrama esquemático da execução do MODULO2\_FORTRACC.

### 2.2.4 MODULO3\_RAIOS

Neste módulo são gerados os arquivos de previsão da frequência de relâmpagos para cada imagem do radar. A descrição de como é realizado este cálculo foi discutida na seção 2.1. O código principal para tal função é nomeado como “*calc\_prevraios.f90*” e suas variáveis são declaradas no arquivo “*variaveis\_prevraios.ins*”, ambos arquivos encontram-se no subdiretório “*MODULO3\_RAIOS/src*”. Ao todo cinco dados de entrada são utilizados neste módulo:

#### 1) Arquivo *cluster diagnóstico*

Este arquivo é gerado pelo “*MODULO2\_FORTRACC*” e está alocado no subdiretório “*results/clusters*”. É um arquivo binário, com variável do tipo real de 4 bytes e o *undef* está como 0,0. O arquivo possui dimensões de 500 Colunas x 500

Linhas e um tamanho de 980 Kb sendo nomeado como “*cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.dat*”.

## **2) Arquivo *cluster* prognóstico**

Estes arquivos são gerados pelo “*MODULO2\_FORTRACC*” e estão alocados no subdiretório “*results/clusters/*”. São arquivos binários com variável do tipo real de 4 bytes e o *undef* definido como 0,0. O arquivo possui dimensões de 500 Colunas x 500 Linhas e um tamanho de 980 Kb e são nomeados como “*cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.fcst015.bin*”.

## **3) Arquivo *Family* de previsão gerado pelo ForTraCC-Radar**

Estes arquivos são gerados pelo “*MODULO2\_FORTRACC*” e estão alocados no subdiretório “*results/fcst.txt*”. São arquivos em formato ascii contendo o ciclo de vida dos sistemas precipitantes e a previsão das suas propriedades (como discutido no item 1 da seção 2.2.3). Estes arquivos são nomeados como “*fam1604071955.txt*” e tem um tamanho aproximado de 52 Kb.

## **4) Arquivos 3DVol dos CAPPIs das variáveis polarimétricas**

São arquivos no formato CAPPI para  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$  para as alturas entre 2 e 15 km (como discutidos na seção 2.2.2). Este dado é gerado pelo “*MODULO1\_3DVOL*” e são salvos no subdiretório “*MODULO0/outdata\_volascii/*”. Estes arquivos estão no formato binário e são salvos como uma variável do tipo real de 4 bytes sendo valores *undef* definidos como -9999,0. Ao todo são gerados 56 arquivos a cada rodada compreendendo as alturas entre 2 e 15 km para as variáveis  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$ . Cada arquivo tem um tamanho de aproximadamente 984 Kb cada um, totalizando 55,1 Mb ao somar o tamanho de todos os 56 arquivos gerados. Os arquivos são nomeados como: AAAMMDDHHMMVAR\_cappiALTkm.bin.

## **5) Tabela com as classes de relâmpagos:**

É uma tabela (veja Tabela 1) no formato ascii que mostra os percentis de 25 %, 50 % e 75 % por camada da tempestade para cada variável polarimétrica e por classe de relâmpago. Esta tabela é consultada como referência para determinar qual a

classe de frequência de relâmpagos com maior probabilidade de o sistema precipitante pertencer.

Os dados de saída do “MODULO3\_RAIOS” são arquivos binários contendo os níveis de frequência de relâmpagos para cada sistema precipitante. São oito níveis de frequência de relâmpagos de 1,0 à 4,5 e cada valor está associado a uma classe de frequência de relâmpagos específico como descrito na Tabela 3.

**Tabela 3** - Índices das classes de relâmpagos.

<b>NÍVEIS</b>	<b>ÍNDICE</b>	<b>CLASSE</b>
<b>1</b>	1,0	SEMRAIO
<b>2</b>	1,5	INTER
<b>3</b>	2,0	BAIXO
<b>4</b>	2,5	INTER
<b>5</b>	3,0	MODERADO
<b>6</b>	3,5	ALTO
<b>7</b>	4,0	SEVERO
<b>8</b>	4,5	UNDEF

Portanto são gerados três arquivos de saída e são salvos no subdiretório “MODULO3\_RAIOS/outdata\_binprevraios”:

**1) 201604071955\_diagraios.bin**

Arquivo com a frequência de relâmpagos para os sistemas precipitantes da imagem diagnóstica.

**2) 201604071955\_prevraios15min.bin**

Arquivo com a frequência de relâmpagos para os sistemas precipitantes da imagem prognóstica de 15 min.

**3) 201604071955\_logdiagraios.txt**

Arquivo log demonstrando a categoria de relâmpagos de cada sistema precipitante da imagem diagnóstica (isto é, são aquelas categorias definidas na Tabela 3). A coluna 1 é o número do sistema precipitante daquela imagem e a coluna 2

representa a classe de frequência de relâmpago para aquele sistema. Segue abaixo um exemplo do arquivo log.

1	sys	indice_raios
2	1	1.0
3	2	1.0
4	3	1.0
5	4	1.5
6	5	1.0
7	6	2.0
8	7	1.0
9	8	1.0
10	9	1.0
11	10	1.0
12	11	1.0
13	12	1.0
14	13	1.0
15	14	1.0
16	15	1.0
17	16	1.0
18	17	1.0
19	18	1.0
20	19	1.0
21	20	1.0
22	21	4.5
23	22	1.5
24	23	1.0

**Figura 7** - Exemplo de um arquivo log gerado pelo MODULO3\_RAIOS.

O código “*calc\_prevraios.f90*” ainda utiliza quatro subrotinas internas.

**1) “*read\_table\_raios*”:**

Subrotina que faz a leitura da tabela que contém os percentis das variáveis polarimétricas separadas por camadas das tempestades e por classes de relâmpagos (Tabela 1, seção 2.1).

**2) “*read\_fam*”:**

Subrotina que faz a leitura dos arquivos *Family* em formato ascii gerados pelo ForTraCC-Radar. Estes arquivos são aqueles gerados pelo “*MODULO2\_FORTRACC*”.

**3) “*percentile*”:**

Subrotina que calcula o percentil de 50 % para as variáveis  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$  para cada camada da tempestade.

**4) “*read\_inforadar*”:**

Esta subrotina faz a leitura do arquivo que contém todas as informações do radar e da matriz de CAPPI. Denominado “*config*” este arquivo está no diretório “/SRC/”. Um exemplo deste arquivo é mostrado na Figura 8.

```

!#####
!      INFORMACOES GERAIS DO RADAR
!#####
NOME DO RADAR.....: JARAGUARI-MS
BANDA.....: S(0.10714 metros)

LATITUDE DO RADAR(graus).....: -20.278550
LONGITUDE DO RADAR(graus).....: -54.473960
ALTITUDE DO RADAR(netros).....: 0753.0

!#####
!      ESTRATEGIA DO RADAR
!#####
RESOLUCAO TEMPORAL(min).....: 5

RANGE DO RADAR(kn).....: 250

RESOLUCAO RADIAL(netros).....: 250
RESOLUCAO AZIMUTAL(graus).....: 1.00
ANGULO DE ABERTURA DO FEIXE(graus).....: 0.99

NUMERO MAXIMO DE ELEVACOES.....: 12
NUMERO MAXIMO DE AZIMUTES.....: 360
NUMERO MAXIMO DE BINS.....: 1600

ANGULOS DE ELEVACAO(graus).....:
1 elevacao: 0.5
2 elevacao: 1.5
3 elevacao: 2.5
4 elevacao: 3.5
5 elevacao: 4.5
6 elevacao: 5.7
7 elevacao: 7.0
8 elevacao: 8.6
9 elevacao: 10.9
10 elevacao: 13.4
11 elevacao: 16.4
12 elevacao: 20.0

!#####
!      INFORMACOES DO CAPPI
!#####
NUMERO DE COLUNAS.....: 500
NUMERO DE LINHAS.....: 500
NUMERO DE ALTURAS.....: 14 (2 a 15 kn)

ALTURA MINIMA(netros).....: 2000
ALTURA MAXIMA(netros).....: 15000
RESOLUCAO HORIZONTAL(netros).....: 1000

```

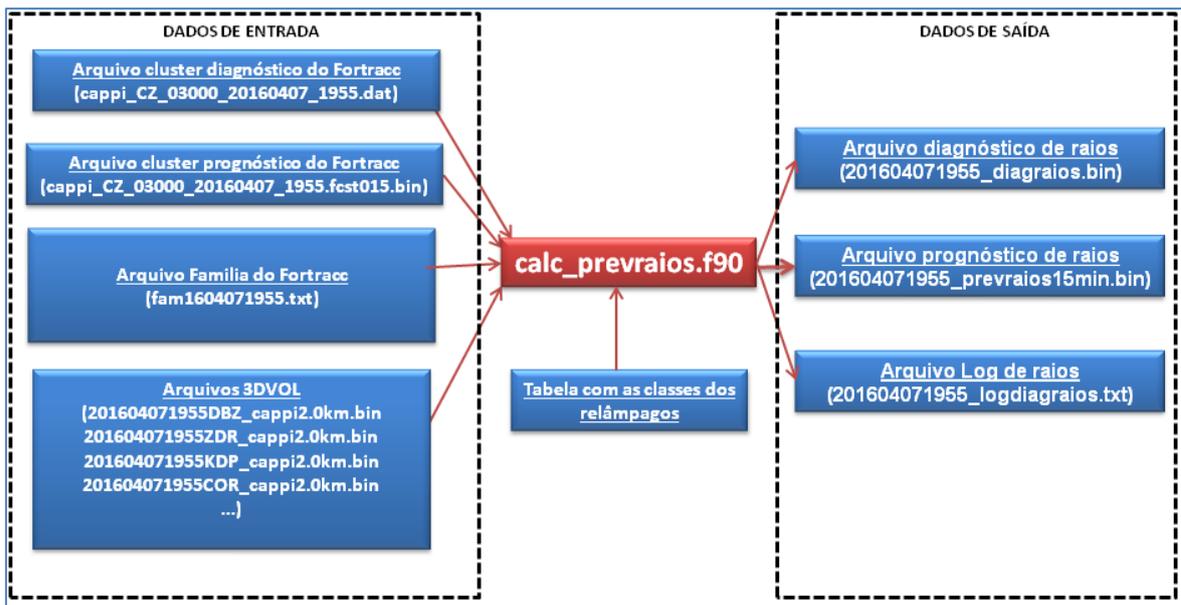
**Figura 8** - Exemplo do arquivo “*config*” que contém todas as informações do radar e do CAPPI. Este arquivo está alocado no diretório “/SRC/”.

Por fim, o código “*calc\_prevraios.f90*” calcula a previsão de frequência de relâmpagos através de uma série de passos que são os seguintes:

- 1) Extraí os caminhos dos diretórios de entrada e saída;
- 2) Leitura das informações do radar e do CAPPI;
- 3) Extraí a resolução temporal das imagens;
- 4) Leitura da Tabela de referência (Tabela 1) com as classes de relâmpagos e percentis das variáveis;
- 5) Monta o nome dos arquivos de entrada e saída;
- 6) Leitura do arquivo *cluster* diagnóstico;
- 7) Leitura dos 56 arquivos 3Dvol de CAPPI das variáveis polarimétricas;
- 8) Extraí todos os valores das variáveis para cada sistema para cada camada da nuvem (isto é, fase quente, mista 1, mista 2 e glaciada);

- 9) Calcula o percentil de 50 % para cada camada da nuvem e por variável separada para cada sistema;
- 10) Determina a classe de relâmpagos (isto é, SR, BAIXA, MOD, ALTA) para cada variável por camada para cada sistema;
- 11) Contabiliza o número de ocorrências das classes de relâmpagos, entre as camadas das nuvens e variáveis para cada sistema;
- 12) Encontra a classe de relâmpagos que mais ocorreu entre as camadas das nuvens e variáveis para cada sistema;
- 13) A classe mais repetitiva será escolhida como a representativa para aquele sistema. Porém quando duas ou mais classes de relâmpagos possuem a frequência máxima de eventos haverá três procedimentos que podem ser realizados:
  - (a) se as classes de relâmpagos são consecutivas, escolhe-se aquela classe intermediária a delas.
  - (b) se as classes de relâmpagos não são consecutivas, coloca-se como *undef*.
  - (c) se três ou mais classes tem a máxima frequência de relâmpagos, define-se a classe resultante como *undef* (isto é, 4,5).
- 14) Imprime arquivo diagnóstico;
- 15) Imprime arquivo Log;
- 16) Leitura do arquivo cluster de previsão produzido pelo ForTraCC-Radar;
- 17) Leitura do arquivo *Family* produzido pelo ForTraCC-Radar;
- 18) Monta a quantidade de relâmpagos para os sistemas precipitantes de previsão;
- 19) Imprime arquivo de previsão de relâmpagos.

A Figura 9 mostra o diagrama de execução do MODULO3\_RAIOS.



**Figura 9** - Diagrama esquemático da execução do MODULO3\_RAIOS.

### 2.2.5 MODULO4\_EVENTOSEVERO

Neste módulo são gerados os arquivos de diagnóstico e previsão de severidade para cada imagem do radar. A descrição de como é realizado este cálculo pode ser encontrado no arquivo “*MANUAL/03\_descricao\_produto\_severidade.pdf*” e no artigo apresentado por Medina e Machado (2016). Os códigos principais para tal função é o “*calc\_probsevero.f90*” e o “*calc\_prevsevero.f90*” e suas variáveis são declaradas nos arquivos “*variaveis\_probsevero.ins*” e “*variaveis\_prevsevero.ins*”, respectivamente. Abaixo serão descritos estes dois códigos em detalhes.

#### 1) “*calc\_probsevero.f90*”:

Os dados de entrada deste código são:

##### a) Arquivo *cluster* diagnóstico do ForTraCC-Radar

São arquivos produzidos pelo ForTraCC-Radar no módulo “*MODULO2\_FORTRACC*” e encontram-se no subdiretório “*MODULO2\_FORTRACC/results/clusters/*”. Estão denominados como “*cappi\_CZ\_03000\_20160322\_2020.dat*” e são binários no formato real de 500 Colunas x 500 Linhas e *undef* como 0,0.

### **b) Arquivos binários de CAPPIs**

São arquivos CAPPIs das variáveis  $Z_H$ ,  $Z_{DR}$ ,  $K_{DP}$  e  $\rho_{HV}$  de 2 à 15 km produzidos no módulo “MODULO1\_3DVOL” e encontram-se no subdiretório “MODULO1\_3DVOL/outdata\_3dvol”. Estes arquivos estão nomeados como “201604071955DBZ\_cappi2.0km.bin” e são arquivos binários no formato real de 500 Colunas x 500 Linhas e *undef* como -9999,0.

### **c) Arquivos *Family* prognóstico do ForTraCC-Radar**

São arquivos no formato ascii produzidos pelo Fortracc-Radar nomeados como “fam1604071955.txt” e encontram-se no subdiretório “MODULO2\_FORTRACC/results/fcst.txt”. Um exemplo deste arquivo foi mostrado na seção 2.2.3.

Dois arquivos de saída são produzidos no “MODULO4\_EVENTOSEVERO”:

### **a) Arquivo de probabilidade diagnóstico de severidade**

São arquivos binários mostrando a probabilidade de um sistema precipitante se tornar severo. Cada ponto de grade destes arquivos possuem valores que variam entre 0,0 e 1,0. Estão salvos como variável Real de 500 Colunas x 500 Linhas e *undef* de 99,0. Estes arquivos são nomeados com o nome “201604071955\_diagseveridade.bin” e salvos no subdiretório “MODULO4\_EVENTOSEVERO/outdata\_binsevero”.

### **b) Arquivo Log**

Estes arquivos mostram os cinco parâmetros calculados para cada sistema precipitante (veja Figura 10). A coluna 1 representa o número de identificação do sistema precipitante, a coluna 2 representa o código dos parâmetros volumétricos, sendo: 1)  $Z_H > 35$  na CFM; 2)  $K_{DP} > 0$  na CFM-1; 3)  $K_{DP} < 0$  na CFM-2; 4)  $\rho_{HV} < 0,9$  na CFM-1; 5)  $Z_{DR} < 0$  na CFM. Sendo: CFM a camada de fase mista (entre 0° e -40°C, 4 e 9 km); CFM-1 a camada de fase mista (entre 0° e -15°C, 4 e 6 km); e a CFM-2 a camada de fase mista (-15° e -40°C, 7 e 9 km). A coluna 3 representa o volume total da camada e a coluna 4 representa o volume da variável polarimétrica acima de um certo limiar. Estes arquivos são nomeados como

“201604071955\_volumes.log” e são salvos no subdiretório “MODULO4\_EVENTOSEVERO/outdata\_binsevero”.

sys	paran	vol can	vol par
1	1	0.	0.
1	2	0.	0.
1	3	0.	0.
1	4	0.	0.
1	5	0.	0.
2	1	0.	0.
2	2	0.	0.
2	3	0.	0.
2	4	0.	0.
2	5	0.	0.
3	1	186.	0.
3	2	118.	78.
3	3	33.	12.
3	4	126.	0.
3	5	180.	17.
4	1	50.	0.
4	2	21.	16.
4	3	13.	9.
4	4	26.	1.
4	5	48.	6.
5	1	39.	0.
5	2	10.	9.
5	3	0.	0.
5	4	26.	8.
5	5	26.	6.
6	1	0.	0.
6	2	0.	0.
6	3	0.	0.
6	4	0.	0.
6	5	0.	0.
7	1	0.	0.
7	2	0.	0.
7	3	0.	0.
7	4	0.	0.
7	5	0.	0.
8	1	0.	0.
8	2	0.	0.
8	3	0.	0.
8	4	0.	0.
8	5	0.	0.
9	1	2.	0.
9	2	0.	0.
9	3	0.	0.
9	4	0.	0.
9	5	0.	0.
10	1	30.	0.
10	2	21.	8.
10	3	0.	0.
10	4	21.	0.

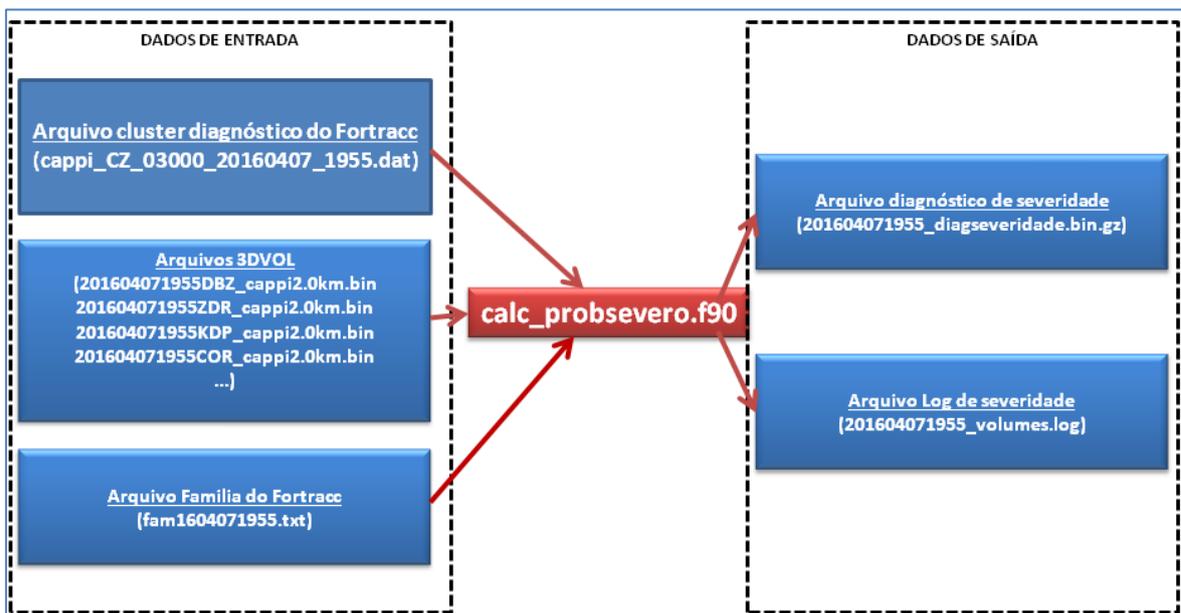
Figura 10 - Exemplo de um arquivo log gerado pelo MODULO4\_EVENTOSEVERO.

As subrotinas utilizadas por este código são: a) “*read\_fam*”: subrotina que faz a leitura do arquivo *Family* em formato ascii do ForTraCC-Radar e b) “*read\_inforadar*”: subrotina que faz a leitura das informações do radar e do CAPPI. Os seguintes passos são realizados pelo código “*calc\_probsevero.f90*” para a determinação do arquivo de diagnóstico de severidade:

- 1) Leitura do arquivo *cluster* diagnóstico do ForTraCC-Radar;
- 2) Leitura do arquivo CAPPI das variáveis polarimétricas;
- 3) Contabiliza os volumes das variáveis polarimétricas para cada sistema precipitante;
- 4) Salva num arquivo Log os volumes de todos os sistemas precipitantes daquela imagem (isto é, daquele horário);

- 5) Leitura do arquivo *Family* do ForTraCC-Radar do respectivo horário;
- 6) Leitura dos quatro arquivos logs: a) atual, b) um horário anterior, c) dois horários anteriores e d) três horários anteriores;
- 7) Calcula as derivadas e fração de volume de cada parâmetro para cada tempestade para os tempos: a) atual x anterior; b) anterior x 2\*anterior e c) 2\*anterior x 3\*anterior;
- 8) Calcula a probabilidade de evento severo para cada tempestade;
- 9) Associa a cada ponto de grade (i,j) a probabilidade de evento severo daquela tempestade calculado;
- 10) Salva a probabilidade de eventos severos num arquivo binário.

A Figura 11 mostra o diagrama esquemático da execução do MODULO4\_EVENTOSEVERO para a geração do arquivo diagnóstico de severidade.



**Figura 11** - Diagrama esquemático da produção do arquivo diagnóstico de severidade no MODULO4\_EVENTOSEVERO.

## 2) “*calc\_prevsevero.f90*”:

Este código realiza a previsão de severidade baseado no arquivo diagnóstico produzido no passo anterior. Para isto mantêm-se uma previsão conservativa, ou seja, o diagnóstico de severidade de um sistema precipitante na imagem atual é

mantido para o mesmo sistema precipitante da imagem de previsão. Os dados de entrada deste código são:

#### **a) Arquivo binário diagnóstico de severidade**

São os arquivos produzidos no passo anterior através do código “*calc\_probsevero.f90*”. São nomeados como “*201604071955\_diagseveridade.bin*” e estão salvos no subdiretório “*MODULO4\_EVENTOSEVERO/outdata\_binsevero/*”. Estão no formato binário e salvos como uma matriz real de 500 Colunas x 500 Linhas de 4 bytes e undef de -99,0.

#### **b) Arquivo binário de *cluster* diagnóstico**

São arquivos *cluster* produzidos pelo ForTraCC-Radar no módulo “*MODULO2\_FORTRACC*” e estão salvos no subdiretório “*MODULO2\_FORTRACC/results/clusters/*”. São nomeados como “*cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.dat*” e são definidos como arquivos binários e estão salvos como uma matriz real de 4 bytes de 500 Colunas x 500 Linha e *undef* de 0,0.

#### **c) Arquivo binário de *cluster* prognóstico**

São arquivos iguais ao *cluster* diagnóstico supracitado, porém são os *clusters* de previsão do ForTraCC-Radar. Estes arquivos encontram-se no subdiretório “*MODULO2\_FORTRACC/results/clusters/*” e são nomeados como “*cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.fcst015.bin*”.

#### **d) Arquivo *Family* prognóstico do ForTraCC-Radar**

São arquivos no formato *ascii* das *Familys* do Fortracc-Radar contendo seu ciclo de vida e a previsão de deslocamento e dos parâmetros. Veja exemplo na seção 2.2.3.

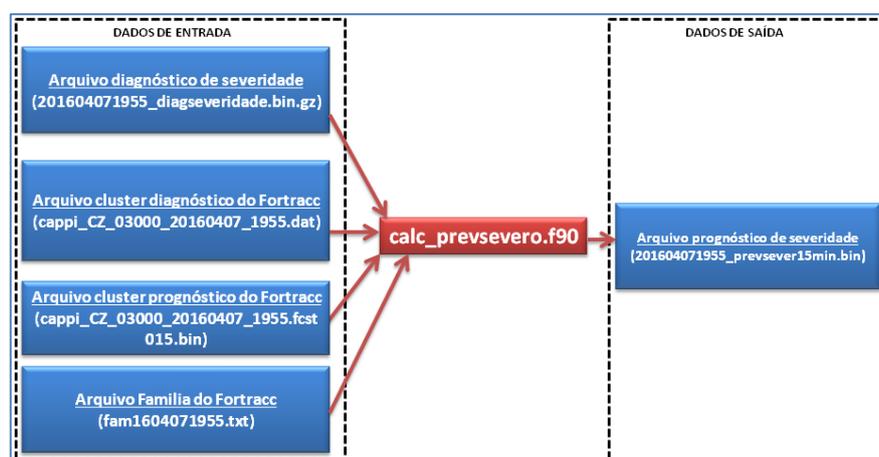
Os dados de saída produzidos pelo código “*calc\_prevsevero.f90*” são arquivos binários contendo a previsão de severidade para cada sistema precipitante, de modo similar ao arquivo de severidade de diagnóstico. Estes arquivos são nomeados “*201604071955\_prevsever15min.bin*” e são salvos no subdiretório

“MODULO4\_EVENTOSEVERO/outdata\_binsevero”. O dado é salvo como uma matriz de 500 Colunas x 500 Linhas no formato Real de 4 bytes com *undef* de 99,0. Para o processamento deste código são utilizadas as subrotinas “*read\_fam*” e “*read\_inforadar*”.

Para produzir a previsão de severidade são realizados os seguintes passos:

- 1) Leitura do arquivo de probabilidade de severidade diagnóstica;
- 2) Leitura do arquivo *cluster* diagnóstico do ForTraCC-Radar;
- 3) Leitura do arquivo *cluster* prognóstico do ForTraCC-Radar;
- 4) Leitura do arquivo *Family* prognóstica do ForTraCC-Radar do respectivo horário;
- 5) Monta a probabilidade de severidade para as tempestades da imagem diagnóstica;
- 6) Monta a probabilidade de severidade para as tempestades da imagem prognóstica;
- 7) Associa a cada ponto de grade (i, j) a previsão de severidade daquela tempestade calculada anteriormente;
- 8) Imprime arquivo de previsão de severidade.

A Figura 12 mostra o diagrama esquemático da execução do MODULO4\_EVENTOSEVERO para a geração do arquivo prognóstico de severidade.



**Figura 12** - Diagrama esquemático da produção do arquivo prognóstico de severidade no MODULO4\_EVENTOSEVERO.

## 2.2.6 MODULO5\_VISUALIZACAO

Neste módulo são geradas as seguintes figuras: **a) CAPPI 3km de Z**, **b) previsão de relâmpagos** e **c) previsão de severidade**. Os códigos para tais funções encontram-se no subdiretório “MODULO5\_VISUALIZACAO/gradscripts/” e são escritos na linguagem Grads. O procedimento para a produção destas figuras são descritos abaixo:

### a) Figuras de CAPPI 3km de Z

O código “*gsplota\_cappi3km\_DBZ.gs*” plota o cappi de 3 km e usa o ctl denominado “*ctlplota\_cappi3km\_Grads.ctl*”. Os dados de entrada são aqueles gerados pelo “MODULO00” e alocados no subdiretório “MODULO00/outdata\_cappi3km/” denominados “*cappi\_CZ\_03000\_20160407\_1955.dat*”. Assim é produzido uma figura PNG (“*201604071955\_cappi3km\_Z.png*”) e uma TIFF (“*201604071955\_cappi3km\_Z.tif*”) e são salvas no subdiretório “MODULO5\_VISUALIZACAO/figuras\_cappi3km\_Z/”. As figuras tem um tamanho de 104 Kb (PNG) e 8 Kb (GEOTIFF).

### b) Figuras de previsão de relâmpagos

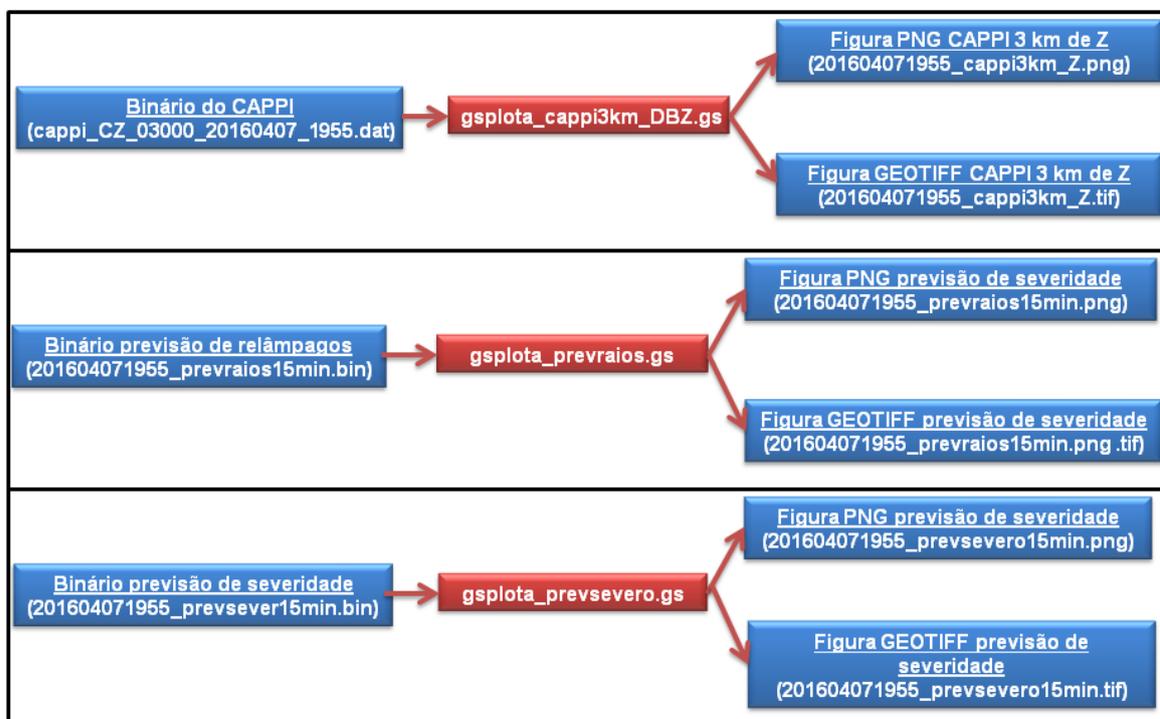
O código “*gsplota\_prevraios.gs*” plota a figura de previsão da frequência de relâmpagos e usa o ctl denominado “*ctlplota\_prevraios\_Grads.ctl*”. Os dados de entrada são aqueles gerados pelo módulo “MODULO3\_RAIOS” e estão alocados no subdiretório “MODULO3\_RAIOS/outdata\_binprevraios/” denominados “*201604071955\_prevraios15min.bin*”. As figuras de saída são geradas no formato PNG (“*201604071955\_prevraios15min.png*”) e TIFF (“*201604071955\_prevraios15min.tif*”) e são salvas no subdiretório “MODULO5\_VISUALIZACAO/figuras\_prevraios/”. As figuras tem um tamanho de 96 Kb (PNG) e 9 Kb (TIFF). Um arquivo PGW (“*201604071955\_prevraios15min.pgw*”) para georeferenciar o arquivo TIF é gerado

### c) Figuras de previsão de severidade

O código “*gsplota\_prevsevero.gs*” plota a figura de previsão de severidade e usa o ctl denominado “*ctlplota\_prevsevero\_Grads.ctl*”. Os dados de entrada são aqueles gerados pelo módulo “MODULO4\_EVENTOSEVERO” e estão alocados no subdiretório “MODULO4\_EVENTOSEVERO/outdata\_binsevero/” denominados

“201604071955\_prevsever15min.bin”. As figuras de saída são geradas no formato PNG (“201604071955\_prevsevero15min.png”) e TIFF (201604071955\_prevsevero15min.tif”) e são salvas no subdiretório “/MODULO5\_VISUALIZACAO/figuras\_severidade”. As figuras tem um tamanho de 52 Kb (PNG) e 4 Kb (TIFF). Um arquivo PGW (“201604071955\_prevsevero15min.pgw”) para georeferenciar o arquivo TIF é gerado.

A Figura 13 mostra o diagrama esquemático da execução para a produção das figuras de a) CAPPI 3km de Z, b) previsão de relâmpagos e c) previsão de severidade.



**Figura 13** - Diagrama esquemático da execução do MODULO5\_VISUALIZACAO.

## 2.2.7 SRC

Neste diretório encontra-se o arquivo de configurações denominado “config.txt” e os *scripts-shell* principais do processamento do produto de nowcasting que são: “rodar\_primeira\_vez.csh” e “gera\_fortracc.csh”.

### 1) “config.txt”

Neste arquivo encontram-se as informações usadas como referência para o processamento do produto. Informações tal como: limiares do ForTraCC, estratégia do radar, matriz de CAPPI e etc. As informações deste arquivo devem ser alteradas quando utilizadas para outros radares. Abaixo segue um exemplo deste arquivo. As informações em detalhes são:

- 1) “*DIR\_HOME*”: Nome do diretório no computador onde será instalado a pasta do produto.
- 2) “*LIMIAR\_DE\_DBZ1*” e “*LIMIAR\_DE\_DBZ2*”: Limiar de refletividade em dBZ usado pelo ForTraCC para rastrear o sistema precipitante e o núcleo do sistema precipitante, respectivamente.
- 3) “*LIMIAR\_DE\_TAMANHO1(pixels)*” e “*LIMIAR\_DE\_TAMANHO2(pixels)*”: Limiar de tamanho em *pixels* usado pelo ForTraCC para rastrear o sistema precipitante e o núcleo do sistema precipitante, respectivamente.
- 4) “*INTERVALO\_TEMPO\_HORAS*”: Intervalo de tempo em horas entre as imagens do radar.
- 5) “*TEMPO\_PREVISAO1(min)*”, “*TEMPO\_PREVISAO2(min)*” e “*TEMPO\_PREVISAO3(min)*”: Tempo das previsões a serem realizadas pelo ForTraCC.
- 6) “*NOME\_DO\_RADAR*”: Nome do radar.
- 7) “*BANDA*”: Frequência de operação do radar
- 8) “*LATITUDE\_DO\_RADAR(graus)*” e “*LONGITUDE\_DO\_RADAR(graus)*”: Latitude e longitude em graus da localização do radar.
- 9) “*ALTITUDE\_DO\_RADAR(metros)*”: Altitude da localização do radar em metros.
- 10) “*RESOLUCAO\_TEMPORAL(min)*”: Intervalo de tempo entre as imagens do radar em minutos.
- 11) “*RANGE\_DO\_RADAR(km)*”: Raio de abrangência do radar em quilômetros
- 12) “*RESOLUCAO\_RADIAL(metros)*”: Resolução radial do radar em metros.
- 13) “*RESOLUCAO\_AZIMUTAL(graus)*”: Resolução em graus entre os azimutes.
- 14) “*ANGULO\_DE\_ABERTURA\_DO\_FEIXE(graus)*”: Ângulo de abertura do feixe do radar em graus.

- 15) “NUMERO\_MAXIMO\_DE\_ELEVACOES”: Número de elevações da estratégia do radar.
- 16) “NUMERO\_MAXIMO\_DE\_AZIMUTES”: Número de azimutes por elevação.
- 17) “NUMERO\_MAXIMO\_DE\_BINS”: Número de *bins* (isto é, *gates*) do radar por feixe do radar.
- 18) “ANGULOS\_DE\_ELEVACAO(*graus*)”: Número de ângulos de elevação da estratégia do radar.
- 19) “NUMERO\_DE\_COLUNAS”: Número de colunas da matriz do CAPPI do radar, que será o mesmo número de colunas do cubo 3D.
- 20) “NUMERO\_DE\_LINHAS”: Número de linhas da matriz do CAPPI do radar, que será o mesmo número de colunas do cubo 3D de coordenadas retangulares.
- 21) “NUMERO\_DE\_ALTURAS”: Número de níveis de alturas que será utilizado no cubo 3D de coordenadas retangulares.
- 22) “ALTURA\_MINIMA(*metros*)”: Altura em metros do primeiro nível do cubo 3D.
- 23) “ALTURA\_MAXIMA(*metros*)”: Altura em metros do último nível do cubo 3D
- 24) “RESOLUCAO\_HORIZONTAL(*metros*)”: Resolução horizontal em metros do CAPPI do radar, que será o mesmo do cubo 3D de coordenadas retangulares.
- 25) “RESOLUCAO\_VERTICAL(*metros*)”: Resolução vertical em metros do CAPPI do radar, que será o mesmo do cubo 3D de coordenadas retangulares.
- 26) “RESOLUCAO\_X(*graus*)” e “RESOLUCAO\_Y(*graus*)” : Espaçamento de grade em graus na direção X e Y. Pode ser calculado através da seguinte equação:
- $$XDLAT = \text{ABS}(\text{LAT\_SUP} - \text{LAT\_INF})/(\text{NLIN}-1)$$
- $$XDLON = \text{ABS}(\text{LON\_ESQ} - \text{LON\_DIR})/(\text{NCOL}-1)$$
- 27) “LATITUDE\_SUPERIOR”: Latitude do canto superior esquerdo da matriz de CAPPI.
- 28) “LATITUDE\_INFERIOR”: Latitude do canto inferior direito da matriz de CAPPI.
- 29) “LONGITUDE\_ESQUERDA”: Longitude do canto superior esquerdo da matriz de CAPPI.

30) "LONGITUDE\_DIREITA": Longitude do canto inferior direito da matriz de CAPPI.

```
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
!  
!          DIRETORIOS  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
DIR_HOME.....: /home/nowcast_spol_v1  
  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
!  
!          PARAMETROS DO FORTRACC  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
LIMIAR_DE_DBZ1.....: 20  
LIMIAR_DE_DBZ2.....: 20  
  
LIMIAR_DE_TAMANHO1 (pixels).....: 10  
LIMIAR_DE_TAMANHO2 (pixels).....: 10  
  
INTERVALO_TEMPO_HORAS.....: 0.0835  
  
TEMPO_PREVISAO1 (min).....: 05  
TEMPO_PREVISAO2 (min).....: 10  
TEMPO_PREVISAO3 (min).....: 15  
  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
!  
!          INFORMACOES GERAIS DO RADAR  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
NOME_DO_RADAR.....: JARAGUARI-MS  
BANDA.....: S(0.10714 metros)  
  
LATITUDE_DO_RADAR (graus).....: -20.278550  
LONGITUDE_DO_RADAR (graus).....: -54.473960  
ALTITUDE_DO_RADAR (metros).....: 0753.0  
  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
!  
!          ESTRATEGIA DO RADAR  
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
RESOLUCAO_TEMPORAL (min).....: 5  
  
RANGE_DO_RADAR (km).....: 250  
  
RESOLUCAO_RADIAL (metros).....: 250  
RESOLUCAO_AZIMUTAL (graus).....: 1.00  
ANGULO_DE_ABERTURA_DO_FEIXE (graus).....: 0.99  
  
NUMERO_MAXIMO_DE_ELEVACOES.....: 12  
NUMERO_MAXIMO_DE_AZIMUTES.....: 360  
NUMERO_MAXIMO_DE_BINS.....: 1600  
  
ANGULOS_DE_ELEVACAO (graus).....:  
  elevacao_01.....: 0.5  
  elevacao_02.....: 1.5  
  elevacao_03.....: 2.5  
  elevacao_04.....: 3.5  
  elevacao_05.....: 4.5  
  elevacao_06.....: 5.7  
  elevacao_07.....: 7.0  
  elevacao_08.....: 8.6
```

```

elevacao_09.....: 10.9
elevacao_10.....: 13.4
elevacao_11.....: 16.4
elevacao_12.....: 20.0
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
!
!                      INFORMACOES DO CAPPI
!CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
NUMERO_DE_COLUNAS.....: 500
NUMERO_DE_LINHAS.....: 500
NUMERO_DE_ALTURAS.....: 14

ALTURA_MINIMA(metros).....: 2000.0
ALTURA_MAXIMA(metros).....: 15000.0

RESOLUCAO_HORIZONTAL(metros).....: 1000.0
RESOLUCAO_VERTICAL(metros).....: 1000.0

RESOLUCAO_X(graus).....: 0.00970129
RESOLUCAO_Y(graus).....: 0.00899575

LATITUDE_SUPERIOR.....: -18.0174
LATITUDE_INFERIOR.....: -22.5153
LONGITUDE_ESQUERDA.....: -56.8944
LONGITUDE_DIREITA.....: -52.0438

```

## **2) “rodar primeira vez.csh”**

Este *script* precisa ser rodado apenas na primeira vez que o produto for instalado. Basicamente ele extrai as informações do arquivo “*config.txt*” e compila os códigos dos módulos inserindo estas informações como dados de entrada. Os seguintes procedimentos são realizados neste *script*:

- 1) Monta os nomes dos diretórios e extrai as informações do arquivo “*config.txt*”;
- 2) Compila o programa (“*a\_gera\_allocatable.f90*”) que gera uma tabela com a conversão de coordenadas polares para retangulares;
- 3) Gera os arquivos CTL para plotar a imagem de previsão de relâmpagos e severidade e para plotar a imagem do CAPPI de precipitação. São utilizados as informações extraídas do arquivo “*config.txt*”;
- 4) Gera um arquivo PGW indicando as coordenadas das imagens de saída de previsão de relâmpagos e severidade;
- 5) Gera o arquivo “*family\_input.txt*” do ForTraCC;
- 6) Gera o arquivo “*fortracc\_input.txt*” do ForTraCC;
- 7) Compila os programas do ForTraCC;

- 8) Compila o programa ("*b\_gera\_3Dvol.f90*") 3DVOL que gera os CAPPIs 3D das variáveis polarimétricas;
- 9) Compila o programa ("*calc\_prevraios.f90*") que gera a previsão de raio;
- 10) Compila os programas ("*calc\_probsevero.f90*" e "*calc\_prevsevero.f90*") que geram a previsão de severidade.

### **3) "gera Fortracc.csh"**

Este *script* processa e plota os produtos finais de previsão da frequência de relâmpagos e de severidade executadas pelos módulos "*MODULO1\_3DVOL*"; "*MODULO2\_FORTRACC*"; "*MODULO3\_RAIOS*"; "*MODULO4\_EVENTOSEVERO*"; "*MODULO5\_VISUALIZACAO*". Os seguintes procedimentos são realizados neste *script*:

- 1) Extrai informações do arquivo "*config.txt*";
- 2) Extrai a data e hora atual;
- 3) Declara os caminhos dos diretórios de saída e entrada;
- 4) Verifica se o arquivo já foi processado consultando o arquivo "*LOGS/status\_program.log*";
- 5) Lista os últimos 5 arquivos de CAPPI na lista */SRC/lista.lst* gerados no diretório "*/MODULO0/outdata\_cappi3km/*";
- 6) Extrai a data do terceiro e do quinto arquivo da lista montada;
- 7) Verifica se a figura de previsão do quinto arquivo já foi gerada. Esta consulta é feita no diretório "*/MODULO5\_VISUALIZACAO/figuras\_prevraios/*";
- 8) Se não foi gerado, continua o processamento;
- 9) Adiciona no arquivo do ForTraCC chamado "*MODULO2\_FORTRACC/data/fortracc\_input.txt*" o nome do arquivo "inicial" (isto é, o terceiro arquivo da lista */SRC/lista.lst*) e "final" (isto é, o quinto arquivo da lista */SRC/lista.lst*);
- 10) Adiciona no arquivo do ForTraCC chamado "*MODULO2\_FORTRACC/data/family\_input.txt*" o simbolo de "P" de previsão;
- 11) Roda o ForTraCC alocado no diretório "*MODULO2\_FORTRACC*";
- 12) Roda o 3Dvol alocado no diretório "*/MODULO1\_3DVOL/src/*";

- 13) Roda o produto de relâmpagos alocado no diretório `"/MODULO3_RAIOS/src/";`
- 14) Roda o produto de evento severo alocado em `"/MODULO4_EVENTOSEVERO/src/";`
- 15) Produz as figuras do produto de previsão de relâmpagos e salva em `"/MODULO5_VISUALIZACAO/figuras_prevraios/".` São gerados as figuras de diagnóstico, previsão 1, previsão 2 e previsão 3. Para cada um dos 4 blocos são gerados os seguintes itens:
  - figura PNG colorida
  - figura TIF transparente
  - arquivo PGW
- 16) Produz as figuras do produto de previsão de severidade e salva em `"/MODULO5_VISUALIZACAO/figuras_severidade/".` São gerados as figuras de diagnóstico, previsão 1, previsão 2 e previsão 3. Para cada um dos 4 blocos são gerados os seguintes itens:
  - figura PNG colorida
  - figura TIF transparente
  - arquivo PGW
- 17) Produz as figuras PNG e TIFF do CAPPI 3 km de refletividade e salva no diretório `"/MODULO5_VISUALIZACAO/figuras_cappi3km_Z/";`
- 18) Realiza o mesmo procedimento anterior (itens do 4-17) definindo agora a primeira imagem do ForTraCC como o segundo arquivo da lista `/SRC/lista.lst` e a última imagem como o quarto arquivo da lista `/SRC/lista.lst`;
- 19) Como no passo 18, mas agora para o primeiro e o terceiro arquivo da lista `/SRC/lista.lst`;
- 20) Remove arquivos não mais necessários.

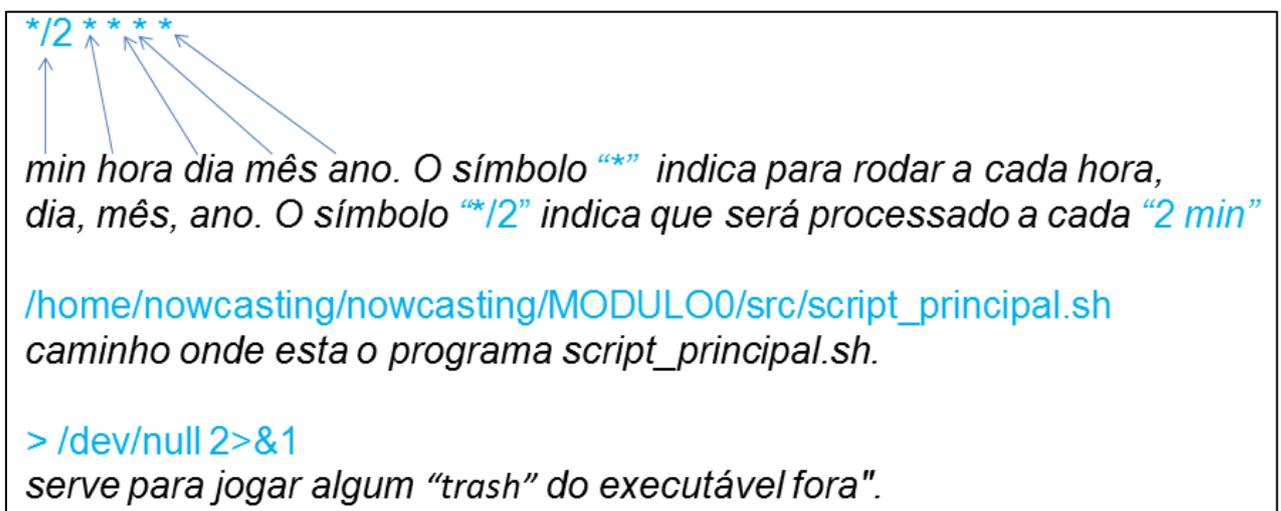
### **2.2.8 CRON**

Neste diretório esta o cron denominado `"crontab_AAAAMMDD.txt"` (exemplo, `"crontab_20160407.txt"`) utilizado para manter processando diariamente o produto de nowcasting. A data no nome do arquivo indica o dia que este cron foi editado/alterado por alguém pela ultima vez. Abaixo, segue um exemplo da estrutura do arquivo. É processado o `script-shell "gera_fortracc.csh"` que processa os módulos que produzem a previsão de relâmpagos e de severidade, isto é, os

módulos `MODULO0; MODULO1_3DVOL; MODULO2_; MODULO3_RAIOS; MODULO4_EVENTOSEVERO; MODULO5_VISUALIZACAO.`

```
#*****  
# Scripts que rodar o dado do Radar  
#*****  
*/3 * * * * /home/nowcasting/nowcasting/SRC/gera_fortracc.csh > /dev/null 2>&1
```

A explicação do formato citado anteriormente é:



`*/2 * * * *`  
min hora dia mês ano. O símbolo “\*” indica para rodar a cada hora, dia, mês, ano. O símbolo “\*/2” indica que será processado a cada “2 min”

`/home/nowcasting/nowcasting/MODULO0/src/script_principal.sh`  
caminho onde esta o programa `script_principal.sh`.

`> /dev/null 2>&1`  
serve para jogar algum “trash” do executável fora”.

**Figura 14** - Descrição dos parâmetros do cron.

### 2.2.9 LOGS

Neste diretório estão alocados arquivos log do processamento do ForTraCC. Estes logs são importantes para verificar quais arquivos foram processados ou para avaliar algum erro quando o produto parar repentinamente. O arquivo “`status_program.log`” mostra se o arquivo atual já foi processado. Se o numero “1” esta dentro do arquivo indica que a imagem atual ainda não foi processada, se igual a “0” indica que imagem atual já foi processada. O arquivo “`fortrac_20160407.log`” mostra o status de processamento do programa que gera os arquivos trk (“`trk1604071955.txt`.”) e o arquivo “`Family_20160407.log`” mostra o status do programa que produz o acoplamento das Familys (“`fam1604071955.txt`.”) produzidos pelo módulo “`MODULO2_FORTRACC`”.

## 2.2.10 MANUAL

Neste diretório encontram-se os manuais do produto. O arquivo “01\_manual\_instalacao\_software\_nowcasting.pdf” descreve o procedimento para fazer a instalação e colocar em processamento o produto de *nowcasting*. No apêndice A encontra-se uma cópia do manual de instalação. O arquivo “02\_descricao\_produto\_previsaoraios.pdf” descreve o produto de previsão de frequência de relâmpagos e o arquivo “03\_descricao\_produto\_severidade.pdf” descreve o produto de previsão de severidade.

A Tabela 4 descreve os arquivos produzidos em cada etapa do produto de *nowcasting* e seus respectivos tamanhos em bytes.

**Tabela 4:** Descrição dos arquivos gerados e respectivos tamanhos no produto de *nowcasting*.

ITEM	ARQUIVOS	TAM. UNITARIO (Kb)	TAM. TOTAL (Mb)	
MODULO0	2016042214350500dBZ.vol	452	1,5	
	2016042214350500ZDR.vol	428		
	2016042214350500KDP.vol	180		
	2016042214350500RhoHV.vol	448		
	cappi_CZ_03000_20160422_1410.dat	980	153,0	
	2016042214550500dBZ.vol.ASCII	38000		
	2016042214550500ZDR.vol.ASCII	38000		
	2016042214550500KDP.vol.ASCII	38000		
	2016042214550500RhoHV.vol.ASCII	38000		
MODULO1_3DVOL	201604150540DBZ_cappi2.0km.bin.gz	980	13,7	
	201604150540DBZ_cappi3.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi4.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi5.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi6.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi7.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi8.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi9.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi10.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi11.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi12.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi13.0km.bin.gz	980		
	201604150540DBZ_cappi14.0km.bin.gz	980		

	201604150540DBZ_cappi15.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi2.0km.bin.gz	980	13,7
	201604150540ZDR_cappi3.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi4.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi5.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi6.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi7.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi8.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi9.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi10.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi11.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi12.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi13.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi14.0km.bin.gz	980	
	201604150540ZDR_cappi15.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi2.0km.bin.gz	980	13,7
	201604150540KDP_cappi3.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi4.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi5.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi6.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi7.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi8.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi9.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi10.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi11.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi12.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi13.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi14.0km.bin.gz	980	
	201604150540KDP_cappi15.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi2.0km.bin.gz	980	13,7
	201604150540COR_cappi3.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi4.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi5.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi6.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi7.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi8.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi9.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi10.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi11.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi12.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi13.0km.bin.gz	980	
	201604150540COR_cappi14.0km.bin.gz	980	

	201604150540COR_cappi15.0km.bin.gz	980	
MODULO2_FORTRACC	fam1604151815.txt	52	4,0
	trk1604151815.txt	40	
	cappi_CZ_03000_20160421_2330.dat	980	
	cappi_CZ_03000_20160421_2330.fcst005.bin	980	
	cappi_CZ_03000_20160421_2330.fcst010.bin	980	
	cappi_CZ_03000_20160421_2330.fcst015.bin	980	
MODULO3_RAIOS	201604150320_diagraios.bin	980	2,5
	201604150320_prevraios15min.bin	980	
	201604150320_logdiagraios.txt	512	
MODULO4_EVENTOSEVERO	201604150320_diagseveridade.bin	980	2,0
	201604150320_prevsever15min.bin	980	
	201604150320_volumes.log	8	
MODULO5_VISUALIZACAO	201604220725_cappi3km_Z.png	104	0,3
	201604220725_cappi3km_Z.tif	8	
	201604220905_prevraios15min.png	96	
	201604220905_prevraios15min.tif	4	
	201604220900_prevsevero15min.png	52	
	201604220900_prevsevero15min.tif	4	

### 2.3 Validação dos produtos

A previsão de relâmpagos e de severidade do produto desenvolvido foi avaliada qualitativamente para dois estudos de caso. Para esta avaliação utilizou-se os dados do radar banda S alocado na cidade de Jaraguari no Mato Grosso do Sul operado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e dados de relâmpagos totais da rede de relâmpagos *Earth Network*. A Figura 15 mostra (a) CAPPI de 3 km de altura de refletividade observado pelo radar, (b) relâmpagos totais (relâmpago intranuvem+nuvem-solo) observado pela rede *Earth Network* e (c) previsão de relâmpagos do produto para 12 de abril de 2016 às 2105 UTC. As previsões são classificadas em: i) sem informação (ou sem relâmpagos) “SINFO”, ii) “BAIXA”, iii) “MED”, e iv) “ALTA”. A legenda de previsão de relâmpagos esta associada à frequência de relâmpagos (da frequência de ocorrência baixa até a alta). O produto de previsão designou que o sistema precipitante localizado em -20° de latitude e -55° de longitude teria uma frequência baixa de relâmpagos (Figura 15c). Os dados observados mostram bastante

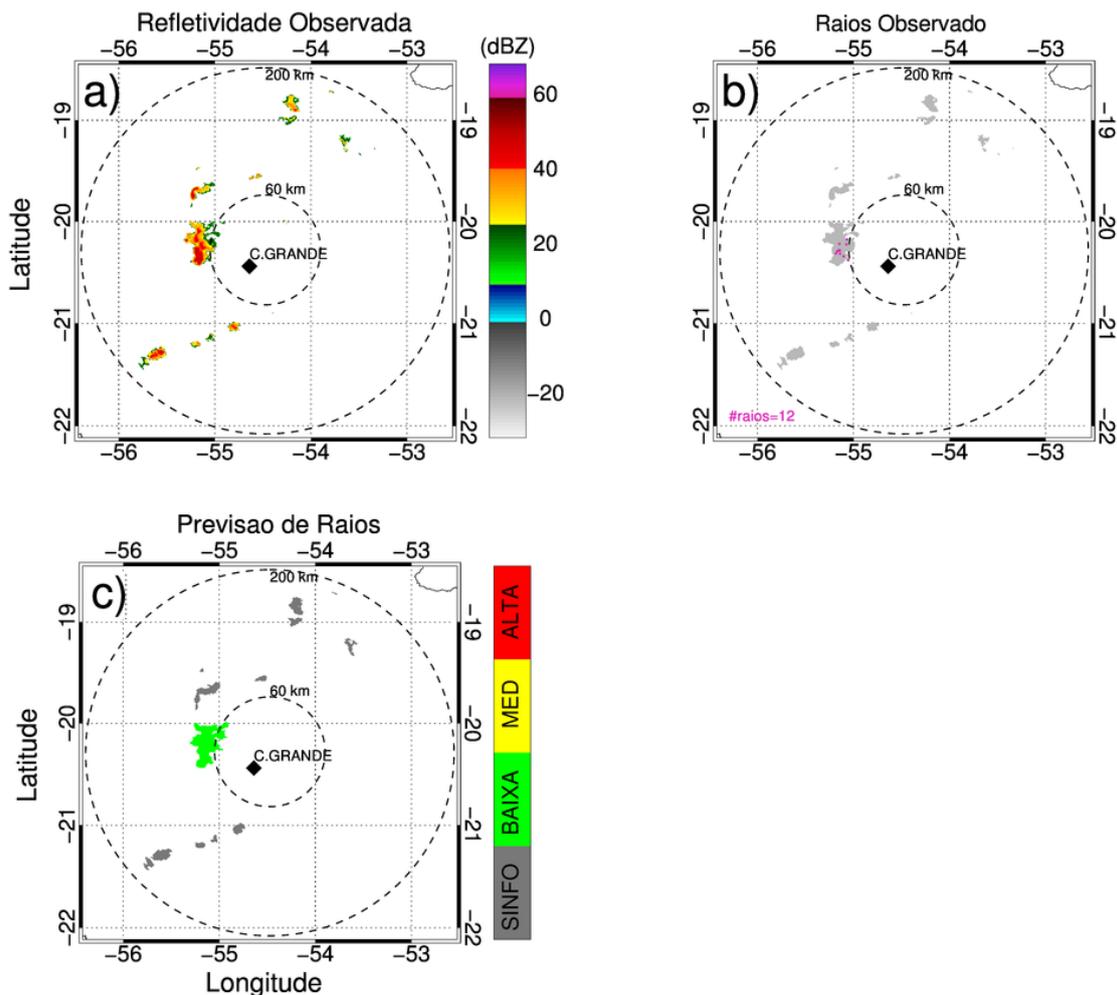
coerência com estas previsões. O radar observou para este sistema refletividade máxima em torno de 45 dBZ (Figure 15a) e foram observados 12 relâmpagos pela rede *Earth Network* (Figura 15b).

A Figura 16 mostra a comparação para os sistemas precipitantes identificados no dia 15 de abril de 2016 às 2000 UTC. Os sistemas precipitantes localizados em -20° latitude/-55° longitude e -21° latitude/-54.7° longitude tiveram qualitativamente uma boa previsibilidade. No entanto, alguns relâmpagos foram observados nestes sistemas, porém a previsão de relâmpagos foi definida como sem relâmpagos. O mesmo aconteceu com a previsão de relâmpagos para o sistema localizado a 60 km na borda oeste do radar. Estes resultados mostraram que embora qualitativamente este produto apresente uma boa previsibilidade, eles precisam ser considerados com cautela, devido a imprecisões inerentes ao produto. As incertezas associadas ao produto podem ser devido a quatro fatores:

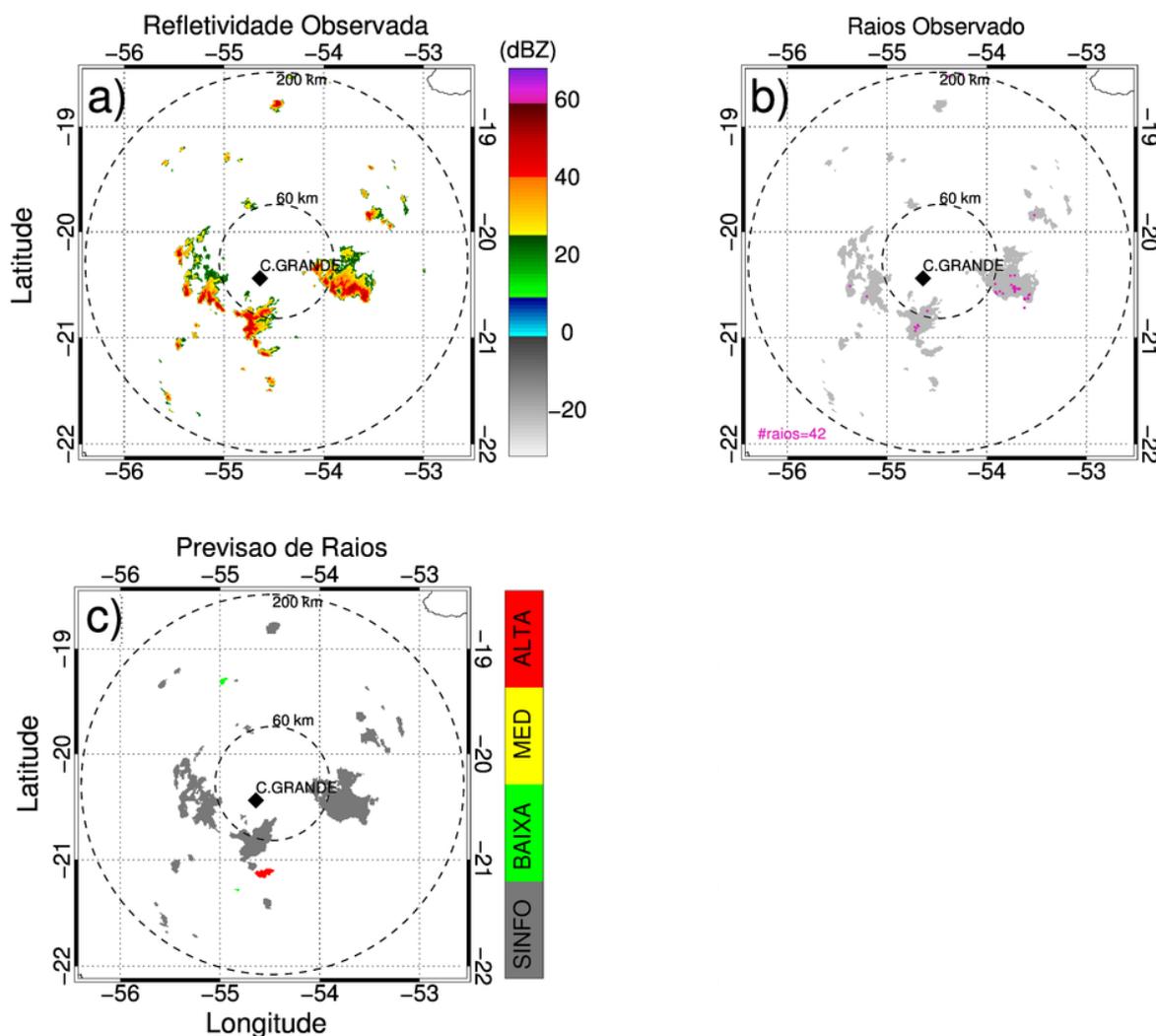
- i) Erros na previsão do algoritmo ForTraCC. Os erros na previsão de continuidade, deslocamento e tamanho previsto pelo ForTraCC poderiam afetar a combinação tridimensional das variáveis polarimétricas com os sistemas precipitantes identificados.
- ii) Limiares polarimétricos. Os limiares polarimétricos foram baseados para radar banda X, e os utilizados para a comparação são proveniente de radar banda S. Como para uma mesma nuvem as medidas de radar banda X e S podem ser diferentes, a sua utilização pode interferir na escolha da classe de relâmpagos que a medida polarimétrica pertencerá (Tabela 2). A solução seria aplicar uma correção ou desenvolver a mesma Tabela 1 para radar Banda S.
- iii) Dados de relâmpagos. A Tabela 1 foi desenvolvida com base em dados de fontes de VHF provenientes de rede LMA, enquanto os dados utilizados para validação foram relâmpagos totais (que representam a soma dos relâmpagos intranuvem e nuvem-solo). Podemos ter casos com fontes de VHF durante a formação do relâmpago, conhecido como *breakdown*, porém ainda pode não caracterizar um relâmpago intranuvem. Estes casos podem interferir na frequência de relâmpagos prevista.

- iv) Método de previsão conservativo. Por simplicidade o produto de previsão considera que a quantidade de relâmpago permanecerá constante entre a imagem atual (diagnóstica) e a imagem de previsão. De fato, em 10-20 min a quantidade de relâmpago pode variar, e a quantidade de relâmpago observados pode ser maior ou menor em relação à quantidade prevista pelo produto.

Embora incertezas sejam inerentes ao produto devido aos erros dos sistemas de observação e a metodologia empregada, as previsões delas oriundas pode auxiliar com razoável qualidade os centros de previsão e tomadores de decisão em conjunto com demais outras ferramentas de previsão de curtíssimo prazo.



**Figura 15** - (a) CAPPI de 3 km de altura da refletividade observada, (b) Relâmpago totais observados (intranuvem e nuvem-solo) e (c) previsão de relâmpago produzida pelo modelo de previsão desenvolvido para 12 de abril de 2016 às 2105 UTC. Para esta validação foi utilizado o radar banda-S de Jaraguari do Mato Grosso do Sul.



**Figura 16** - (a) CAPPI de 3 km de altura da refletividade observada, (b) Relâmpago totais observados (intranuvem e nuvem-solo) e (c) previsão de relâmpagos produzida pelo modelo de previsão desenvolvido para 15 de abril de 2016 às 2000 UTC. Para esta validação foi utilizado o radar banda-S de Jaraguari do Mato Grosso do Sul.

### 3. FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO DE CADA ETAPA COM CRONOGRAMA.

Etapas	Descrição	Período
1	Transformação dos dados volumétricos do radar em CAPPI	Fev/2015
2	Processamento do ForTraCC-Radar	maio/2015
3	Combinação dos dados do ForTraCC com os Relâmpagos	maio/2015

4	Desenvolvimento da parametrização multilinear	junho/2015
5	Operacionalização da parametrização	Jan-Mai/2016
6	Validação do Produto	Junho- Outubro/2016

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório final de atividades apresenta o produto de previsão de relâmpagos desenvolvido pelo aluno no contexto do sistema SigmaCast. Este produto realiza a previsão de relâmpagos baseado em dados de radar polarimétricos e pode ser aplicado a qualquer radar. A grande importância deste produto reside no fato que a previsão de relâmpagos ainda é limitada e depende de inúmeros fatores meteorológicos. Além disso, regiões desprovidas de sensores de relâmpagos (como a região amazônica e nordeste), podem ser beneficiadas com tal produto. O produto foi estruturado em diversos módulos, sendo cada módulo responsável por uma etapa do processamento da previsão de relâmpagos. O aluno foi responsável pela criação de cada módulo e suas rotinas em Fortran e Grads, pela validação do produto e pela operacionalização do mesmo no CPTEC/INPE. O produto foi operacionalizado no CPTEC/INPE e pode ser acessado através do *website* <http://sigma-soschuva.cptec.inpe.br/>. O produto também se encontra disponível para ser baixado através do aplicativo SOS-CHUVA para celulares IOS e Android através da *playstore*.

As previsões do produto mostram-se bastante coerentes com as observações e possuem razoável qualidade. Este produto pode ser implementado e operacionalizado para qualquer radar polarimétrico e suas previsões podem ser utilizadas em tempo real por centros de meteorologia. Espera-se que este produto auxilie o monitoramento e previsão de relâmpagos pelos meteorologistas e que combinado com outras ferramentas de previsão de curtíssimo prazo possa melhorar a detecção e previsibilidade de sistemas precipitantes intensos. Este produto pode auxiliar na emissão de alertas e avisos meteorológicos para a antecipação de ocorrência de tempestades intensas associadas a relâmpagos. Além disso, o produto desenvolvido pode ser utilizado por pesquisadores para entender melhor os processos de formação e ocorrência de relâmpagos. Este produto e seus códigos são de acesso livre, o que permite a qualquer usuário ou

pesquisador implementar mudanças e melhorias conforme suas necessidades locais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Machado, L. A. T., e coautores. The CHUVA Project - how does convection vary across the Brazil?, Bull. Am. Meteorol. Soc., 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00084.1>.

Mattos, E. V.; Machado, L. A. T.; Williams, E. R.; Albrecht, R. I. Polarimetric radar characteristics of storms with and without lightning activity, Journal of Geophysical Research, 121, 2016, doi: 10.1002/2016JD025142.

Medina, B. L.; Machado, L. A. T. Dual polarization radar lagrangian parameters: a statistics-based probabilistic nowcasting model. Submetido para Natural Hazards, Setembro de 2016.

Straka, J. M.; Zrníc, D. S.; Ryzhkov, A. V. Bulk hydrometeor classification and quantification using polarimetric radar data: Synthesis of relations, Journal of Applied Meteorology, v.39, p.1341-1372, 2000, doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(2000\)039<1341:BHCAQU>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<1341:BHCAQU>2.0.CO;2).

.

Vila, D. B.; Machado, L. A. T.; Laurent, H.; Velasco, I. Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (ForTraCC) using satellite infrared imagery: methodology and validation, Weather and Forecasting, v. 23, p. 233-245, 2008, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2007WAF2006121.1>.

**APÊNDICE A: MANUAL DE INSTALAÇÃO DO SOFTWARE DE NOWCASTING  
USANDO RADARES POLARIMÉTRICOS**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**SISTEMA GEONETCAST: UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E PREVISÃO  
DE CURTO PRAZO BASEADO EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO  
REMOTO: O SIGMACAST**

**MANUAL DE INSTALAÇÃO  
DO SOFTWARE DE NOWCASTING USANDO RADARES POLARIMÉTRICOS**

**Realizado por: Enrique Mattos**

**Contato: [enrique.vmattos@gmail.com](mailto:enrique.vmattos@gmail.com)**

**Cachoeira Paulista**

**Janeiro de 2017**

Este manual descreve como instalar o software de *nowcasting*-radar. Para utilização do software é necessário ter pré-instalado os seguintes programas.

- 1) Fortran 90 e compilador gfortran
- 2) Grads

Para a instalação do software de *nowcasting*-radar siga o seguinte procedimento:

- 1) Dezip e descompacte o arquivo no diretório onde será instalado o software através do comando: `"tar -vzxf nomedoarquivo.tar.gz"`
- 2) Acesse o arquivo **"config.txt"** no diretório **"SRC/"** e insira as informações do radar
- 3) Rode o *script-shell* **"ver rodar primeira vez.csh"** no diretório **"SRC/"** através do comando: `"./rodar_primeira_vez.csh"`. Este comando compilará todos os códigos do produto.
- 4) Montando o cron. Acesse o diretório **"SRC/"**:
  - Crie um arquivo nomeando-o como **cron nowcasting** e no arquivo escreva:

```
*/2 * * * * /home/nowcasting/nowcasting/SRC/gera_fortracc.csh >
/dev/null 2>&1
```

OBS: *Explicação do formato.*  
*mm hh d m a ;caminho do programa que roda/programa que roda > "o*  
*/dev/null serve para jogar algum "lixo" do executável fora".*

- No terminal digite **crontab crondata cron nowcasting**

OBS: *Este comando coloca o arquivo no cron.*

- No terminal digite **crontab -l**

OBS: Este comando serve para visualizar o cron