



PROD. TEC. ITV DS – N019/2021  
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2021.19.Ferreira

## **RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS**

# **SISTEMA DE PREVISÕES METEOROLÓGICAS PARA OS CORREDORES SUL-SUDESTE DA VALE**

**RELATÓRIO FINAL DO PROJETO MONITORAMENTO E  
MODELAGEM NUMÉRICA DE TEMPO E CLIMA PARA AS  
DIFERENTES ÁREAS OPERACIONAIS DA VALE**

**Douglas Batista da Silva Ferreira**

**Paulo Afonso Fischer Kuhn**

**Fabício de Oliveira Silva**

**Cláudia Priscila Wanzeler da Costa**

**Renata Gonçalves Tedeschi**

**Ana Paula Paes dos Santos**

**Belém / PA**

**Setembro / 2021**

<b>Título:</b> Sistema de previsões meteorológicas para os corredores sul-sudeste da Vale.	
<b>PROD. TEC. ITV DS N019/2021</b>	<b>Revisão</b>
<b>Classificação:</b> ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno ( X ) Pública	<b>00</b>

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

**Citar como**

FERREIRA, D. B. da S. *et al.* **Sistema de previsões meteorológicas para corredores sul-sudeste da Vale.** Belém: ITV, 2021. (Relatório Técnico N019/2021) DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2021.19.Ferreira

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

F383 Ferreira, Douglas Batista da Silva.  
Sistema de previsões meteorológicas para os corredores sul-sudeste da Vale. / Douglas Batista da Silva Ferreira ... [et al.]. Belém: ITV, 2021.

19 p.: il.

Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2021  
PROD.TEC.ITV.DS – N019/2021  
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2021.19.Ferreira

1. Rejeitos - Carajás, Serra dos (PA). 2. Flotação - Apatita - Carajás, Serra dos (PA). 3. Sossego, Mina do - Carajás, Serra dos (PA). I. Kuhn, Paulo Afonso Fischer. II. Silva, Fabrício de Oliveira. III. Costa, Cláudia Priscila Wanzeler da. IV. Tedeschi, Renata Gonçalves. V. Santos, Ana Paula Paes dos. VI. Título

CDD 23. ed. 51.6098115

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

## RESUMO EXECUTIVO

O Sistema de Previsões Meteorológicas, a partir de modelagem numérica regional foi desenvolvido pelo Instituto Tecnológico Vale (ITV), em parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA). As previsões possuem um horizonte de até 120 horas para as variáveis precipitação (em milímetros) e temperatura do ar (em °C), porém, outras variáveis também podem ser incluídas caso haja necessidade. A granularidade das informações geradas é de 3 km em latitude e longitude, o que possibilita detectar as nuances regionais e até as especificidades da cadeia mineral nos Corredores Sul e Sudeste da Vale, alvos do sistema. Tais previsões meteorológicas serão disponibilizadas por meio de um *dashboard* em PowerBi para os colaboradores da Vale previamente cadastrados.

## RESUMO

Motivado pelas necessidades da cadeia mineral da Vale ao longo dos Corredores Sul e Sudeste, localizado entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, foi desenvolvido um Sistema de Previsões Meteorológicas no Instituto Tecnológico Vale (ITV), em parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA). O sistema se baseia em modelagem numérica regional, adotando-se o *Weather Research and Forecasting* (WRF) como principal ferramenta, e o *Global Forecast System* (GFS) como condição de contorno. As simulações são feitas utilizando a estrutura de computação de alto desempenho do ITV, o cluster HPe Apollo K6000, que dispõe 672 processadores, além de um sistema de armazenamento com política de espelhamento para o backup dos dados. As saídas do modelo são para um horizonte temporal de 120 horas e realiza o *downscaling* em dois domínios, sendo um maior para todo o Brasil, com resolução espacial de 9 km e um menor, focado no Sudeste do Brasil, com resolução de 3 km em latitude e longitude. O modelo é capaz de gerar como saídas de previsão, dezenas de variáveis. No entanto, para o caso do presente sistema, os *outputs* são as componentes do vento (m/s), a temperatura do ar (°C) e a precipitação (mm). Entre os Corredores Sul e Sudeste, são destacadas doze localidades, definidas estrategicamente para as previsões meteorológicas. Tais localidades referem-se a minas, estações ferroviárias e portos, que são áreas onde há maior circulação de colaboradores da Vale, os quais episodicamente ficam expostos aos impactos das condições atmosféricas adversas e, deste modo, precisam de um conhecimento prévio sobre o estado meteorológico futuro, a fim de planejar as suas atividades diárias com maior eficácia e, principalmente, segurança.

**Palavras-chave:** previsão meteorológica; modelagem numérica; WRF; cadeia mineral.

## ABSTRACT

Motivated by the needs of Vale's mineral chain along the South and Southeast Corridors, located between the states of Minas Gerais and Espírito Santo, a Weather Forecast System was developed at the Vale Institute of Technology (ITV), in partnership with the Federal University of Pará (UFPA). The system is based on regional numerical modeling, adopting the Weather Research and Forecasting (WRF) as the main tool, and the Global Forecast System (GFS) as the boundary condition. The simulations are carried out using the ITV's high-performance computing structure, the HPe Apollo K6000 cluster, which has 672 cores, in addition to a storage system with a mirroring policy for data backup. The model's outputs are for a time horizon of 120 hours and it performs downscaling in two domains, one larger for the whole of Brazil, with a spatial resolution of 9 km and a smaller one, focused on Southeastern Brazil, with a resolution of 3 km in latitude and longitude. The model is capable of generating dozens of variables as forecast outputs. However, for the present system, the outputs are the wind components (m/s), the air temperature (°C) and the precipitation (mm). Between the South and Southeast Corridors, twelve locations are strategically defined for weather forecasts. Such locations refer to mines, railway stations and ports, which are areas where there is greater circulation of Vale employees, who are occasionally exposed to the impacts of adverse weather conditions and, therefore, need prior knowledge about the weather status future, in order to plan their daily activities more effectively and, above all, safely.

**Keywords:** weather forecast; numerical modelling; WRF; mining chain.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização dos Corredores Sul e Sudeste da Vale, com destaque para a EFVM (linha em vermelho), municípios cortados pela ferrovia (contornos em cinza) e Terminal Ilha de Guaíba (TIG) (círculo verde). ..... 10
- Figura 2 - Fotografia do cluster HPe Apollo K6000 do ITV..... 12
- Figura 3 - (a) Domínio maior e (b) domínio menor do modelo WRF para as previsões regionalizadas, centradas em Minas Gerais e com foco nos Corredores Sul-Sudeste da Vale. .... 14
- Figura 4 - Exemplo de previsão de temperatura do ar (°C) para às 22Z do dia 26/09/2021, usando o domínio menor do modelo WRF. .... 15
- Figura 5 - Conjunto de configurações de domínios do modelo para as ambas as grades voltadas para a região Sudeste do Brasil, com destaque em vermelho para as linhas alusivas a resolução espacial (em metros) dos domínios maior e menor do modelo. .... 15
- Figura 6 - Ilustração esquemática do sistema de previsões numéricas regionais desenvolvidas no ITV para os Corredores Sul e Sudeste da Vale. .... 18

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
4.1	ESTRUTURA COMPUTACIONAL	11
4.2	MODELAGEM NUMÉRICA	12
<b>5</b>	<b>ESTRUTURAÇÃO DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS</b>	<b>13</b>
5.1	DOMÍNIO DO MODELO	13
5.2	SISTEMATIZAÇÃO DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS	16
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>19</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>20</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Vale SA, uma das maiores empresas mineradoras globais e operadoras de logística do mundo, é líder em produção de minério de ferro, pelotas e níquel. Para que os produtos cheguem até o seu destino, a produção é escoada das áreas de mina por meio de ferrovias, até chegarem ao porto, onde o minério é estocado para serem embarcados nos porões dos navios (VALE, 2021).

Para que o minério seja embarcado com qualidade e mantendo os padrões de segurança para a navegabilidade, alguns critérios precisam ser observados, como o teor de umidade, a granularidade, entre outros fatores (MUNRO; MOHAJERANI, 2014). Parte das características do minério possuem relação com as condições meteorológicas regionais, como a insolação, a taxa de evaporação e, principalmente a precipitação, uma vez que a Vale realiza suas principais atividades da cadeia mineral a céu aberto, tornando as suas operações logísticas frequentemente expostas aos fenômenos atmosféricos indutores de mau tempo.

Além disso, a segurança dos empregados e colaboradores da Vale é um dos valores da companhia, que preza pela excelência em saúde e segurança. Deste modo, as condições atmosféricas, especialmente a ocorrência de tempestades, com chuvas fortes, a incidência de descargas atmosféricas e a ocorrência de rajadas de vento são elementos que podem impactar pessoas que exercem atividades da cadeia mineral ao ar livre.

Como os fenômenos naturais não podem ser evitados, mas podem ser previstos, as pesquisas e os avanços em meteorologia têm permitido cada vez mais o conhecimento do estado futuro da atmosfera. Registros observacionais, sensores, estações meteorológicas, radar meteorológico e outras técnicas de monitoramento têm demonstrado serem eficazes ao diagnosticar o comportamento das variáveis atmosféricas.

Neste sentido, a modelagem numérica em meteorologia, surge como uma ferramenta robusta e capaz de prever variáveis meteorológicas relevantes para as operações da Vale. Os modelos numéricos são compostos por equações físicas e matemáticas, escritas em linguagem computacional, integradas no tempo de modo a simular as características do sistema climático da Terra (HOLTON, 2005). Geralmente, os modelos são de código livre, o que permite a sua adaptação para



qualquer parte do planeta, alterando os parâmetros físicos e as características de cada região para a qual é feita a previsão (JACOBSON, 1999; LIOU, 1980).

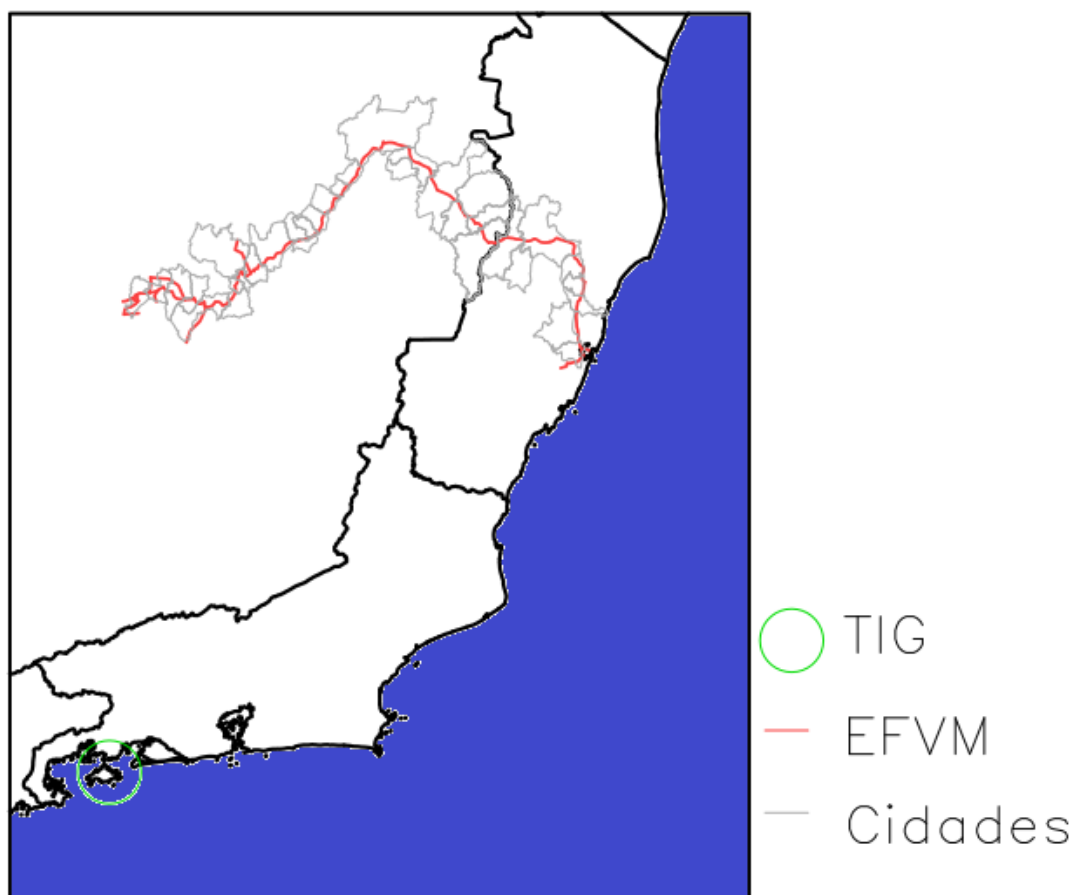
Assim, ajustar um modelo numérico em meteorologia e sistematizar as previsões para a cadeia mineral da Vale têm potencial para suprir a ausência de informações sobre o estado futuro da atmosfera, em um horizonte de curto prazo (poucos dias). Além disso, realizar pesquisa científica em modelagem numérica em meteorologia aplicada representa um fator inovador para a indústria mineral da Vale.

## **2 JUSTIFICATIVA**

A cadeia mineral da Vale na região Sudeste do Brasil é composta por minas próximas a região metropolitana de Belo Horizonte. Particularmente aquelas localizadas ao sul, compreendem o Corredor Sul, que escoam o minério pela ferrovia MRS Logística S/A até o Terminal Ilha de Guaíba (TIG). As minas localizadas mais ao norte de Belo Horizonte compreendem o Corredor Sudeste da Vale, cujo minério produzido é escoado pela Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) até o Porto de Tubarão, no Espírito Santo (Figura 1).

As atividades logísticas e operacionais da Vale ao longo dos Corredores Sul e Sudeste ocorrem a céu aberto e estão sujeitas aos impactos das condições atmosféricas, como chuvas fortes, rajadas de vento, incidência de raios, nevoeiros, os quais podem desencadear acidentes e até mesmo fatalidades.

**Figura 1** - Localização dos Corredores Sul e Sudeste da Vale, com destaque para a EFVM (linha em vermelho), municípios cortados pela ferrovia (contornos em cinza) e Terminal Ilha de Guaíba (TIG) (círculo verde).



**Fonte:** elaborado pelos autores (2021).

Para o conhecimento prévio dos eventos meteorológicos adversos, a modelagem numérica regional representa uma importante ferramenta, capaz de gerar previsões de variáveis meteorológicas, com detalhamento espaço-temporal na escala da mineração, da ordem de poucos quilômetros.

A partir disso, o avanço na pesquisa e desenvolvimento de produtos como boletins meteorológicos, contendo mapas, gráficos, tabelas e demais tipos de disponibilização das informações, podem contribuir positivamente para a otimização dos processos produtivos na cadeia mineral da Vale, além de aumentar a segurança dos empregados.

### **3 OBJETIVO**

O objetivo principal do presente relatório técnico é apresentar os resultados do desenvolvimento de um sistema de previsões por modelagem numérica em meteorologia, no Instituto Tecnológico Vale (ITV) com foco na região dos Corredores Sul e Sudeste da Vale.

### **4 MATERIAL E METODOLOGIA**

#### **4.1 ESTRUTURA COMPUTACIONAL**

Para que as simulações computacionais em meteorologia sejam geradas em um curto intervalo de tempo, de modo a possibilitar o uso das informações previstas por parte dos empregados da Vale, foi utilizado a estrutura do cluster HPe Apollo K6000 (Figura 2). Um cluster é um conjunto de computadores que executam tarefas em paralelo, a fim de otimizar o tempo de processamento e a qualidade de resultados em trabalhos computacionais que demorariam muito mais tempo sendo rodados em computadores de mesa. O supercomputador HPe Apollo K6000 é composto por 24 blades (computadores) com 672 processadores Intel Xeon (R) Gold 2.2Ghz, um total de 4,5 TB de memória RAM, além de nodos de administração, todos com Sistema Operacional SuSE 15, com capacidade de processamento de 22 Teraflops, conectado a um storage com área disponível para até 540 TB de dados.

**Figura 2** - Fotografia do cluster HPe Apollo K6000 do ITV.



**Fonte:** elaborado pelo autor - Fabrício de O. Silva (2021).

## 4.2 MODELAGEM NUMÉRICA

O Weather Research and Forecasting (WRF) é um modelo numérico regional usado mundialmente tanto para a pesquisa, quanto para a previsão de tempo operacional. Os suportes do WRF são feitos por uma comunidade, uma vez que o modelo é de código livre e compartilhado, com desenvolvimento distribuído e suporte centralizado (SKAMAROCK et al., 2008).

Inicialmente, o WRF foi desenvolvido com a liderança do National Center For Atmospheric Research (NCAR), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) / Earth System Research Laboratories (ESRL), NOAA / National Center for Environmental Prediction (NCEP) / Environmental Modeling Center (EMC), em parceria com Air Force Weather Agency (AFWA), Federal Aviation Administration (FAA), Department of Energy (DOE) / Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) e colaborações com universidades e outras agências do governo norte-americano e no exterior.

O WRF pode produzir simulações com base nas condições atmosféricas reais (ou seja, a partir de observações e análises) ou condições idealizadas. O modelo

oferece previsão operacional de uma plataforma flexível e computacionalmente eficiente, enquanto reflete os avanços recentes em física, métodos numéricos e assimilação de dados, contribuídos por desenvolvedores da comunidade de pesquisa em expansão. O WRF está atualmente em uso operacional no NCEP e em outros centros meteorológicos nacionais, como no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), bem como em configurações de previsão em tempo real em laboratórios, universidades e empresas.

O WRF possui duas soluções dinâmicas na estrutura do seu software, o ARW (Advanced Research WRF), desenvolvido no NCAR, e o NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model), desenvolvido no NCEP.

Os componentes do sistema de modelagem com o WRF consistem na fase de pré-processamento por meio do WPS (WRF Pre-Processing System), baseado na interpolação de dados reais para as rodadas de previsão numérica de tempo e no programa que adiciona mais observações na análise do modelo; na fase de processamento do modelo WRF, que inclui a inicialização de programas para dados idealizados e reais (real.exe e ideal.exe) e um programa para a integração numérica (wrf.exe); além dos módulos separados para assimilação de dados WRFDA (WRF Data Assimilation), módulo para análise química do modelo (WRF-Chem) e modelos de floresta para incêndios florestais (WRF-Fire). Essas etapas são consolidadas na fase de pós-processamento e visualização, que pode ser feito por uma série de ferramentas.

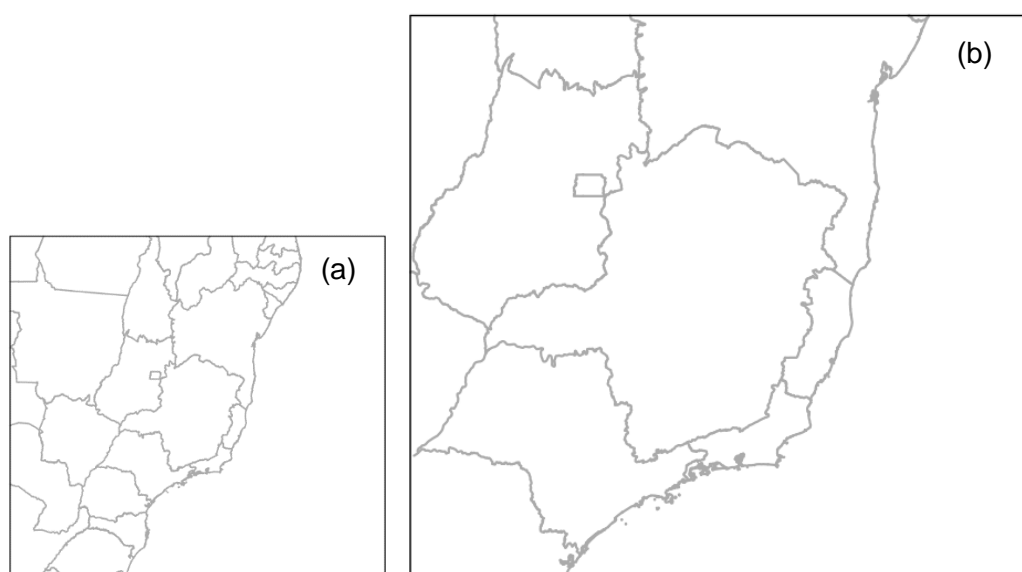
## **5 ESTRUTURAÇÃO DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS NO ITV**

### **5.1 DOMÍNIO DO MODELO**

O modelo WRF foi configurado para gerar as previsões numéricas regionais para os Corredores Sul e Sudeste da Vale a partir dos dados de análise do modelo Global Forecast System (GFS) com resolução de  $\frac{1}{4}$  de grau, e tendo dois domínios como base: um domínio maior, com a resolução espacial de 9 km (Figura 3a), a partir do qual é feito o downscaling; e um domínio menor, com resolução espacial de 3 km (Figura 3b), o qual é utilizado para as previsões meteorológicas regionalizadas. Ambas as grades geram saídas a cada hora, o que permite especificar o ciclo diurno das variáveis atmosféricas previstas em um horizonte temporal de curto prazo.

Destaca-se que o foco das integrações com o modelo precisa estar preferencialmente no centro do domínio para a obtenção de um melhor desempenho das previsões. Além disso, torna-se importante também, quando em regiões próximas ao litoral, que o domínio também inclua parte do oceano adjacente, a fim de capturar parte dos padrões oceano-atmosfera responsáveis por modular as condições de tempo regionais (WANG; WERNER, 1988).

**Figura 3** - (a) Domínio maior e (b) domínio menor do modelo WRF para as previsões regionalizadas, centradas em Minas Gerais e com foco nos Corredores Sul-Sudeste da Vale.

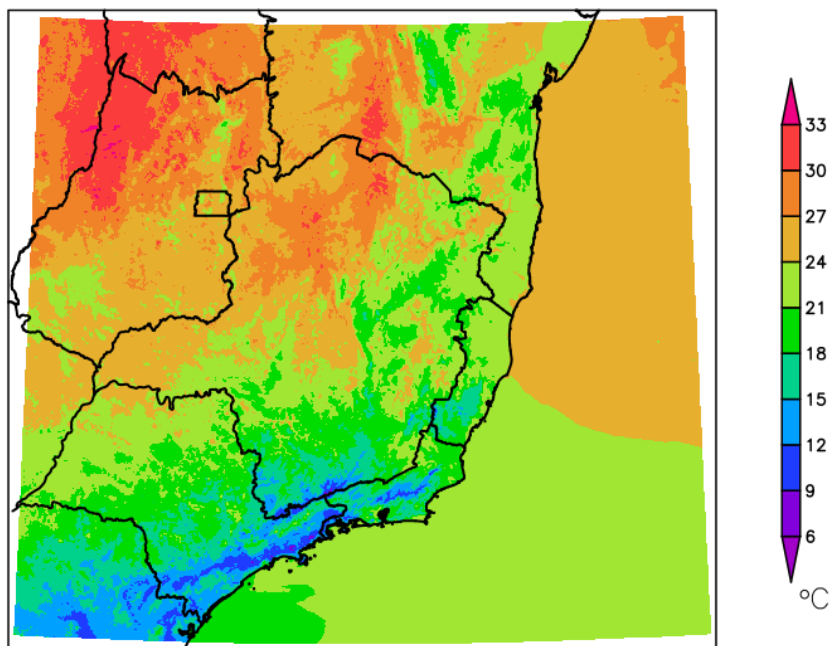


**Fonte:** elaborado pelos autores (2021).

Vale ressaltar que, por si só, o domínio maior (Figura 3a) já possui granularidade espaço-temporal suficientes para especificidades regionais na região sudeste do Brasil, com foco nas áreas de mineração. Como exemplo, a Figura 4 mostra a temperatura do ar prevista a partir da rodada das 12Z do dia 26 de setembro de 2021. Centrada no estado de Minas Gerais, e a imagem da previsão para às 22Z do dia 26/09/2021 mostra que a resolução espacial de 3 km é capaz de detalhar as diferenças regionais e até locais no Sudeste do Brasil.

Para ilustrar as características de domínio das previsões numéricas, a Figura 5 mostra o conjunto de linhas do *namelist* responsáveis pela configuração de grade do modelo WRF, onde as resoluções espaciais em latitude e longitude são, respectivamente, 9000 m e 3000 m, representadas  $dx$  e  $dy$ .

**Figura 4** - Exemplo de previsão de temperatura do ar (°C) para às 22Z do dia 26/09/2021, usando o domínio menor do modelo WRF.



Fonte: elaborado pelos autores (2021).

**Figura 5** - Conjunto de configurações de domínios do modelo para as ambas as grades voltadas para a região Sudeste do Brasil, com destaque em vermelho para as linhas alusivas a resolução espacial (em metros) dos domínios maior e menor do modelo.

```

&domains
  time_step                = 80,
  time_step_fract_num      = 0,
  time_step_fract_den      = 1,
  max_dom                  = 2,
  s_we                     = 1,      1,
  e_we                     = 360,    640,
  s_sn                     = 1,      1,
  e_sn                     = 300,    523,
  s_vert                   = 1,      1,
  e_vert                   = 34,     34,
  p_top_requested          = 7200,
  num_metgrid_levels       = 34,
  num_metgrid_soil_levels  = 4,
  use_surface              = .true.,
  sfcf to sfcf            = .true.,
  dx                       = 9000,   3000,
  dy                       = 9000,   3000,
  grid_id                  = 1,      2,
  parent_id                = 1,      1,
  i_parent_start           = 1,      77,
  j_parent_start           = 1,      58,
  parent_grid_ratio         = 1,      3,
  parent_time_step_ratio   = 1,      3,
  feedback                 = 1,
  smooth_option            = 0,
/

```

Fonte: elaborado pelos autores (2021).

## 5.2 SISTEMATIZAÇÃO DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS

Um dos propósitos das simulações numéricas de tempo com o modelo WRF é gerar *outputs*, os quais podem ser no formato de arquivos de imagem, gráficos ou *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII). Para o presente caso, tais dados serão consumidos por um sistema de disponibilização de previsões meteorológicas para os Corredores Sul e Sudeste da Vale.

A automação de todos os processos ocorre com a utilização de scripts escritos na linguagem SHELL (<https://www.gnu.org/software/bash/>). Todos os scripts em SHELL foram desenvolvidos especificamente para o propósito deste projeto, incluindo os programas de pós-processamento utilizando o software Grid Analysis and Display System - GrADS (<http://opengrads.org>), os quais foram escritos para gerar *outputs* no formato de texto (.txt), para então extrair os dados que alimentarão o sistema de previsões meteorológicas. A linguagem SHELL foi adotada em virtude de sua praticidade, facilidade de entendimento, por ser nativa ao Sistema Operacional instalado no cluster HPe Apollo K6000, que é uma solução robusta em HPC (da língua inglesa leia-se Computação de Alto Desempenho) que conta com 672 núcleos computacionais executando rotinas em paralelo (ver seção 4).

No caso das rotinas estabelecidas na proposta deste projeto, com exceção dos processos de transferência dos dados iniciais oriundos do GFS (Global Forecast System), todas as demais etapas são executadas usando vários processadores, sendo que a etapa da modelagem numérica utiliza 420 núcleos computacionais. O custo computacional para cumprir todas etapas é da ordem de 2 horas, sendo que a obtenção dos dados iniciais consome metade deste tempo devido ao seu volume total em bytes, cerca de 7,7Gb. Para este processo utiliza-se um fragmento de um script na linguagem PYTHON (<https://docs.conda.io/en/latest/miniconda.html>) incorporado em um script em Shell que é capaz de verificar a existência e consistência dos dados transferidos.

O processamento da modelagem numérica envolve alguns processos que são inerentes ao modelo WRF (<https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>), que consiste basicamente no pré-processamento e no processamento propriamente dito. Na primeira fase é dividida em três partes, onde a primeira (Geogrid) é responsável por preparar as condições de contorno como topografia, vegetação, tipos de solo, e demais características da região para a qual se pretende executar o modelo, e mais duas fases (Ungrib e Metgrid) que consistem,



basicamente, na conversão de formato dos arquivos obtidos para que o modelo possa ler. A segunda fase por sua vez é executada em duas etapas, onde a primeira etapa (*real.exe*) converte para o formato do modelo as informações referentes às condições de contorno de superfície, enquanto que a etapa seguinte (*WRF.exe*) é a execução do modelo e que utiliza processamento massivo através de 420 núcleos computacionais.

O pós-processamento consiste em três etapas, sendo que a primeira (*ARW*) é executada em paralelo e consiste em converter os arquivos gerados pelo modelo para o formato que o *GrADS* possa ler, isto é, em vários arquivos binários (*.dat*) e um arquivo descritor ou arquivo de controle (*.ctl*). Após esta etapa é executado o script em Shell que escreve e executa os scripts do *GrADS* (*.gs*). Toda essa rotina é executada duas vezes por dia, sendo a primeira a partir das 22 horas (horário local de Belém-PA) usando os dados do GFS das 12 UTC (Universal Time Coordinate) e a segunda rotina a partir das 7 horas (horário local de Belém-PA) com os dados do GFS das 00 UTC.

A geração dos arquivos de saída (*outputs*), responsáveis basicamente por alimentar um *dashboard* a ser desenvolvido, consiste na etapa final de todo o processo. Os *outputs* são gerados a partir de scripts do *GrADS* (*.gs*), os quais extraem os dados horários de precipitação para o horizonte de 120 horas para 12 localidades estratégicas ao longo dos Corredores Sul-Sudeste da Vale. Os arquivos são gerados diariamente no *cluster* HPe Apollo K6000 do ITV, e alocados automaticamente no diretório */clima/opclima/wrf\_oper.CS/arw/AAAAMMDDHH/*, onde AAAA corresponde ao ano com 4 dígitos, MM ao mês com dois dígitos, DD ao dia com dois dígitos e HH refere-se ao horário UTC dos dados de entrada que foi utilizado para a inicialização do modelo (00 ou 12 UTC). A seguir são listadas as localidades estratégicas dos Corredores Sul-Sudeste para as quais são gerados arquivos de saída, bem como o respectivo nome de cada arquivo:

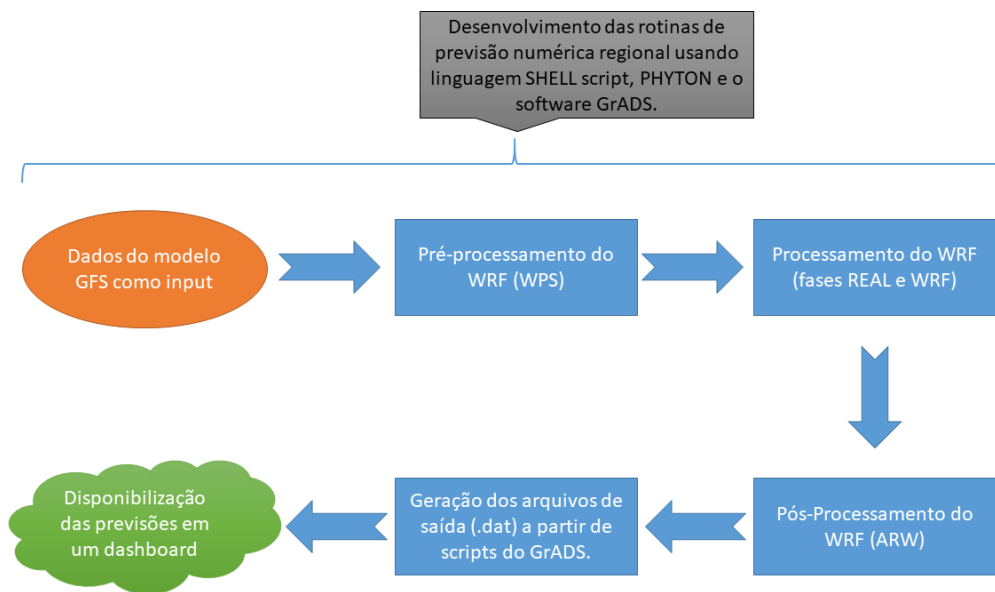
- Mina Córrego Feijão >>> hh\_pp\_wrf\_fei.gs
- Mina Capão Xavier >>> hh\_pp\_wrf\_cpx.gs
- Mina Abóboras (Vargem Grande) >>> hh\_pp\_wrf\_abo.gs
- Mina Brucutu (São Gonçalo do Rio Abaixo) >>> hh\_pp\_wrf\_bru.gs
- Complexo de Itabira >>> hh\_pp\_wrf\_ita.gs
- Estação Ferroviária Ipatinga >>> hh\_pp\_wrf\_ipa.gs
- Estação Ferroviária Governador Valadares >>> hh\_pp\_wrf\_gov.gs
- Estação Ferroviária Resplendor >>> hh\_pp\_wrf\_res.gs

- Estação Ferroviária Colatina >>> hh\_pp\_wrf\_col.gs
- Estação Ferroviária Fundão >>> hh\_pp\_wrf\_fun.gs
- Porto de Tubarão >>> hh\_pp\_wrf\_tub.gs
- Terminal Ilha de Guaíba >>> hh\_pp\_wrf\_tig.gs

Após a execução de cada script (.gs), são gerados os arquivos de saída no diretório do respectivo dia, os quais devem ser transferidos para um servidor específico, responsável por alimentar o sistema de visualização das previsões meteorológicas para o público Vale, a priori no formato de um *dashboard* (a ser desenvolvido).

A Figura 6 ilustra um fluxograma do sistema de previsões meteorológicas do ITV para os Corredores Sul e Sudeste da Vale.

**Figura 6** - Ilustração esquemática do sistema de previsões numéricas regionais desenvolvidas no ITV para os Corredores Sul e Sudeste da Vale.



**Fonte:** elaborado pelos autores (2021).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os detalhes de como foi desenvolvido o sistema de previsões numéricas regionais em meteorologia para os Corredores Sul e Sudeste da Vale. Vale ressaltar que um relatório similar já foi desenvolvido para o Corredor Norte da Vale, cujo DOI 0.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.53.Ferreira já foi registrado na biblioteca do ITV. O desenvolvimento foi conduzido em parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA) por meio de um acordo de cooperação técnico científica com o Instituto Tecnológico Vale (ITV), que disponibilizou a estrutura de computação de alto desempenho (cluster HPe Apollo K6000), storage, internet, etc., para abrigar o sistema de previsões meteorológicas.

A principal linguagem computacional utilizada para automatizar as previsões meteorológicas com rotinas diárias, foi SHELL script, que é amplamente difundida pela comunidade científica internacional. Parte de alguns scripts também utilizaram PHYTON e o software GrADS, que usa o FORTRAN como base para a composição do sistema.

O WRF foi o modelo regional empregado para as previsões meteorológicas no ITV, sendo é executado duas vezes ao dia, com dados do GFS das 12 UTC e 00 UTC para os Corredores Sul e Sudeste. O domínio menor possui resolução espacial de 3 km em latitude e longitude e saídas horárias, o que permite discriminar especificidades regionais e até locais de importantes minas da Vale, como Abóboras e Brucutu, além do Porto de Tubarão, no Espírito Santo e do Terminal Ilha de Guaíba, no Rio de Janeiro.

Muito em breve, as previsões meteorológicas apresentadas neste relatório serão disponibilizadas para empregados e colaboradores da Vale em um dashboard, a ser desenvolvido por uma empresa contratada pelo ITV. Deste modo, espera-se que os resultados do sistema de previsões meteorológicas possam servir como fonte de informações confiáveis para serem utilizadas no planejamento das rotinas operacionais da Vale ao longo dos Corredores Sul e Sudeste da Vale.

## REFERÊNCIAS

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. Academic Press. Elsevier. Fourth Edition, 2004.

JACOBSON, M. Z. **Fundamentals of atmospheric modeling**. Cambridge University Press, 1999.

LIOU, K. N. **An introduction to atmospheric radiation**. Academic Press, 1980.

MUNRO, M. C.; MOHAJERANI, A. Determination of the transportable moisture limit of iron ore fines for the prevention of liquefaction in bulk carriers. **Marine Structures**, v. 40, p. 193-224, 2015.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; HUANG, X. Y.; WANG, W.; POWERS, J. G. **A Description of the Advanced Research WRF**. version 3, p. 113, 2008. (NCAR TECHNICAL NOTE, NCAR/TN-475 STR).

VALE. **Saiba mais sobre os negócios da Vale: minério de ferro e pelotas**. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 25 nov. 2020.

WANG, W.; WARNER, T. T. Use of four-dimensional data assimilation by Newtonian relaxation and latent-heat forcing to improve a mesoscale-model precipitation forecast: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 2593-2613, 1988.