

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

JOSIANE AMANDA GOMES MIRANDA

**EFEITO DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA REGIONAL NA
PRODUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO DA VALE EM
CARAJÁS - PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Orientador:

Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Belém – PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M672e Miranda, Josiane Amanda Gomes

Efeito da sazonalidade climática regional na produção de minério de ferro da Vale em Carajás - Pará / Josiane Amanda Gomes Miranda – Belém/PA, 2016.

33 f.: il.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Instituto Tecnológico Vale, 2016.
Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

1. Clima e mineração. 2 Regime pluviométrico. 3. Amazônia oriental.
4. Sazonalidade climática. Título.

CDD 23 ed. 551.69098115

JOSIANE AMANDA GOMES MIRANDA

**EFEITO DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA REGIONAL NA PRODUÇÃO DE
MINÉRIO DE FERRO DA VALE EM CARAJÁS - PARÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais – Área de Ciências Ambientais do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Orientador - Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha
Membro externo – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Dr. Valente José Matlaba
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por me permitir desfrutar desse instante que apelidamos de “vida” e ter me cercado de “anjos” para que a caminhada fosse mais prazerosa.

Ao meu orientador, Dr. Everaldo de Souza, pela paciência (e haja paciência!) e por compartilhar um pouco de seu vasto conhecimento, em seu tempo corrido.

Ao Prof. Edson Rocha, que me incentivou e sempre me apoiou nessa “jornada” acadêmica e por ser mais que meu coordenador em projetos, mas um amigo que posso contar sempre. GRATIDÃO é o que sinto.

À minha mãe, D. Altair, essa merece todos os agradecimentos do mundo, por enxugar minhas lágrimas em momentos de fraqueza, e com seu “jeitinho” doce me fez entender que todas as angústias valeriam a pena, mais do que isso! Agradeço por todos os ensinamentos da vida, que me tornou uma pessoa do bem.

Aos meus irmãos, pela convivência e todo amor fraterno dedicado uns aos outros.

Às amigas Luciana, Roselene, Josiane, Tatiana Azevedo, Tatiana Freitas (sua disponibilidade em ajudar mesmo estando atribulada de coisas para fazer e tudo simplesmente por amizade, me faz te admirar ainda mais) e Elaine Negrão, por “tornarem essa caminhada mais colorida” (By Tati Azevedo), acreditem vocês foram fundamentais para que tudo isso desse certo.

Ao programa de mestrado do Instituto Tecnológico da Vale-ITV e todos os profissionais de grande competência envolvidos nesse curso. Em especial, Nisa Gonçalves, por sua disponibilidade e paciência.

Por fim, a todos que contribuíram de forma direta e indireta nesse trabalho, dentre eles os autores que citei e os que não foram citados, mas que serviram como base nessa pesquisa, não são menos importantes nessa obra. Nenhum trabalho começa do zero.

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se um estudo com abordagem interdisciplinar envolvendo aspectos do clima regional e seus efeitos nas atividades do setor produtivo ligado a indústria da mineração. O objetivo foi investigar a possível existência de relações entre o regime de precipitação anual e sazonal e o volume de produção de minério de ferro (Fe) da Província Mineral de Carajás, no sudeste do Pará. Os resultados das correlações negativas estatisticamente significantes (nível de 10 e 5%) comprovaram que os padrões de clima afetam os volumes anuais da produção de Carajás, sendo que o efeito do regime pluviométrico do primeiro e segundo semestre responde de forma inversa ao volume anual de produção mineral. Os anos com excesso (déficit) de chuva sazonal tendem a se correlacionar com aqueles de baixa (alta) produtividade do minério. Foi desenvolvido um modelo estatístico de regressão para estimar a produção de minério a partir da precipitação sazonal do primeiro e segundo semestre, sendo que as simulações foram compatíveis com a produção mineral registrada em Carajás de 2006 a 2016. Em seguida, a equação do modelo foi usada para estimar a produção de minério considerando as projeções de precipitação sazonal em Carajás do *downscaling* RegCM4 para o clima futuro, o qual indicou aumento leve (+5 a +9%) na precipitação do regime chuvoso (primeiro semestre) e diminuição moderada (-8 a -21%) no volume da chuva do regime menos chuvoso (segundo semestre). Os resultados do modelo estatístico apontaram grandes variações anuais no volume de minério Fe com ciclos de mínimos em torno de 2018 e 2023 e de máximos em torno de 2020 e 2026. Considerando as médias na escala decadal, o modelo apontou queda leve na produção de minério Fe, tal que o volume médio de 106.781 Mt (registrado em 2006_2016) diminuiu para 101.189 Mt (simulado para 2017_2026) e para 95.365 (simulado para 2027_2036), cujos percentuais de mudança são da ordem de -5% e -11%, respectivamente. Portanto, diante dos resultados obtidos, recomenda-se especial atenção da Vale com os efeitos do regime chuvoso mais intenso quando Carajás comumente apresenta menor volume de produção mineral (primeiro semestre). No regime menos chuvoso espera-se menor impacto do clima na produção mineral, o que pode ser aproveitado para planejar a intensificação das operações de mina, de forma a compensar o efeito negativo do primeiro semestre.

Palavras-chave: Clima e mineração. Regime Pluviométrico. Amazônia oriental.

ABSTRACT

In this work, we present a study with an interdisciplinary approach involving aspects of the regional climate and its effects on activities of the productive sector linked to the mining industry. The objective was to investigate the possible existence of relationships between the annual and seasonal rainfall regime and the volume of iron ore (Fe) production from the Carajás Mineral Province in southeastern Pará. The results of the statistically significant negative correlations (levels 10 and 5%) showed that the climate patterns affect annual Fe production, so that the effect of the first and second semester rainfall has an inverted signal to the annual volume of mineral production, i.e, years with seasonal rainfall excess (deficit) tend to be associated with years of low (high) iron ore productivity. In addition, a statistical regression model was developed to estimate the ore production from the seasonal precipitation of the first and second semester, and the simulations were compatible with the mineral production recorded in Carajás from 2006 to 2016. Then, the model equation was used to estimate the ore production considering the seasonal precipitation projections in Carajás from RegCM4 downscaling for the future climate, which indicated a slight increase (+5 to +9%) in precipitation of the rainy regime (first semester) and a moderate decrease (-8 to -21%) in the precipitation of the dry regime (second semester). The results of the statistical model showed large annual variations in the volume of iron ore production with minimum cycles around 2018 and 2023 and maxima cycles around 2020 and 2026. Considering the means on decadal timescale, the model points to a slight fall in the iron ore production with the mean volume of 106,781 Mt (recorded in 2006_2016) decreasing to 101,189 Mt (simulated to 2017_2026) and to 95,365 (simulated to 2027_2036), whose percentages of change are of the order of -5% and -11%, respectively. Therefore, in view of the results obtained, we recommend special attention of Vale with respect to the effects of the more rigorous rainfall regime when Carajás commonly presents a lower volume of mineral production (first semester). On the other hand, less impact of the climate on mineral production is expected during the dry regime (second semester), which can be used to plan the intensification of mine operations, in order to compensate for the negative effect of the first semester.

Keywords: Climate and mining. Rainfall regime. Eastern Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo sobre a bacia do rio Itacaiúnas onde localiza-se o Complexo Minerário de Carajás no sudeste do Pará. Destaca-se também a área (quadrado laranja) em que foram extraídos (média espacial) os dados de precipitação representativa da área de produção de minério de ferro (minas Carajás e S11D).	17
Figura 2: Ilustração do portal da Vale com os Relatórios Trimestrais (parte superior) e trecho do Relatório de Produção de 2014 com realce para os dados do Sistema Norte (parte inferior).....	19
Figura 3: Séries temporais da produção de minério de ferro (Mt, painel superior) e da precipitação (mm, painel inferior) de Carajás para os dados trimestrais (JFM, AMJ, JAS, OND), semestrais (1ºSem e 2ºSem) e anuais no período de 2004 a 2016.....	23
Figura 4: Climatologia ou médias 2004_2006 e 2006_2016 da produção de minério de ferro (Mt, painel superior) e da precipitação (mm, painel inferior) em Carajás considerando os dados trimestrais, semestrais e anual.....	24
Figura 5: Percentuais relativos ao total anual da precipitação e produção de minério Fe nos trimestres JFM, AMJ, JAS e OND e nos semestres 1ºSem e 2ºSem.	25
Figura 6: Produção de minério Fe observado (Mt, barras em preto) de 2006 a 2016 (clima presente) e simulado (barras em verde) de 2017 a 2036 (clima futuro) pelo modelo de regressão (painel superior); precipitação (mm) do 1ºSem (linhas em azul) e 2ºSem (linhas em vermelho) observada no clima presente e simulada pelo RegCM4 no clima futuro (painel intermediário e inferior).	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Correlações de Pearson entre as séries temporais de 2004 a 2016 da produção de minério Fe e a precipitação PREC trimestral (JFM, AMJ, JAS, OND), semestral (1ºSem e 2ºSem) e anual. Valores em laranja e vermelho indicam correlações estatisticamente significantes em 90% e 95%, respectivamente.	26
Tabela 2. Descrição da montagem dos modelos de regressão linear simples e múltipla para a produção de minério Fe anual.	27
Tabela 3. Resultados da análise de variância do modelo M4_Prec-1e2Sem.	28
Tabela 4. Médias de precipitação (mm) do 1ºSem e 2ºSem no clima presente (valores observados em 2006_2016) e no clima futuro (valores simulados pelo RegCM4 em 2017_2026 e 2027_2036) e mudanças percentuais (clima futuro relativo ao clima presente).	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
1.1 OBJETIVOS	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA	14
2.2 A CADEIA DE MINERAÇÃO EM CARAJÁS E SUA IMPORTÂNCIA REGIONAL	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 ÁREA DE ESTUDO	17
3.2 BASES DE DADOS	18
3.3 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS	20
3.3.1 Correlações de Pearson.....	20
3.3.2 Regressão linear simples e múltipla.....	20
4 RESULTADOS	22
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MINÉRIO FE E PRECIPITAÇÃO EM CARAJÁS.....	22
4.2 RELAÇÕES ENTRE A PRODUÇÃO DE MINÉRIO FE E A PRECIPITAÇÃO	25
4.3 MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR E ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO MINERAL PARA O CLIMA PRESENTE E CLIMA FUTURO.....	27
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A precipitação pluviométrica é uma variável física do meio ambiente que apresenta grandes variações sobre as regiões continentais do globo (KOTTEK et al., 2006), sendo considerada a variável de maior importância nos estudos climatológicos em regiões tropicais (MOLION, 1987; SOUZA; LOPES; ROCHA., 2009).

A precipitação compõe a etapa aérea do ciclo hidrológico (processo de condensação do vapor d'água nas nuvens com posterior "queda livre" de água na forma líquida e sólida em direção à superfície terrestre) e também pode influenciar as outras variáveis físicas, tais como a temperatura do ar e a umidade atmosférica em superfície (MARENGO; HASTENRATH, 1993).

Por sua vez, a variabilidade da precipitação em diversas escalas de tempo e espaço, notadamente, os eventos meteorológicos ou climáticos extremos, pode interferir direta ou indiretamente nas atividades do setor produtivo, como a agricultura (PINTO et al., 2008), recursos hídricos e geração de energia hidroelétrica (HUBACK et al., 2016), bem como de certas indústrias, cujas ações e operações acontecem a céu aberto, sendo, portanto, dependentes da variabilidade climática regional. Não obstante, o desenvolvimento das pesquisas científicas aplicadas à geração de inovação tecnológica permitiu a melhoria, eficiência e aumento de produção ou produtividade industrial durante as últimas décadas. Contudo, o clima, em virtude de ser uma variável física natural, é a que possui maior dificuldade de controle nos sistemas produtivos.

No presente trabalho, o foco é na investigação dos efeitos do clima (regime de precipitação anual e sazonal) sobre o setor da indústria mineral, particularmente da produção de minério de ferro na Província Mineral de Carajás, no sudeste do estado do Pará. Esta Província, juntamente com o Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, são as regiões que possuem as maiores jazidas de minério de ferro do Brasil e do mundo (CARVALHO et al., 2014). A empresa brasileira Vale S.A. é responsável pela maioria das operações em ambas as regiões. Este estudo se diferencia dos anteriores, pois se aplica na região de Carajás uma abordagem interdisciplinar relacionando sazonalidade climática regional com produção de minério de ferro, ao

contrário dos estudos anteriores que se preocuparam mais com os efeitos do clima sobre a produção agrícola.

Embora dentro da cadeia da mineração sejam utilizados complexos sistemas oriundos da fronteira da tecnologia de engenharia, infraestrutura e logística, incluindo material humano altamente especializado (KATZ, 2014), as etapas operacionais desde a mina, passando pela ferrovia até o porto estão sujeitas aos eventos meteorológicos ou climatológicos extremos com grande potencial para ocasionarem impactos negativos, induzindo paradas ou interrupções temporárias de algumas etapas do processo produtivo, além de serem fatores naturais complicadores em termos da logística necessária para realização das atividades tanto de operação geral como de manutenção dos equipamentos (SOUZA et al., 2014). Portanto, o desenvolvimento de estudos com abordagem interdisciplinar envolvendo aspectos do clima e seus impactos nas atividades do setor da mineração são imprescindíveis para as questões atuais de sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

1.1 OBJETIVOS

O Objetivo geral é analisar os efeitos ou impactos do clima (regime de precipitação anual e sazonal) na produção de minério de ferro da Província Mineral de Carajás, durante o clima presente (última década) e em cenários de clima futuro (próxima década).

Os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar os aspectos de clima regional e a produção de minério de ferro durante a última década;
- b) Identificar as relações estatísticas significantes entre o regime pluviométrico e a produção de minério de ferro durante a última década;
- c) Desenvolver um modelo de regressão para estimar a produção de minério de ferro da próxima década associada aos cenários de clima futuro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA

Situada na região tropical sobre a América do Sul, a Amazônia apresenta precipitação média anual de aproximadamente 2300 mm, sendo que na porção noroeste (fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela) os valores podem alcançar 3500 mm. Na porção nordeste adjacente ao Oceano Atlântico (faixa litorânea do Amapá, Pará até o oeste do Maranhão, a precipitação também é intensa com valores em torno de 3000 mm, devido à atuação direta da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (FIGUEROA; NOBRE, 1990; MARENGO et al., 2001; SOUZA; ROCHA, 2006).

Segundo Molion (1987) e Figueroa e Nobre (1990), a distribuição espacial e temporal da pluviometria na Amazônia exibe alta variabilidade sazonal, em geral, com período chuvoso ocorrendo durante o verão e outono do Hemisfério Sul (HS) de dezembro a maio, enquanto que o período menos chuvoso ou seco é observado durante o inverno e primavera do HS, entre junho e novembro.

Numa extensa análise da variabilidade espaço/temporal da precipitação sobre a Bacia Amazônica, usando dados extraídos das estações meteorológicas, Villar et al. (2009) demonstraram que os setores sudoeste, sul e sudeste (Acre, Rondônia, Mato Grosso, sul/sudeste do Amazonas e do Pará) apresentam variabilidade sazonal pronunciada.

Estudos climatológicos específicos para o estado do Pará ainda são poucos. Moraes et al., (2005) determinaram o início e final da estação chuvosa sobre o estado, indicando que no setor sudeste que engloba a região de Carajás, o período chuvoso inicia em novembro e termina em maio. Nos cálculos de Villar et al. (2009) do ciclo anual da precipitação em estações meteorológicas do sul do Pará, verificou-se que os meses de dezembro a março indicam o pico do regime chuvoso e nos meses de maio a agosto ocorre o regime seco.

Lopes, Souza e Ferreira et al. (2013) integraram os dados de 150 estações de superfície sobre o Pará e compilaram uma climatologia de trinta anos de precipitação (1978-2007), a qual permitiu identificar melhor a variabilidade climática regional, sobretudo influenciada pelos aspectos da fisiografia local e pela

contribuição de sistemas de grande escala. Os autores ressaltaram que a região sul/sudeste do Pará apresenta variabilidade sazonal muito maior do que as demais regiões do estado. Considerando o valor climatológico mensal acima de 200 mm como indicativo da estação chuvosa, na região de Carajás esta ocorreu nos meses de dezembro a abril. Levando em conta o valor climatológico mensal abaixo de 100 mm como referência da estação menos chuvosa, Carajás exibe essa característica nos meses de junho a outubro. Os meses de maio e novembro, basicamente, são meses de transição entre os regimes pluviométricos sazonais.

2.2 A CADEIA DE MINERAÇÃO EM CARAJÁS E SUA IMPORTÂNCIA REGIONAL

As quatro minas operadas pela Vale dentro da Floresta Nacional de Carajás (ocupando cerca de 3% da área total) constituem o maior complexo minerador a céu aberto do mundo (Vale, 2015).

A cadeia do minério de ferro em Carajás consiste, basicamente, das operações de lavra, extração, transporte por caminhões fora-de-estrada (com capacidade de transportar 240 a 400 toneladas de minério), britagem e transporte por correias para a usina de beneficiamento (85 km de correias transportadoras), peneiramento (separação em granulado, sinter-feed e pellet-feed), estocagem nos pátios em pilhas de até 18 metros de altura e 50 metros de largura; recuperação e movimentação para os silos, carregamento no trem de carga - o tempo médio para carregar um trem com 4 locomotivas, 330 vagões e 3,5 km de comprimento é de duas horas e meia; o trem segue pela ferrovia (Estrada de Ferro Carajás – EFC) num percurso de 893 km com duração de 30 horas de viagem até o Terminal Portuário de Ponta da Madeira (TPPM) em São Luis, onde os viradores descarregam o minério em silos com estocagem no pátio e posterior carregamento e transporte por esteiras que levam o minério diretamente para os porões dos navios (Vale, 2015). O complexo da mina, EFC e TPPM formam o Sistema Norte da Vale.

De importância ao desenvolvimento do presente trabalho, mencionam-se as atividades operacionais especificamente da mina (lavra, extração, beneficiamento, estocagem e carregamento) responsáveis pela geração dos volumes de minério de ferro, os quais estão sujeitos à ocorrência dos eventos extremos de precipitação. Tais eventos climáticos podem ocasionar impactos diretos ou indiretos nas

operações, tais como as paradas ou interrupções temporárias de algumas etapas do processo produtivo, e representaram fatores ambientais que requerem melhoria da logística (aumento de consumo de máquinas) para realização das atividades tanto de operação geral como de manutenção dos equipamentos (SOUZA et al., 2014).

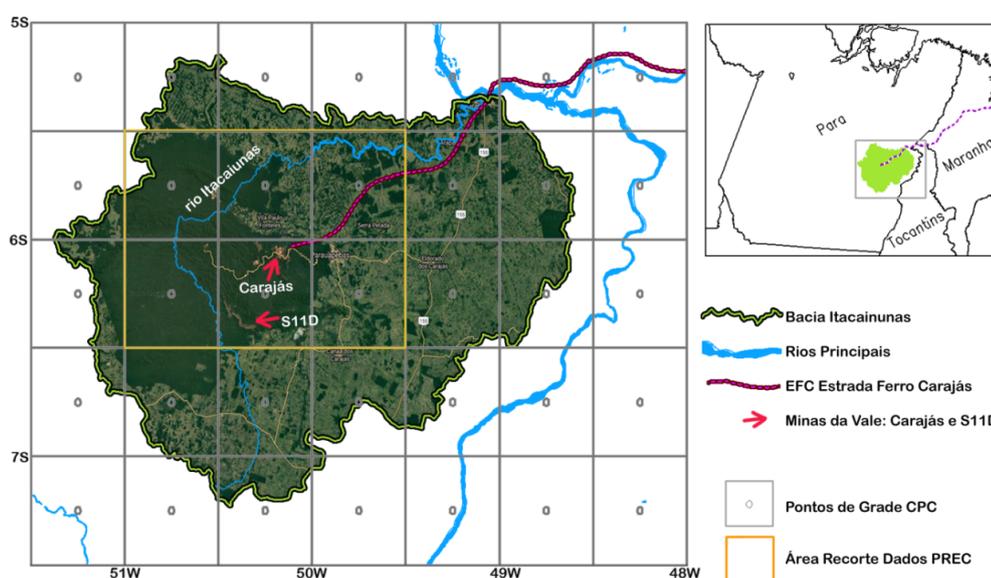
Segundo Monteiro (2005), a indústria da mineração é de grande importância socioeconômica em níveis nacional, estadual e municipal. Contribui de forma decisiva ao bem estar e melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento da sociedade, desde que seja operada com responsabilidade social e ambiental. Particularmente para o estado do Pará, a comercialização do minério de ferro da Vale contribui diretamente para o aumento crescente do Produto Interno Bruto (PIB) estadual, sendo o Pará o segundo estado minerador do País, atrás somente de Minas Gerais (SIMINERAL, 2013). Entre 1990 a 2010, o Pará multiplicou por dez o peso da mineração em sua economia, que passou de 2,6% do PIB para 26,3% (TCE-PA, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Figura 1 ilustra a área em estudo englobando a bacia do rio Itacaiúnas, situada na mesorregião sudeste do estado do Pará, próximo aos estados do Tocantins e Maranhão. O rio Itacaiúnas, com aproximadamente 390 km² de comprimento, escoa de sul para norte e adentra a Floresta Nacional de Carajás (área em verde escuro) nos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas, desembocando no rio Tocantins no município de Marabá. É nessa bacia que Vale possui instalada as operações do Complexo Minerário de Carajás. As áreas operacionais de extração de minério de ferro (minas Carajás e S11D) encontram-se indicadas nas setas em vermelho. Adjacente à mina, tem-se o início da Ferrovia denominada de Estrada de Ferro Carajás (EFC). O quadrado laranja engloba a área em que foram extraídos os dados de precipitação na forma de média espacial dos pontos de grade.

Figura 1: Localização da área de estudo sobre a bacia do rio Itacaiúnas onde localiza-se o Complexo Minerário de Carajás no sudeste do Pará. Destaca-se também a área (quadrado laranja) em que foram extraídos (média espacial) os dados de precipitação representativa da área de produção de minério de ferro (minas Carajás e S11D).



Fonte: Do autor.

3.2 BASES DE DADOS

Os dados observacionais de precipitação pluviométrica (PREC) consistem de médias mensais disponíveis numa grade sobre o Brasil com resolução horizontal de 0.5° (~ 55 km em latitude e longitude), os quais foram gerados através do sistema de análise de dados observacionais do *Climate Prediction Center* (CPC, EUA). Estes dados são baseados inteiramente nos registros das estações de superfície da rede meteorológica nacional e estadual (SILVA et al., 2007). Maiores detalhes sobre o controle de qualidade e sobre a técnica de análise objetiva e interpolação usados na geração da precipitação do CPC podem ser encontrados em Chen et al. (2008). Estudos anteriores demonstraram a existência de consistência e correspondência alta entre os dados do CPC e dados derivados de estações convencionais individuais e estimativas de satélite sobre o território brasileiro (SILVA et al., 2007), inclusive na região amazônica (SOUZA et al., 2009).

Utilizam-se também os dados de precipitação extraídos no downscaling do modelo climático regional RegCM4 que simularam a precipitação sobre a Amazônia oriental para o clima futuro (SOUZA et al., 2016).

Os dados de produção de minério de ferro foram extraídos dos Relatórios Trimestrais da Vale, disponíveis no portal da companhia (www.vale.com/brasil/pt/investors/information-market/quarterly-results/paginas/default.aspx), referentes ao período de 2004 a 2015. Os Relatórios contêm dados brutos por trimestre e semestre de cada ano. Para o presente trabalho foram coletados os dados referentes ao Sistema Norte da Vale que corresponde à área geográfica do Complexo Minerário de Carajás no Pará. A Figura 2 ilustra o portal da Vale e exemplifica o trecho de um Relatório de Produção, com destaque para os dados do Sistema Norte que foram usados no trabalho.

Figura 2: Ilustração do portal da Vale com os Relatórios Trimestrais (parte superior) e trecho do Relatório de Produção de 2014 com realce para os dados do Sistema Norte (parte inferior).

www.vale.com/brasil/PT/investors/quarterly-results-reports/Quarterly-results/Paginas/default.aspx

Home • Investidores • Resultados Trimestrais e Relatórios • Resultados trimestrais

Resultados Trimestrais

ano 2014 2013 2012 2011 2010 2009 2008

Relatório de Produção 2T14

Mil toneladas métricas	2T14	1T14	2T13	1S14	1S13	2T14/1T14 % Variação	2T14/2T13 %Variação	1S14/1S13 %Variação
Sistema Norte	29.281	23.365	21.904	52.646	43.508	25,3%	33,7%	21,0%
Carajás	29.281	23.365	21.904	52.646	43.508	25,3%	33,7%	21,0%
Sistema Sudeste	26.475	25.822	26.723	52.297	51.505	2,5%	-0,9%	1,5%
Itabira	8.455	7.827	7.936	16.282	14.716	8,0%	6,5%	10,6%
Minas Centrais	8.415	8.434	9.934	16.849	19.080	-0,2%	-15,3%	-11,7%
Mariana	9.605	9.561	8.853	19.166	17.709	0,5%	8,5%	8,2%
Sistema Sul	22.311	20.592	20.469	42.903	37.508	8,3%	9,0%	14,4%
Paraopebas	7.685	6.916	6.419	14.601	11.943	11,1%	19,7%	22,3%
Vargem Grande	6.644	5.474	5.958	12.118	10.849	21,4%	11,5%	11,7%
Minas Itabirito	7.981	8.202	8.092	16.183	14.716	-2,7%	-1,4%	10,0%
Sistema Centro-Oeste	1.381	1.285	1.480	2.666	2.905	7,5%	-6,7%	-8,2%
Corumbá	912	774	994	1.686	1.982	17,8%	-8,3%	-15,0%
Urucum	469	511	486	980	923	-8,1%	-3,4%	6,2%
TOTAL MINÉRIO DE FERRO	79.448	71.064	70.576	150.511	135.426	11,8%	12,6%	11,1%

Fonte: Site da Vale, adaptação pelo autor.

3.3 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

3.3.1 Correlações de Pearson

A correlação é usada para detectar a existência de relações entre a produção de minério Fe e a precipitação em Carajás. O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) mede o grau ou intensidade da relação linear (e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa) entre duas variáveis X (precipitação) e Y (produção de minério de Fe), através da expressão:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Sendo \bar{x} e \bar{y} as médias aritméticas, n o tamanho da amostra (n = 13 anos) e i o ano (2004 a 2016).

3.3.2 Regressão linear simples e múltipla

Esta técnica consiste em modelar uma variável quantitativa dependente Y através da combinação linear de p variáveis explicativas quantitativas X1, X2, ..., Xp. O modelo estatístico pode ser escrito para observações i:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Sendo y_i o valor observado para a variável dependente (produção de minério de Fe) e observação i, x_{ij} é o valor considerado pela variável j e observação i (precipitação), β_0 é o coeficiente linear (intercepto, é o valor que y assume quando x = 0), β_j coeficiente angular (inclinação da reta) e ε_i é o erro do modelo. Para o caso de regressão simples p = 1 e para o caso de regressão múltipla p = 1 ou 2, ou seja, usam-se várias variáveis explicativas para prever y. Na montagem dos modelos de regressão, em virtude do tamanho da amostra ser pequena (n = 13, anos de 2004 a 2016), utilizou-se técnica de validação cruzada, ou seja, o a equação foi montada para os anos de 2004 a 2015 (período de treinamento) e foi previsto o ano de 2016. Em seguida, o modelo foi montado para 2004 a 2016 (exceto 2015) e foi previsto o

ano de 2015, e assim por diante até chegar na montagem do modelo de 2005 a 2016 com a previsão de 2004.

Para analisar a qualidade ou desempenho dos modelos, usam-se os parâmetros:

Coeficiente de determinação (R^2): mede a qualidade do modelo em relação à sua capacidade de estimar corretamente valores da variável resposta, cujo valor é entre 0 e 1 e é dado pela expressão:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Sendo w o peso usado para estimar os coeficientes da equação de regressão. O R^2 é interpretado como a proporção da variabilidade da variável dependente do modelo. Quanto mais próximo de 1 melhor será a performance do modelo.

Erro Quadrático Médio (MSE) é determinado pelo somatório dos erros, penalizando os erros grandes elevando-os ao quadrado e dividido pelo número de erros usados no cálculo, e é dado por:

$$MSE = \frac{1}{W - p^*} \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE) leva em consideração o valor erro médio percentual para cada ponto previsto e depois dividido novamente pelo número observações de toda a série e é dado por:

$$MAPE = \frac{100}{W} \sum_{i=1}^n w_i \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (5)$$

Quanto menor for o MSE e o MAPE melhor será o desempenho do modelo.

4 RESULTADOS

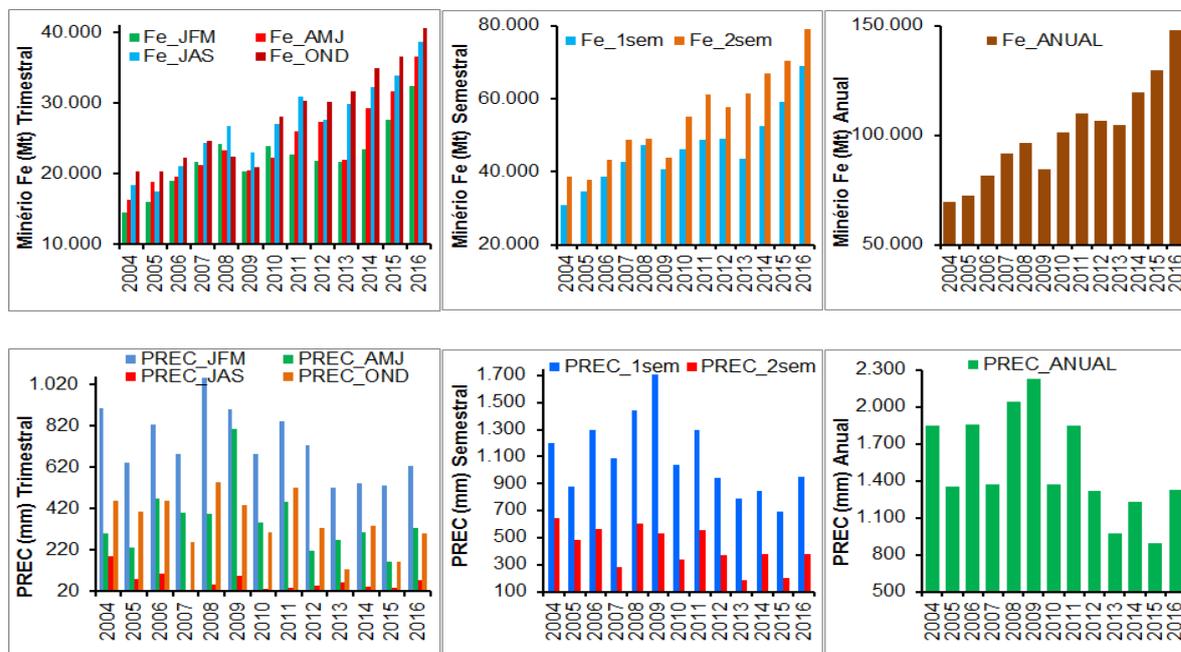
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO MINERAL E PRECIPITAÇÃO EM CARAJÁS

Inicialmente, apresentam-se as séries temporais da produção de minério Fe e da precipitação de Carajás, considerando-se os dados trimestrais, semestrais e anuais, conforme Figura 3, no período de 2004 a 2016.

Nos dados trimestrais, o volume da produção é menor em JFM e AMJ e maior em JAS e OND, tal que a produção acumulada do primeiro semestre é sempre menor do que a do segundo semestre. Nos volumes acumulados anuais (e também nos trimestres e semestres) percebe-se claramente uma tendência crescente de aumento na produção de minério Fe ao longo da série temporal.

Por outro lado, os dados de precipitação demonstram que nos dois primeiros trimestres, JFM e AMJ, o volume de chuva é muito maior do que nos dois últimos trimestres, JAS e OND, e assim, o primeiro semestre é caracterizado como o mais chuvoso e o segundo semestre como o menos chuvoso. Os dados de precipitação na escala trimestral, semestral e anual apresentam oscilações pronunciadas (alta variabilidade temporal) ao longo dos anos, contudo, nos últimos seis anos, a partir de 2011, há uma aparente tendência negativa nos valores de precipitação.

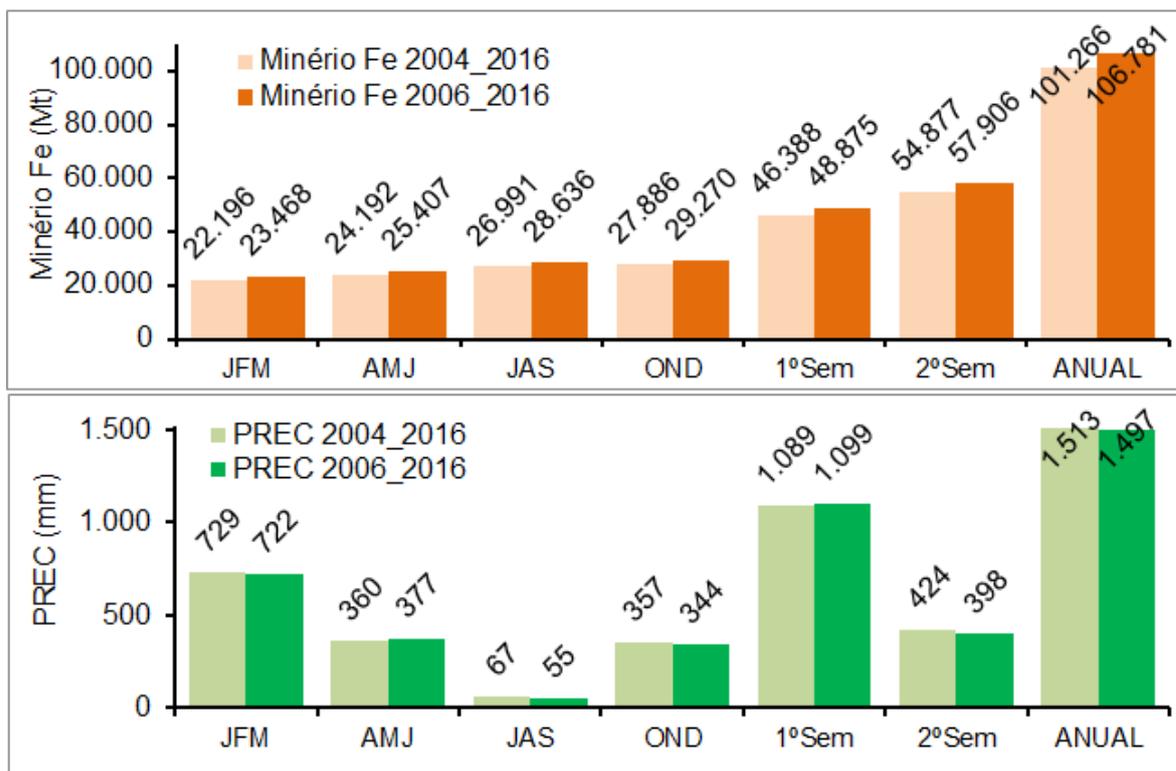
Figura 3: Séries temporais da produção de minério de ferro (Mt, painel superior) e da precipitação (mm, painel inferior) de Carajás para os dados trimestrais (JFM, AMJ, JAS, OND), semestrais (1ºSem e 2ºSem) e anuais no período de 2004 a 2016.



Fonte: Do autor.

Nos dados anuais de produção de minério Fe da Figura 3 percebe-se um aumento pronunciado a partir de 2006 (81.798 Mt) quando comparado com os dois anos anteriores, 2004 (69.376 Mt) e 2005 (72.489), em decorrência da expansão da infraestrutura tecnológica e de logística do Sistema Norte da Vale. Assim sendo, consideraremos as médias de 13 anos (2004 a 2016) e também as médias de 11 anos (2006 a 2016) para a caracterização climatológica da produção mineral e da pluviometria em Carajás. A Figura 4 apresenta as médias 2004_2016 e 2006_2016 da produção de minério Fe e da precipitação em Carajás considerando os dados trimestrais, semestrais e anuais. Concernente aos dados trimestrais, JFM apresenta a menor produção de minério Fe coincidente com o maior valor de precipitação. Embora, JAS apresente o menor valor de precipitação, a produção trimestral é maior em OND. Analisando os dados semestrais, verifica-se menor produção no semestre contendo maior volume de precipitação, sendo que esse padrão é inverso no segundo semestre quando a produção é maior e a precipitação é menor.

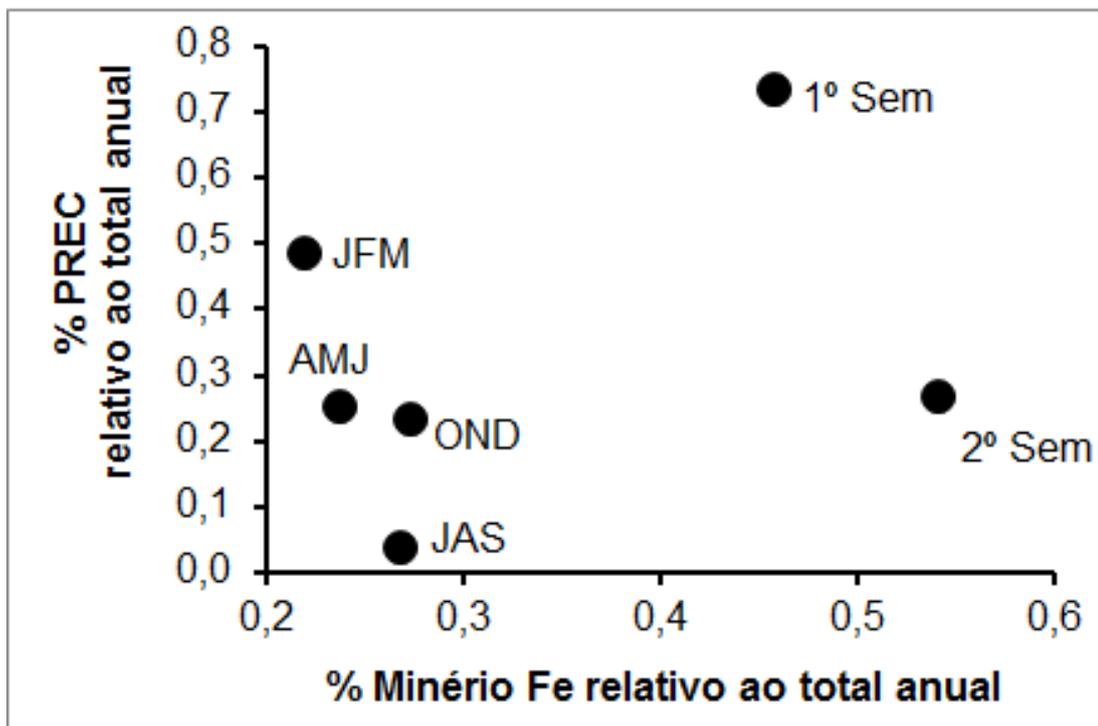
Figura 4: Médias 2004_2006 e 2006_2016 da produção de minério de ferro (Mt, painel superior) e da precipitação (mm, painel inferior) em Carajás considerando os dados trimestrais, semestrais e anuais.



Fonte: Do autor.

A Figura 5 apresenta os percentuais relativos ao total anual da precipitação e produção de minério Fe em Carajás, na qual se percebe uma associação mais clara entre o regime de chuva e a produção mineral. O percentual de 73% da chuva anual ocorrendo no 1ºSem se associa com uma produção de minério de Fe de 46% do volume anual. O restante de 27% de precipitação no 2ºSem se relaciona com uma produção mineral aumentada para 54% do total anual. Portanto, verifica-se um aumento de 8% na produção no segundo semestre quando o volume de chuva é bem reduzido. Os dados trimestrais indicam menores percentuais de produções de minério de Fe em JFM e AMJ coincidentes com os maiores percentuais de chuva, enquanto que em JAS e OND o padrão se inverte com os maiores percentuais de produção mineral ocorrendo nos períodos de menores percentuais de precipitação.

Figura 5: Percentuais relativos ao total anual da precipitação e produção de minério Fe nos trimestres JFM, AMJ, JAS e OND e nos semestres 1ºSem e 2ºSem.



Fonte: Do autor.

4.2 RELAÇÕES ENTRE A PRODUÇÃO DE MINÉRIO FE E A PRECIPITAÇÃO

A Tabela 1 mostra os resultados das correlações de Pearson entre os dados anuais de produção de minério Fe e a precipitação PREC nos trimestres JFM, AMJ, JAS, OND, nos semestres 1ºSem e 2ºSem e anual. Também foram calculadas as correlações entre a produção de minério Fe do 1ºSem com a PREC em JFM, AMJ e 1ºSem, bem como as correlações da produção do 2ºSem com a PREC em JAS, OND e 2ºSem.

Na Tabela 1 foram evidenciados valores negativos em todos os resultados das correlações, indicando uma relação inversa entre as variáveis. Em geral valores altos (baixos) de produção de minério de Fe se associam a valores baixos (altos) de precipitação (com pelo menos 20% de significância), independente da escala ser anual, semestral ou trimestral.

Os resultados das correlações entre o dado anual de produção de minério Fe e os trimestres de JFM, AMJ, JAS, OND obtiveram valores de $-0,50$, $-0,30$, $-0,51$ e

-0,45, respectivamente. A correlação para a PREC do 1ºSem foi de -0,64 e para a PREC do 2ºSem foi de -0,54. A correlação para a PREC anual foi de -0,52.

Nos resultados para a produção de minério Fe do 1ºSem, verificaram-se correlações baixas para a PREC em JFM (-0,4) e AMJ (-0,24) e também para a PREC do 1ºSem (-0,51). Concernente aos dados da produção de minério Fe do 2ºSem, observaram-se correlações significantes de -0,51 para a PREC em JAS e OND e valor de -0,59 para a PREC do 2ºSem.

No cálculo da correlação entre os dados anuais de ambas as variáveis, produção de minério Fe e precipitação, o valor obtido de -0,52 foi significativo em 90%.

Portanto, a conclusão dos resultados das correlações é de que as relações mais significantes acontecem na escala sazonal, ou seja, os regimes pluviométricos do primeiro e segundo semestre exercem efeitos marcantes nas atividades operacionais da produção de minério Fe na região de Carajás.

Tabela 1. Correlações de Pearson entre as séries temporais de 2004 a 2016 da produção de minério Fe e a precipitação PREC trimestral (JFM, AMJ, JAS, OND), semestral (1ºSem e 2ºSem) e anual. Valores em laranja e vermelho indicam correlações estatisticamente significantes em 90% e 95%, respectivamente.

		PREC JFM	PREC AMJ	PREC JAS	PREC OND	PREC 1oSem	PREC 2oSem	PREC anual
minério Fe Anual	correl	-0,50**	-0,30	-0,51**	-0,45*	-0,64***	-0,54**	-0,52**
	p-valor	0,079	0,317	0,065	0,119	0,033	0,069	0,059
minério Fe 1oSem	correl	-0,40*	-0,24			-0,51*		
	p-valor	0,173	0,435			0,109		
minério Fe 2oSem	correl			-0,51**	-0,51**		-0,59***	
	p-valor			0,075	0,073		0,034	

Nota: *, **, *** = Significantes a 20%, 10% e 5%, respectivamente.

Fonte: Do autor.

4.3 MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR E ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO MINERAL PARA O CLIMA PRESENTE E CLIMA FUTURO

A técnica de regressão linear foi aplicada nos dados de produção de minério Fe (variável dependente) e de precipitação (variável explicativa) sendo que a construção dos modelos estatísticos é detalhada na Tabela 2. Baseado nos dados do clima presente (2006 a 2016) foram montados quatro modelos para estimar a produção anual de minério Fe usando como variável explicativa (preditor) a PREC anual (modelo M1_Prec-anual), a PREC do primeiro semestre (M2_Prec-1Sem), a PREC do segundo semestre (M2_Prec-2Sem) e ambas PREC do primeiro e segundo semestre (M4_Prec-1e2Sem). Os três primeiros modelos são de regressão simples (uma variável preditora) e o último é de regressão múltipla (duas variáveis preditoras). Analisando os parâmetros estatísticos de desempenho do modelo, observa-se na Tabela 2 que o modelo M4_Prec-1e2Sem apresentou os melhores resultados com maior R^2 (0,47), menor erro RMSE (16.073) e menor erro percentual (MAPE de 9,8%), quando comparados com os parâmetros obtidos nos três modelos de regressão simples.

Tabela 2. Descrição da montagem dos modelos de regressão linear simples e múltipla para a produção de minério Fe anual.

	Variável dependente: produção de minério Fe anual			
	Variável explicativa: PREC anual	Variável explicativa: PREC 1ºSem	Variável explicativa: PREC 2ºSem	Variável explicativa: PREC 1ºSem e 2ºSem
Nome modelo	M1_P-ano	M2_P-1Sem	M3_P-2Sem	M4_P-1e2Sem
R^2	0,35	0,26	0,24	0,47
MSE	282.065.606	63.089.436	109.216.024	258.342.485
RMSE	16.794	7.942	10.450	16.073
MAPE	11	11	14	9,8

Fonte: Do autor.

A seguir, optou-se em apresentar somente os resultados do modelo M4_Prec-1e2Sem para estimar a produção de minério Fe associado aos valores de precipitação simulados pelo downscaling RegCM4 para o clima futuro dos próximos 20 anos (2017 a 2036). Embora o R^2 de 0,47 indique que a precipitação do 1ºSem e 2ºSem explique somente 47% da variabilidade da produção anual de minério Fe (os

outros 53% são explicados por outros fatores: infraestrutura tecnológica e de logística), a análise de variância do modelo na Tabela 3 mostra que a probabilidade correspondente ao valor F é significativa ao nível de 90% (menor do que 0,080).

Tabela 3. Resultados da análise de variância do modelo M4_Prec-1e2Sem.

	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
modelo	2	1.819.076.228	909.538.114	3,5	0,080
erros	8	2.066.739.881	258.342.485		
Total corrigido	10	3.885.816.109			

Fonte: Do autor.

A equação do modelo M4_Prec-1e2Sem é dada por:

$$\text{Minério Fe}_{\text{anual}} = 154647,1 - 64,9 \times \text{PREC}_{1^{\circ}\text{Sem}} + 58,9 \times \text{PREC}_{2^{\circ}\text{Sem}}$$

Assumindo-se os aspectos lineares e isolados do clima (efeito dos regimes pluviométricos sazonais), a equação acima é usada para estimar a produção de minério Fe considerando as projeções extraídas do downscaling RegCM4 do clima futuro dos próximos 20 anos (2017 a 2036).

Em termos das médias de precipitação do clima presente (média 2006 a 2016) e clima futuro (médias a cada 10 anos 2017 a 2026 e 2027 a 2036), a Tabela 4 mostra as mudanças no volume de precipitação sazonal do 1ºSem com 1099 mm em 2006_2016, 1155 mm que representa um aumento de 5% em 2017_2026 e 1196 mm que representa um aumento de 9% em 2027_2036. Para o 2ºSem a média de precipitação é 398 mm em 2006_2016, 366 mm com diminuição de 8% em 2017_2026 e 312 mm com diminuição mais acentuada de 21% em 2027_2036. Portanto, a indicação do downscaling RegCM4 é de aumento leve (+5 a +9%) no volume pluviométrico do período chuvoso (primeiro semestre) e, inversamente, diminuição moderada (-8 a -21%) no volume da chuva do período menos chuvoso (segundo semestre).

Tabela 4. Médias de precipitação (mm) do 1ºSem e 2ºSem no clima presente (valores observados em 2006_2016) e no clima futuro (valores simulados pelo RegCM4 em 2017_2026 e 2027_2036) e mudanças percentuais (clima futuro relativo ao clima presente).

	Clima presente		Clima futuro	
	Média 2006_2016	Média 2017_2026	Média 2027_2036	
PREC 1ºSem (mm)	1099	1155	1196	
Mudança percentual futuro relativo ao presente (%)		+5	+9	
PREC 2ºSem (mm)	398	366	312	
Mudança percentual futuro relativo ao presente (%)		-8	-21	

Fonte: Do autor.

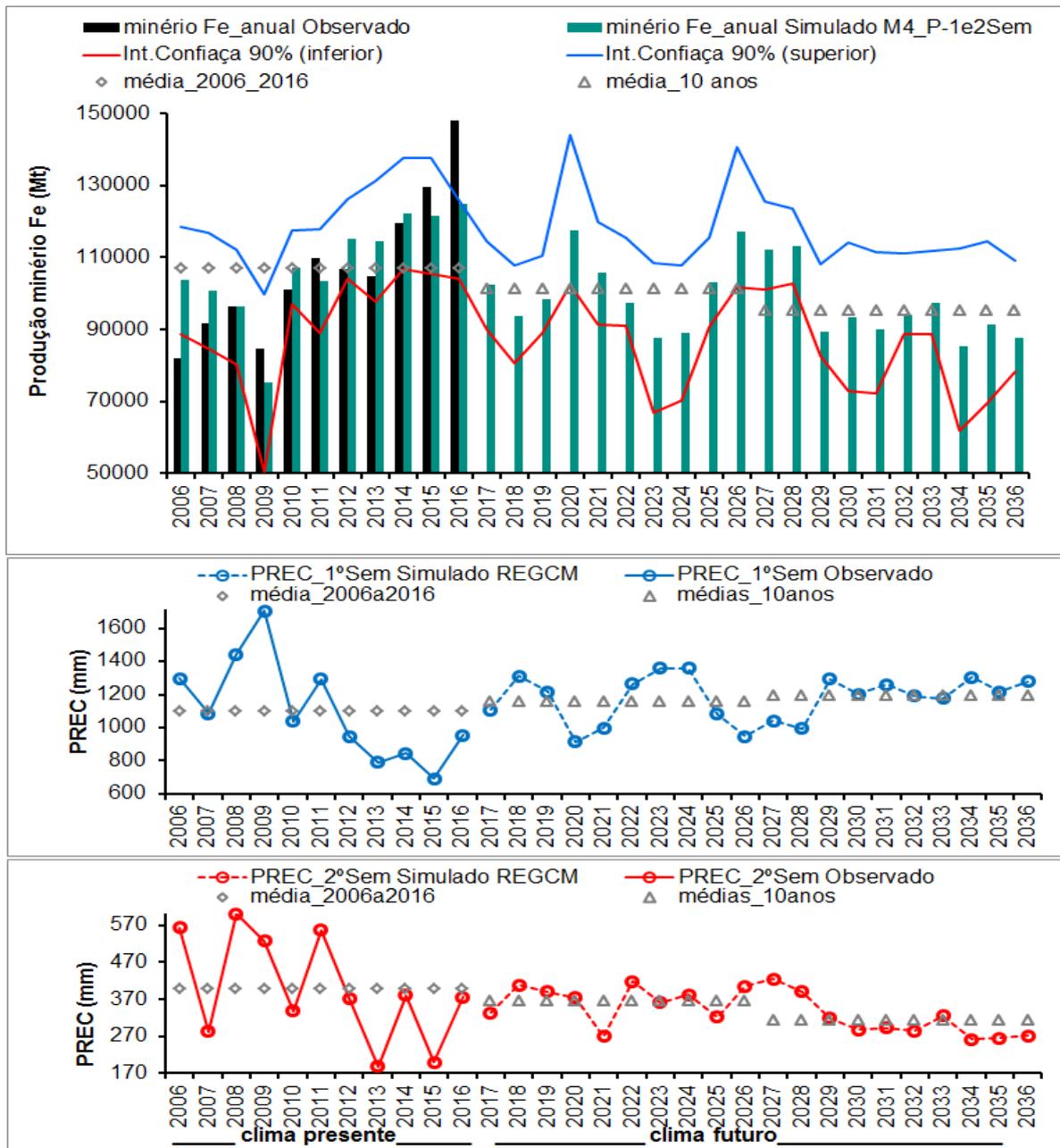
A Figura 6 apresenta os resultados do modelo de regressão múltipla M4_Prec-1e2Sem para os anos 2006 a 2016 (clima presente) e 2017 a 2036 (clima futuro).

As simulações (barras em verde) da produção de minério Fe acompanham as principais variações máximas e mínimas dos dados observados em 2006 a 2016 (barras em preto).

Para o clima futuro, levando em conta os resultados das correlações negativas (mencionadas na secção 4.2), em princípio, a indicação de aumento (diminuição) da chuva no 1ºSem (2ºSem) se relaciona com volumes de produção de minério Fe mais baixos (mais altos). No entanto, a estimativa da produção de minério Fe considerando os valores da precipitação do 1ºSem (painel intermediário, linhas em azul) e do 2ºSem (painel inferior, linhas em vermelho) ao longo dos próximos 20 anos é de leve queda, quando comparado à média do clima presente. Em termos de médias decadais, o volume de produção de 106.781 Mt (média 2006_2016) diminui para 101.189 Mt (média 2017_2026) e para 95.365 (média 2027_2036), cujos percentuais de mudança (produção no clima futuro relativo a produção do clima presente) é de -5% e -11%, respectivamente. Portanto, o modelo estatístico deu peso maior ao efeito do aumento de chuva do 1ºSem, explicando a tendência de diminuição na produção de minério Fe. Analisando os resultados da produção de minério Fe na escala de ano para ano, esperam-se variações pronunciadas com ciclos de mínimos em torno de 2018 e 2023 e de máximos em

torno de 2020 e 2026, ou seja, há uma tendência de variabilidade interanual pronunciada nas próximas décadas.

Figura 6: Produção de minério Fe observado (Mt, barras em preto) de 2006 a 2016 (clima presente) e simulado (barras em verde) de 2017 a 2036 (clima futuro) pelo modelo de regressão (painel superior); precipitação (mm) do 1ºSem (linhas em azul) e 2ºSem (linhas em vermelho) observada no clima presente e simulada pelo RegCM4 no clima futuro (painel intermediário e inferior).



Fonte: Do autor.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Baseado em dados observados em mais uma década (2004 a 2016), o presente trabalho comprovou que os padrões de clima regional (representado pelo regime de precipitação) interferiram nos volumes anuais de produção de minério de Fe da região de Carajás, no sudeste do Pará. O efeito da sazonalidade climática (notadamente, o regime pluviométrico do primeiro e segundo semestre) ocorre de forma inversa no volume anual de produção mineral, ou seja, anos com excesso (déficit) de chuva sazonal tendem a se associar com anos de baixa (alta) produção no complexo minerário de Carajás. As correlações negativas de -0,5 e -0,6 entre os dados anuais de produção de minério de Fe e a precipitação do primeiro e segundo semestre, respectivamente, indicam que o clima responde por aproximadamente um pouco mais metade (50 a 60%) da variabilidade registrada na produção de minério Fe da região. O restante das variações (cerca de 40%) na produção de minério é explicado por outros fatores, incluindo os tecnológicos (engenharia, infraestrutura e logística) e dinâmicas dos mercados nacional e internacional.

Após a evidência de que o clima regional afeta no volume do processo produtivo em Carajás, foi possível construir um modelo estatístico de regressão para estimar a produção de minério de Fe (variável dependente) a partir dos dados de precipitação sazonal do primeiro e segundo semestre (variáveis explicativas ou preditoras) durante o clima presente. O modelo, com R^2 de 0,47 e erro percentual em torno de 10%, conseguiu reproduzir bem as principais variações máximas e mínimas da produção mineral registrada em Carajás nos anos de 2006 a 2016.

Com o argumento de que o efeito do clima na produção de Carajás se perdure no futuro de forma linear, foi usada a equação do modelo estatístico para estimar a produção de minério de Fe considerando as projeções de precipitação sazonal fornecidas pelo downscaling RegCM4 do clima futuro dos próximos 20 anos (2017 a 2036). O RegCM4 indicou aumento leve (+5 a +9%) no volume pluviométrico do período chuvoso (primeiro semestre) e diminuição moderada (-8 a -21%) no volume da chuva do período menos chuvoso (segundo semestre). Assim, os resultados do modelo estatístico apontam grandes variações anuais no volume de produção de minério de Fe com uma tendência de variabilidade interanual

pronunciada nas próximas décadas. Considerando as médias na escala decadal, o modelo aponta para queda na produção de minério de Fe, tal que o volume médio de 106.781 Mt (2006_2016) diminui para 101.189 Mt (2017_2026) e para 95.365 (2027_2036), cujos percentuais de mudança (produção no clima futuro relativo a produção do clima presente) é de -5% e -11%, respectivamente. Estes resultados indicam que o modelo deu peso maior ao efeito negativo do aumento de chuva do 1ºSem, explicando a tendência de diminuição na produção de minério Fe.

Portanto, levando em conta os cenários de clima futuro e seus efeitos ou impactos na produção mineral do complexo de Carajás, os resultados apresentados neste trabalho expressam informações que podem ser úteis nas atividades de planejamento estratégico de longo prazo, bem como nas análises de risco do negócio da Vale. Recomenda-se especial atenção da Vale concernente aos efeitos da precipitação do regime chuvoso mais rigoroso durante o primeiro semestre de cada ano, em virtude deste período ser o que comumente apresenta menor volume de produção mineral em Carajás. Já no período menos chuvoso do segundo semestre, espera-se menor impacto do clima na produção mineral, o que pode ser aproveitado para planejar a intensificação das operações de mina, visando compensar o efeito negativo do primeiro semestre.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, S. L. et al. **Minério de ferro**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Brasília: BNDES, 2014, 38 p.
- CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; et al. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. D04110, 2008.
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, n. 6, p. 36-45, 1990.
- HUBACK, V. B. S. et al. Mudanças climáticas e os impactos sobre o setor de energia elétrica: Uma revisão da bibliografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 10., 2016, Gramado, 26 a 28/09/2016. **Anais...** Gramado: X CBPE, 2016.
- KATZ, F. Recursos Minerais e a Economia do Conhecimento. In: **Produção de Commodities e Desenvolvimento Econômico**. Organizadores: Luiz G. de Mello Belluzzo, Cláudio R. Frischtak, Mariano Laplane. Campinas: UNICAMP. Instituto de Economia, 2014. p. 83-101.
- KOTTEK, M; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, R.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B. de; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 84-102, 2013.
- MARENGO J. A. et al. On the onset and end of the rainy season in Brazilian Amazon basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833-852. 2001.
- MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. **Journal of Climate**, v. 6, p. 617-627, 1993.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107-117, 1987.

MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. **Estudos Avançados**. v. 19, n. 53, 2005.

MORAES, B. C. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

PINTO, H. S. et al. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Embrapa, São Paulo, 2008.

SILVA, V. B. S. et al. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 847-861, 2007.

SIMINERAL - SINDICATO DAS INDÚSTRIAS MINERAIS DO ESTADO DO PARÁ. **Anuário mineral do Pará 2013**. Disponível em: http://www.simineral.org.br/arquivos/Anuario_Mineral_do_Para_-_2013.pdf. Acesso em: 03 ago. 2015.

SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variation of rainfall in eastern Amazonia during rainy season: mean characteristics and extreme events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 142-152, 2006.

SOUZA, E. B. de; et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 111-124, 2009.

SOUZA, E. B. et al. Dynamical downscaling for railroad areas in eastern Amazon and southeastern Brazil: current climate and near-future projections. **Atmospheric and Climate Science**, v. 4, p. 155-163, 2014.

SOUZA, E. B. et al. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 293-306, 2016.

PARÁ. **Lei Kandir:** Estudo do TCE revela que Pará já perdeu 21,5 bilhões. <http://www.tce.pa.gov.br/index.php/sala-de-imprensa/noticias-do-tce-pa/676-lei-kandir-estudo-de-tecnicos-do-tce-revela-que-para-ja-perdeu-215-bilhoes>. Acesso em: 12 dez. 2015.

VALE. **Minério de ferro.** <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/iron-ore-pellets/Documents/carajas/index.html>. Acesso em: 10 out. 2015.

VILLAR, J. C. E. et al. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology** v. 29, p. 1574–1594, 2009.