

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA

IMPACTO DA PRECIPITAÇÃO NAS PARADAS DE EMBARQUE DE MINÉRIO DE FERRO NO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA, SÃO LUÍS/MA

Ana Rita Leal Mendes

Belém / PA

Novembro / 2019

Título: Impacto da precipitação nas paradas de embarque de minério de ferro no terminal marítimo da Ponta da Madeira, São Luís/MA	
PROD. TEC. ITV DS – N007/2020	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	00

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M538 Mendes, Ana Rita Leal

Impacto da precipitação nas operações de embarque de minério de ferro no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, São Luís/MA / Ana Rita Leal Mendes – Belém, PA: ITV, 2020.

26 f.: il.

Relatório técnico - Instituto Tecnológico Vale, 2019.
PROD.TEC.ITV DS / N007/2020
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.Leal

1. Pluviometria. 2. Operações portuárias. 3. Climatologia. Título

CDD 23. ed. 551.6098121

Bibliotecário(a) responsável: Nisa Gonçalves. CRB: 2 – 525

RESUMO EXECUTIVO

Esta pesquisa se propôs analisar os impactos do regime de chuva nas operações de embarque de minério de ferro no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM, em São Luís/MA. O estudo foi realizado a partir da análise dos dados pluviométricos, coletados no período de 2013 ao primeiro semestre de 2019, os quais foram correlacionados com a variável climatológica da região, por meio de análise estatística descritiva e teste de correlação, para avaliação dos resultados. Tal análise permitiu determinar as variáveis causadoras dos prejuízos operacionais no processo de embarque face aos eventos extremos de chuva. Possibilitou ainda a mensuração das perdas econômicas decorrentes dessas paradas por mau tempo. Ao final da pesquisa, constatou-se que os eventos de alto índice pluviométrico na região geram um impacto significado na perda de volume embarcado versus o volume programado, resultando numa perda financeira significativa, em função das horas paradas, seja por falhas nas previsões meteorológicas, seja pelas paradas ocasionadas por chuva. Tais resultados redirecionarão o alinhamento estratégico da empresa e as tomadas de decisão, na corrida para a implementação de medidas preventivas e de adaptação no processo. Diante dos resultados e constatação do impacto pluviométrico no processo, sugeriu-se a modernização do sistema, com a aquisição de Radar Meteorológico Banda X (polarização dupla) para realização do monitoramento em tempo real dos eventos, o que reduzirá as paradas desnecessárias por falhas nas previsões meteorológicas e otimizará a atividade do embarque e minério de ferro em Ponta da Madeira.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Foto e Mapa de localização do Terminal Marítimo de Ponta Madeira, em São Luís no litoral norte do estado do Maranhão.....	8
Figura 2 - Corredor Norte da Vale entre os estados do Pará (PA) e Maranhão (MA), com a integração da Mina/Ferrovia EFC/Porto TPM.....	9
Figura 3 - Visão geral e layout do TPM e processos operacionais.....	10
Figura 4 - Mapa da região de São Luís/MA com a localização das estações com dados de precipitação no TPM (losango) e INMET (círculo).	11
Figura 5 - Dados mensais de precipitação registrados nas estações do INMET (1988 a 2019) e no PORTO VALE (2012 a 2019) em São Luís/MA.....	15
Figura 6 - Diagrama de dispersão entre os dados mensais de precipitação do INMET e PORTO VALE em São Luís/MA nos anos de 2012 a 2019.....	16
Figura 7 - Climatologia mensal de precipitação do INMET em São Luís/MA correspondente ao período de 1988 a 2018.	17
Figura 8 - Precipitação registrada no PORTO VALE e Paradas operacionais de embarque de minério no TPM, sendo A: meses de janeiro a dezembro, B: regime chuvoso – meses de janeiro a junho e C: regime seco – meses de julho a dezembro.	18
Figura 9 - Diagrama de dispersão entre os dados de precipitação no PORTO VALE e as Paradas no embarque de minério de ferro no TPM considerando todos meses (janeiro a dezembro), regime chuvoso (janeiro a junho) e regime seco (julho a dezembro).	19
Figura 10 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes chuvosos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de janeiro a junho); B: Diagrama de dispersão do regime chuvoso.....	20
Figura 11 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes secos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de julho a dezembro); B: Diagrama de dispersão do regime seco	20
Figura 12 - Valores mensais e respectivos percentuais dos dados de precipitação, embarque nos navios, paradas no sistema de embarque, perda no embarque e estimativa da perda econômica no TPM. Dados médios no período 2013 a 2018.	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das correlações, p-valor e R ² entre os dados de precipitação do PORTO VALE e as paradas de embarque de minério de ferro no TMPM.	19
Tabela 2 - Valores mensais (média 2013 a 2018) das paradas no embarque, volume de minério embarcado nos navios e precipitação no TMPM, bem como das estimativas da perda no embarque em Ton de minério de ferro e da perda econômica.	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	MATERIAL E MÉTODO	8
2.1	ÁREA DE ESTUDO	8
2.2	DADOS.....	11
2.3	METODOLOGIA.....	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM SÃO LUÍS E REGIMES SAZONAIS DO PERÍODO CHUVOSO E SECO	15
3.2	ANÁLISE DAS PERDAS ECONÔMICAS	20
3	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

A Vale é uma grande empresa no ramo da mineração no Brasil. Suas atividades operacionais complexas são predominantemente a céu aberto, sendo esse um cenário de desafio diário nas estações chuvosas, levando-a a adotar um planejamento estratégico integrado ao longo de toda a sua cadeia produtiva (Mina, Ferrovia e Porto) para minimizar os impactos dos fenômenos meteorológicos e climatológicos onde atua.

Diante dessa problemática, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TMPM, localizado na região costeira de São Luís, no estado do Maranhão, possui localização estratégica e capacidade de embarque de aproximadamente 230Mtpa (milhões de toneladas/ano), assumindo uma posição de destaque no processo de embarque de minério de ferro no mundo.

Corroborando nesse sentido, o presente estudo vem propor a (i)caracterização da variável climatológica na região costeira do Maranhão, bem como (ii)identificação dos impactos causados pelos eventos extremos de precipitação pluviométrica, de curta ou de longa duração no Terminal de Ponta da Madeira, em São Luís/MA, bem como a (iii)mensuração das perdas econômicas em decorrência das paradas dessa atividade no período chuvoso.

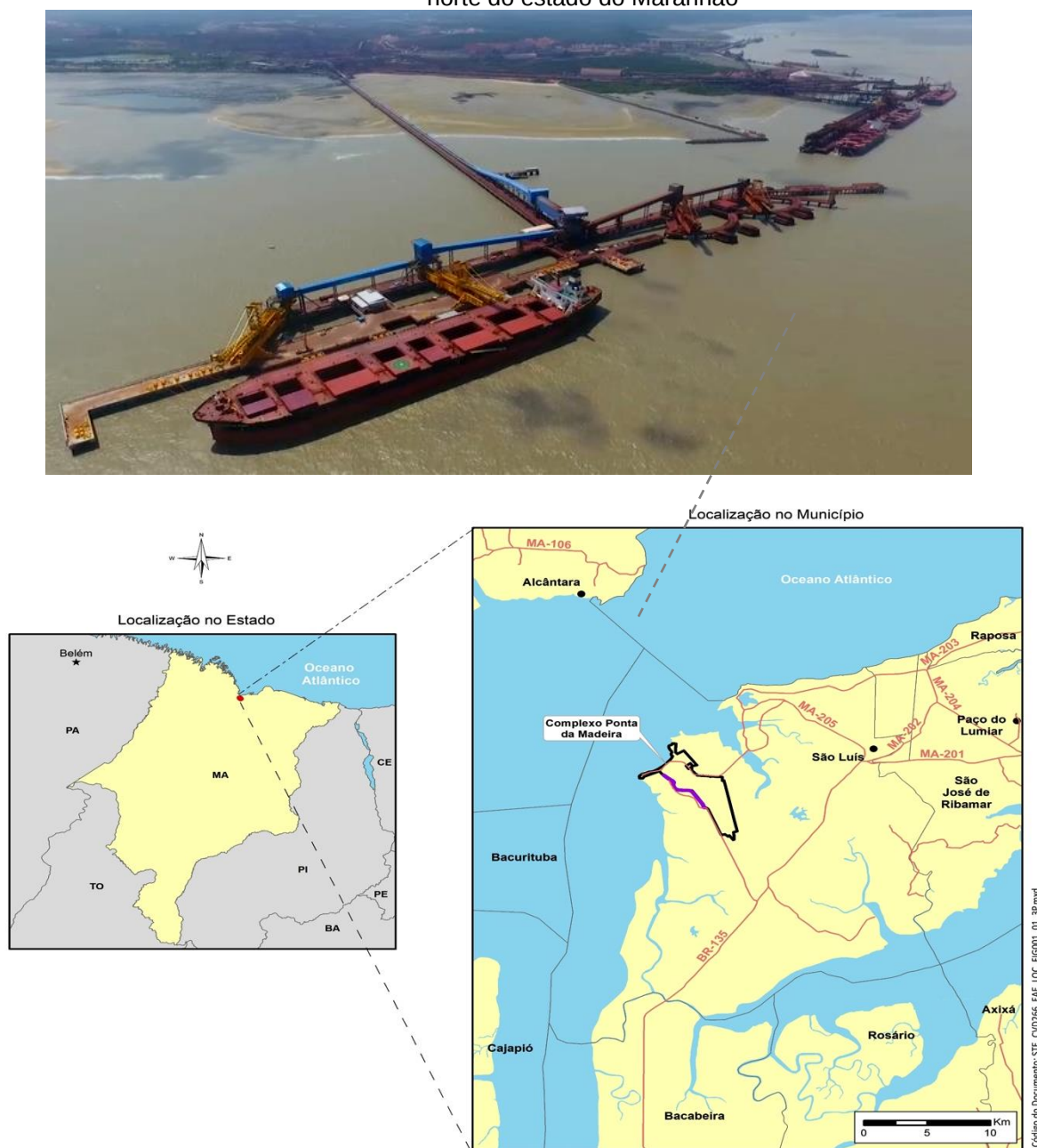
Por fim, essa pesquisa científica permitirá a compreensão dos efeitos adversos do mau tempo nas paradas do embarque de minério no TMPM, assim como permitirá a adoção de medidas mitigadoras e de adaptação na minimização dos impactos no embarque.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), pertencente à VALE, está estrategicamente localizado na costa norte do Brasil, no módulo H do Distrito Industrial, a margem leste da Baía de São Marcos, na porção noroeste da Ilha de São Luís, distando cerca de oito quilômetros do centro da cidade de São Luís, no estado do Maranhão, conforme ilustra a **Figura 1** .

Figura 1 - Foto e Mapa de localização do Terminal Marítimo de Ponta Madeira, em São Luís no litoral norte do estado do Maranhão



Fonte: adaptado de Vale – SETE, (2018).

No âmbito do Corredor Norte da Vale (**Figura 2**), entre os estados do Pará e Maranhão, o minério de ferro de Carajás (sudeste do Pará) é transportado por um sistema que integra as minas, ferrovia e porto. Todo o minério que vem de Carajás é transportado via Estrada de Ferro Carajás (EFC) que possui cerca de 892 quilômetros percorridos até chegar ao TMPM, onde o minério é embarcado para vários países no mundo. Atualmente o Corredor Norte é considerado o principal sistema de produção da Vale, em volume e projeção de crescimento da cadeia de ferrosos.

Figura 2 - Corredor Norte da Vale entre os estados do Pará (PA) e Maranhão (MA), com a integração da Mina/Ferrovia EFC/Porto TMPM



Fonte: Vale, (2018).

A **Figura 3** apresenta uma visão geral e layout atual do TMPM, ocupando uma área de aproximadamente 1.936 hectares, que é composto por viradores de vagões, píeres (píeres I, III e IV), linhas de embarque, pátios de estocagem e demais instalações portuárias.

O processo produtivo no TMPM se inicia com o descarregamento do minério nos viradores de vagões, onde termina a ferrovia e se inicia a operação portuária. O minério após ser descarregado nos viradores de vagões é movimentado por um sistema de correias transportadoras até os pátios de estocagem, onde o minério fica armazenado temporariamente para depois ser recuperado e transportado até o embarque nos píeres.

A área de estocagem é formada por 15 pátios de minério, onde são estocados minério de ferro e manganês, sendo o *sinter feed* o produto em maior estoque.

A operação de recuperação se destina a recolher o minério estocado nos pátios e transportá-los via correias transportadoras até o carregador de navios, onde o minério é escoado para vários continentes do mundo.

O embarque é realizado nos píeres I, III e IV. O píer I possui berço de 490 metros de extensão e embarca navios de até 420.000 toneladas, a uma taxa de carregamento de 16.000t/h. O píer III, com extensão do berço de 655 metros, embarca navios de até 250.000 toneladas e opera a uma taxa de carregamento de 24.000t/h. O píer IV, com extensão do berço de 1.000 metros, embarca navios de até 450.000t/h a uma taxa de carregamento de 16.000t/h.

Figura 3 - Visão geral e layout do TPM e processos operacionais



Fonte: VALE, (20??).

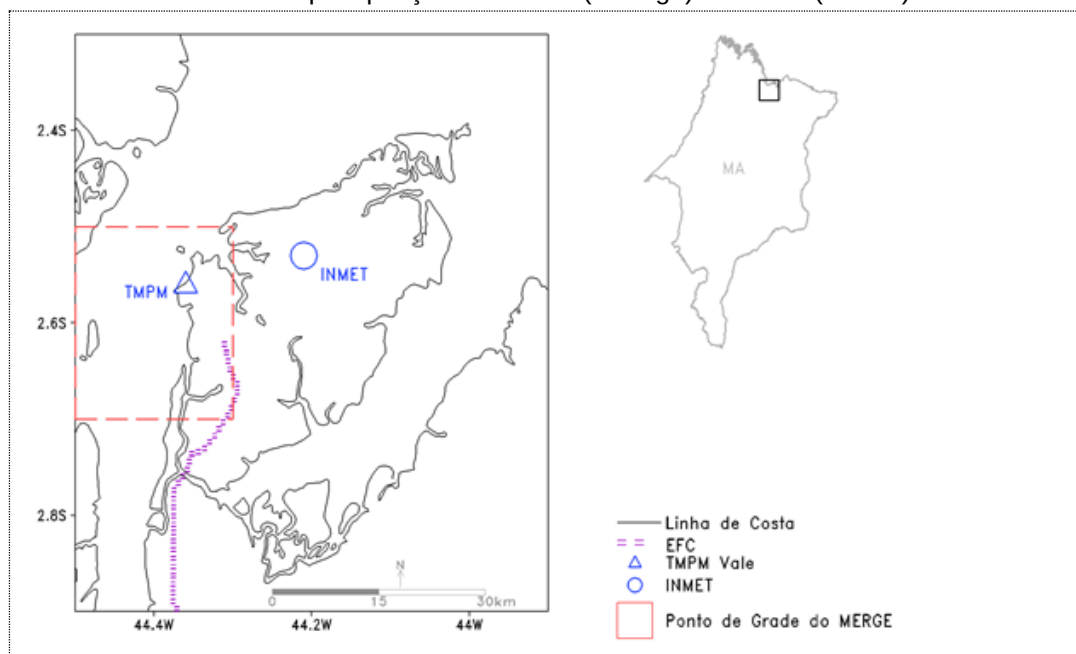
2.2 DADOS

▪ Dados de precipitação em São Luís/MA:

Os dados de precipitação de São Luís foram extraídos de duas fontes diferentes, conforme descrições abaixo e indicações no mapa da **Figura 4**:

- Dados mensais de precipitação da estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na área urbana de São Luís na posição geográfica de latitude -2.53 e longitude -44.21 (indicado pelo círculo na **Erro! Fonte de referência não encontrada.9**) para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2018 (amostra com 20 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019;
- Dados diários de precipitação do pluviômetro pertencente a Vale que se localiza na área de embarque do TMPM na posição de latitude -2.56 e longitude -44.36 (indicado pelo losango na Figura 9) para o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2018 (série temporal de 06 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019.

Figura 4 - Mapa da região de São Luís/MA com a localização das estações com dados de precipitação no TMPM (losango) e INMET (círculo).



Fonte: próprio autor, (2019).

- **Dados de operações do TMPM - Vale:**

Os dados cedidos pela Diretoria de Operação do Porto da Vale referem-se a duas informações específicas das atividades operacionais de embarque de minério de ferro no TMPM:

- As paradas (em unidade de horas por mês) das operações de embarque de minério de ferro nos navios, as quais foram reportadas devido mau tempo, ou seja, a ocorrência de precipitação na região do porto, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2018 (série temporal de 06 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019.
- A quantidade (em unidade de tonelada por mês) de minério de ferro embarcado nos navios no período de janeiro de 2009 a dezembro 2018 (série temporal de 09 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019.

2.3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para atingir os objetivos específicos propostos neste trabalho são mencionados abaixo.

- **Caracterização da sazonalidade pluviométrica:**

Como os dados de precipitação da estação TMPM encontram-se disponíveis somente a partir 2012, então, utiliza-se a série temporal de 30 anos de dados da estação meteorológica do INMET para fazer a caracterização climatológica da pluviometria em São Luis. Para isso, foram calculadas as médias mensais (ou médias climatológicas) de precipitação para cada mês entre os anos de 1988 a 2018, conforme equação abaixo:

$$\overline{PREC_m} = \frac{\sum_{i=1998}^{i=2018} PREC_m}{n}$$

Sendo $\overline{PREC_m}$ a média climatológica de precipitação, $PREC_m$ a precipitação mensal num determinado mês m , com m = janeiro, fevereiro, ..., dezembro e n é o tamanho da amostra, i.e., n = 31 anos, sendo i variando de 1988 até 2018.

Também calculou-se a média mensal de precipitação $\bar{X}$ de toda a série de dados, i.e., janeiro de 1988 até dezembro de 2018 (série completa).

De posse dos valores das médias climatológicas mensais $\overline{PREC}_m$ em cada mês e da média $\bar{X}$ de toda a série de dados, estabeleceu-se o critério para delimitar e identificar os regimes sazonais chuvoso e seco ao longo do ciclo pluviométrico anual. Os meses que apresentaram $\overline{PREC}_m$ acima de $\bar{X}$ foram definidos como os meses de ocorrência do regime chuvoso, enquanto que meses que apresentaram $\overline{PREC}_m$ abaixo de $\bar{X}$ foram considerados como os meses do regime seco. Após a definição dos meses de ocorrência dos regimes sazonais, foram calculadas as médias de precipitação da estação da Vale no TMPM e também das paradas no embarque de minério no TMPM nos períodos chuvoso e seco dos anos de 2013 a 2018.

▪ **Relação entre precipitação e as paradas de embarque no TMPM:**

Foram plotados e analisados os gráficos contendo os valores das paradas (em horas) do processo de embarque de minério no TMPM juntamente com os totais mensais de precipitação registrados na estação meteorológica da Vale no TMPM entre os anos de 2013 a 2018 e mais o primeiro semestre de 2019. Também foram analisados os gráficos de dispersão (scatterplot) entre os pares de dados (paradas no embarque no eixo x e a precipitação no eixo y) com as respectivas linhas de tendência e cálculo do coeficiente de determinação R^2 como forma de avaliar as relações entre as duas variáveis.

A associação ou relação em termos quantitativos entre os dados mensais de precipitação (PREC) e paradas de embarque (PARA) foi avaliada através do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson ρ , dado pela equação abaixo:

$$\rho = \frac{\sum_{i=2013}^{i=2019} (PREC_i - \overline{PREC}) (PARA_i - \overline{PARA})}{\sqrt{\sum_{i=2013}^{i=2019} (PREC_i - \overline{PREC})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=2013}^{i=2019} (PARA_i - \overline{PARA})^2}}$$

Sendo $PREC$ os dados de precipitação na estação da Vale no TMPM e $PARA$ os dados das paradas de embarque de minério no TMPM. A correlação de Pearson

foi calculada para cada regime sazonal chuvoso e seco. O resultado de ρ próximo de zero significa que não há relação entre as duas variáveis. Valores de ρ próximo de +1 ou -1 significam que há interdependência linear positiva ou negativa, respectivamente, entre as duas variáveis.

▪ **Perdas econômicas decorrentes das paradas de embarque no TMPM:**

A estimativa das perdas decorrentes das paradas operacionais de embarque de minério de ferro no TMPM foi feita com base nos dados mensais de 2013 a 2018. Foi necessário adquirir os dados da quantidade de minério embarcado (QE) nos navios da Vale no TMPM. Calcularam-se as médias mensais de QE de 2013 a 2018, sendo que o resultado em Ton/mês foi convertido para Ton/hora. Em seguida, de posse das médias das paradas no embarque (PARA) em horas, estimou-se a perda em unidade de Ton de minério de ferro através da multiplicação de QE x PARA.

Exemplificando para o mês de março (regime chuvoso):

A média de QE é de 11.171.227 Ton/mês ou 15.015 Ton/hora;

A média de PARA é de 104 horas;

Portanto, a perda é de 1.563.697 Ton.

Outro exemplo para o mês de outubro no regime seco:

A média de QE é de 13.578.280 Ton/mês ou 18.250 Ton/hora;

A média de PARA é de 2 horas;

Portanto, a perda é de 45.443 Ton.

Também foi estimado a perda em termos monetários (unidade de moeda em dólar americano US\$), sendo que foi definido o valor da tonelada de minério de ferro com o preço de US\$ 70,00. Assim sendo, a multiplicação da perda em Ton (calculada no parágrafo acima) com o preço da tonelada de minério resulta na perda em US\$ em cada mês. Usando os valores acima, temos que:

No mês de março, a perda de 1.563.697 Ton x US\$ 70,00 resulta numa perda de \$109.458.759,00

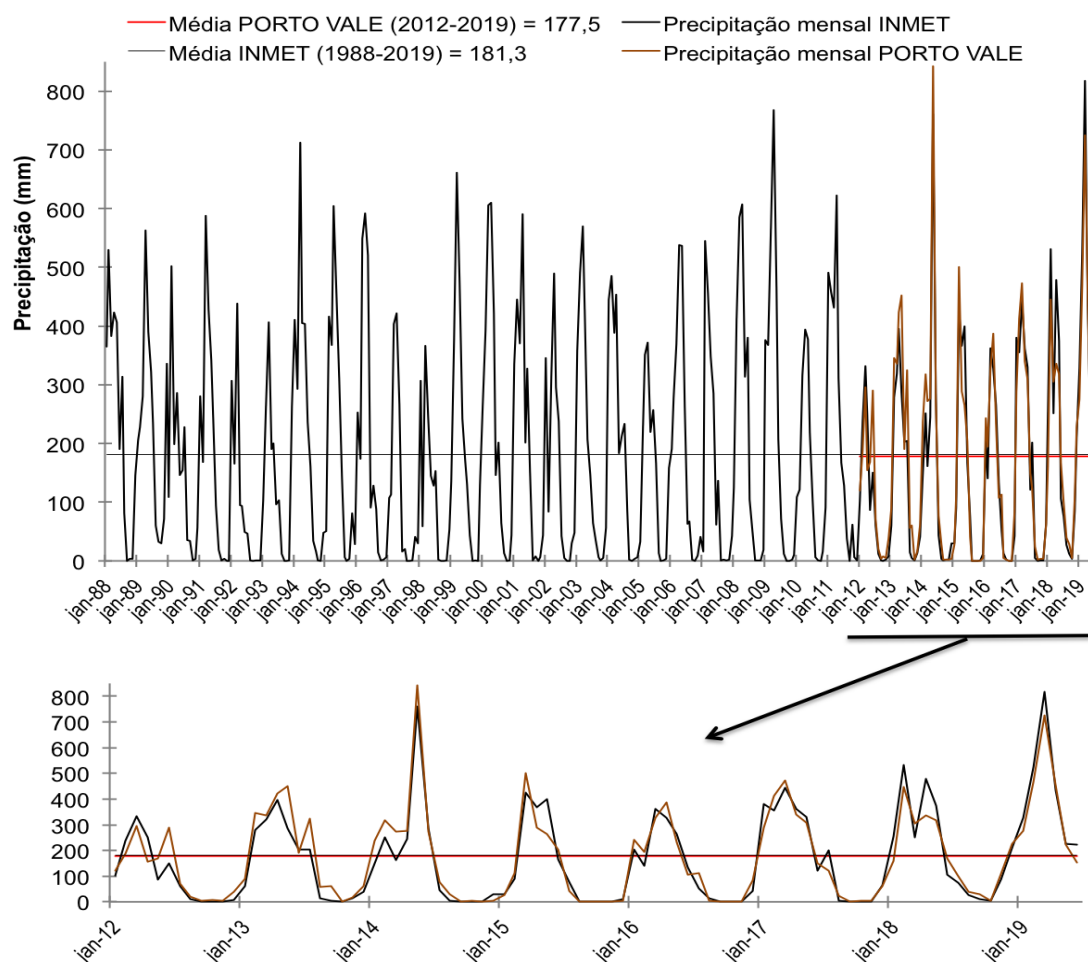
No mês de outubro, a perda de 45.443 Ton x US\$ 70,00 resulta numa perda de \$3.181.041,00

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM SÃO LUÍS E REGIMES SAZONAIS DO PERÍODO CHUVOSO E SECO

A **Figura 5** mostra os dados mensais de precipitação do INMET (30 anos, 1988 a 2019) e do PORTO VALE (2012 a 2019) na região de São Luís, na qual notam-se grandes variações pluviométricas ao longo dos anos. As médias do INMET e do PORTO são de 181,3 e 177,5 mm, respectivamente. Analisando o período temporal comum a ambos dados (parte inferior da Figura 10), nota-se similaridade alta nas variações mensais de precipitação da parte central da cidade e na região do porto da Vale.

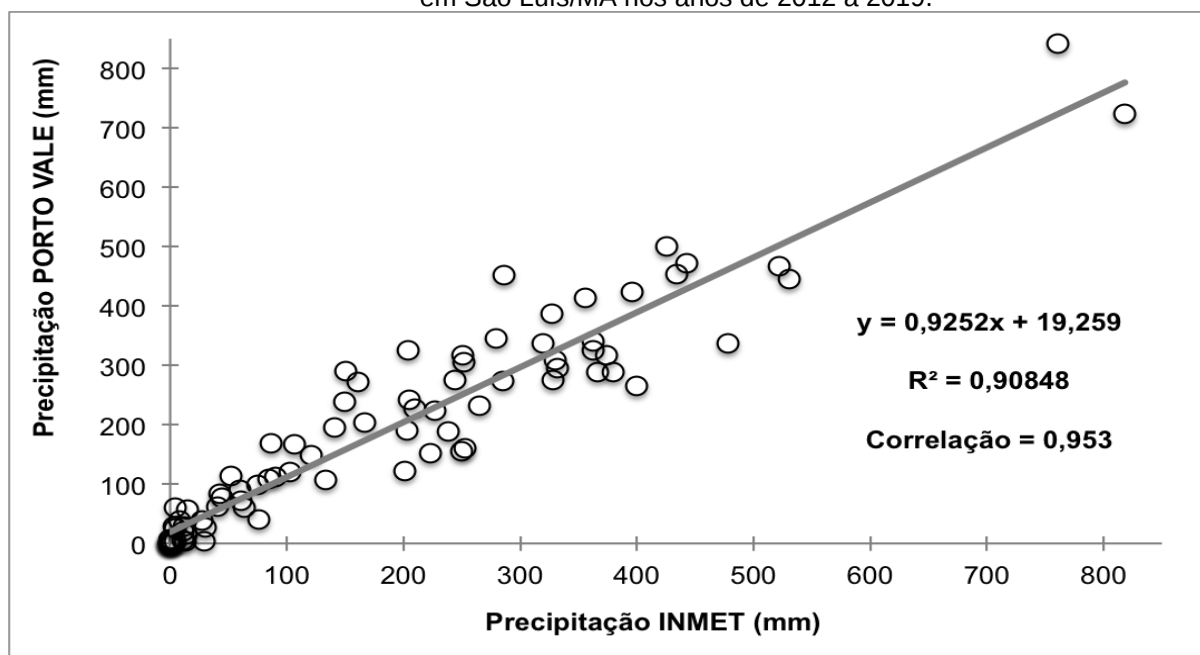
Figura 5 - Dados mensais de precipitação registrados nas estações do INMET (1988 a 2019) e no PORTO VALE (2012 a 2019) em São Luís/MA



Fonte: próprio autor, (2019).

A **Figura 6** mostra o diagrama de dispersão entre as duas séries de dados de 2012 a 2019, com valores significantes do coeficiente de determinação (R^2) de 0,90 e correlação de 95%, cujos resultados comprovam a existência de consistência alta entre os dados do INMET e do PORTO VALE.

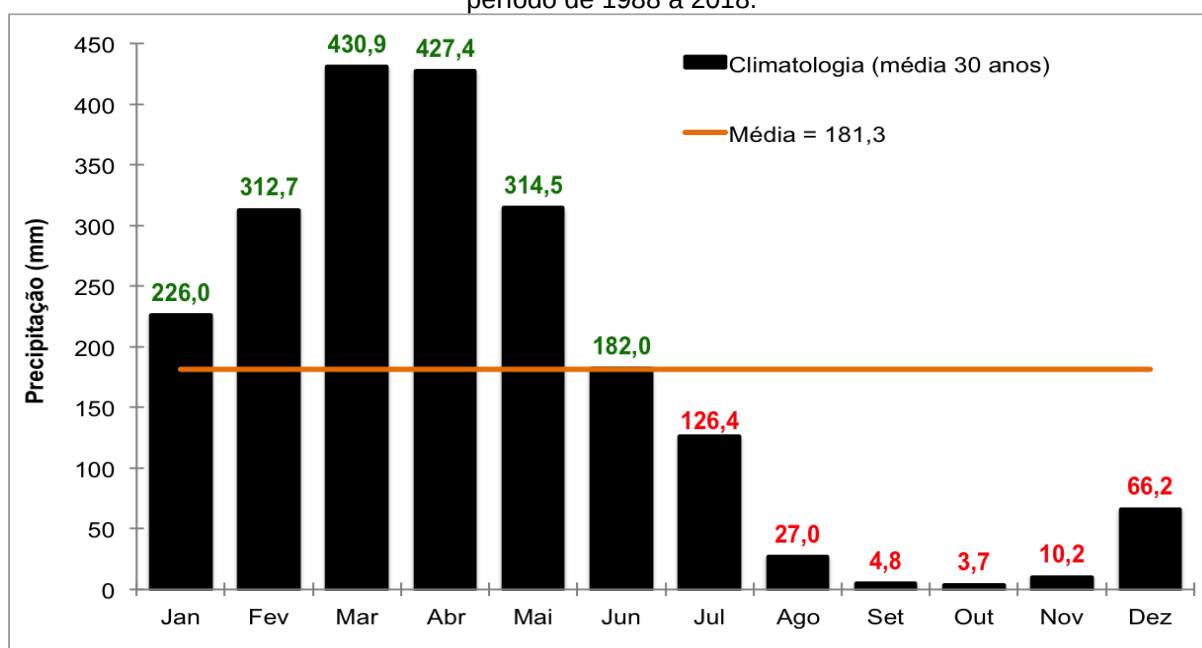
Figura 6 - Diagrama de dispersão entre os dados mensais de precipitação do INMET e PORTO VALE em São Luís/MA nos anos de 2012 a 2019.



Fonte: próprio autor, (2019).

A determinação dos regimes sazonais do período chuvoso e período seco é feita com base na série de precipitação do INMET que compreende 31 anos de dados, conforme recomendação internacional preconizada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). A Figura 7 mostra a climatologia mensal da precipitação (média 1988 a 2018) do INMET em São Luís. O valor da média mensal obtida para a série completa (janeiro a dezembro dos 31 anos) foi de 181,3 mm. Considera-se como regime chuvoso os meses com chuva climatológica acima dessa média (meses de janeiro a junho) e o regime seco os meses abaixo da média (julho a dezembro). No regime chuvoso os meses de março e abril apresentam os valores máximos ao longo do ano, com 430 e 427 mm, respectivamente. No regime seco, os meses com valores mínimos anuais ocorrem em setembro e outubro, com 4,8 e 3,7 mm.

Figura 7 - Climatologia mensal de precipitação do INMET em São Luís/MA correspondente ao período de 1988 a 2018.



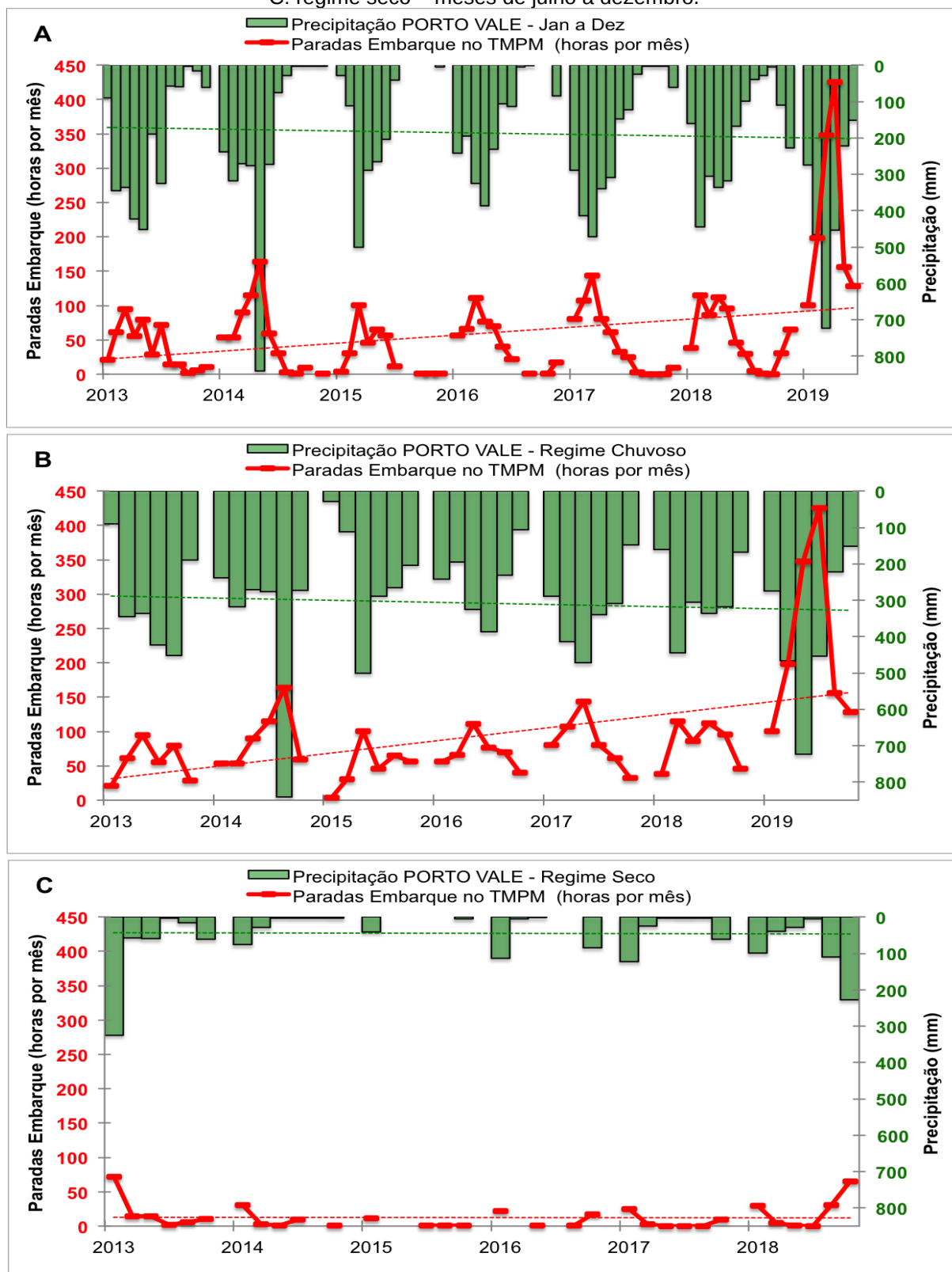
Fonte: próprio autor, (2019).

▪ Paradas operacionais no embarque de minério e o regime pluviométrico

A Figura 8 mostra os valores mensais nos anos de 2013 a 2019 das paradas operacionais, em horas por mês, do processo de embarque de minério de ferro no TPM (linhas em vermelho) conjuntamente com a precipitação registrada na estação PORTO VALE (barras em verde). Na Figura 13A percebe-se claramente que o número de horas paradas varia diretamente com o acumulado mensal da chuva no porto, tal que basicamente os meses com maior volume pluviométrico são coincidentes com o maior tempo de parada no embarque. Analisando as variações de 2013 a 2019, nota-se uma tendência positiva de aumento das horas paradas, sendo que o ano de 2019 foi muito atípico, com recordes nos meses de março e abril que registraram um total de 347 e 425 horas, respectivamente. Essas horas representam em torno de 14 dias em março e cerca de 17 dias em abril de 2019 com as operações de embarque paradas.

A Figura 13B apresenta somente os meses do regime chuvoso (janeiro a junho) e a Figura 13C os meses do regime seco (julho a dezembro), nas quais constata-se as variações das paradas no embarque oscilando em fase com a ocorrência de precipitação ao longo dos meses.

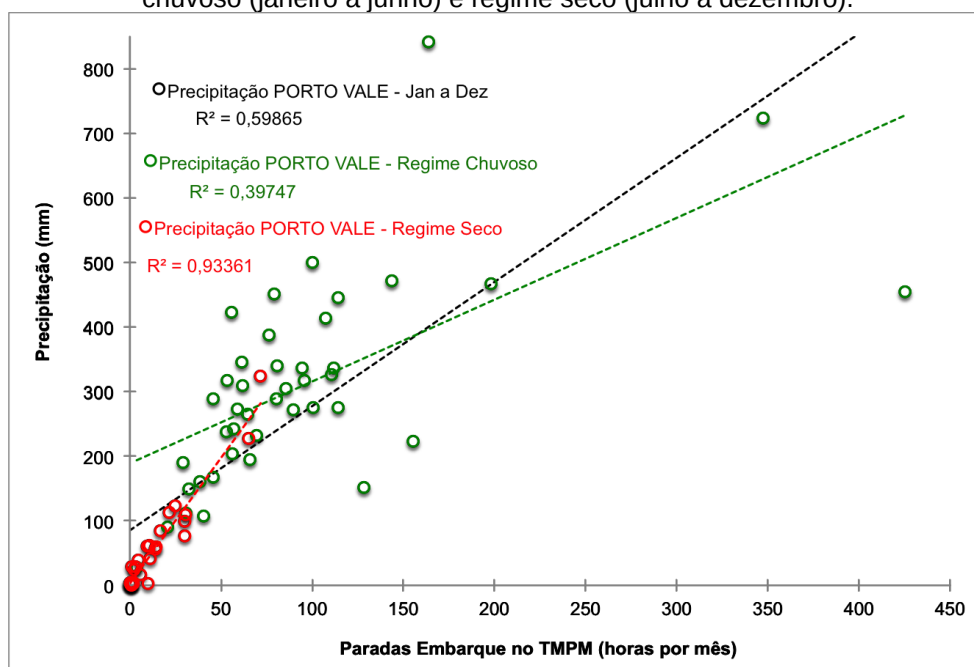
Figura 8 - Precipitação registrada no PORTO VALE e Paradas operacionais de embarque de minério no TPM, sendo A: meses de janeiro a dezembro, B: regime chuvoso – meses de janeiro a junho e C: regime seco – meses de julho a dezembro.



Fonte: próprio autor, (2019).

A demonstração quantitativa das relações consistentes entre as paradas no embarque de minério de ferro no TMPM e a precipitação no porto é feita com base no diagrama de dispersão da **Figura 9** e nas correlações da **Tabela 1**. Observa-se na **Figura 9** a relação positiva e direta entre os dados, ou seja, os valores mais altos (mais baixos) de horas paradas no processo de embarque ocorre nos meses com maior (menor) acumulação de chuva na região. As correlações (**Tabela 1**) entre os dados de paradas no embarque e a precipitação indicam resultados significantes, com valores de 0,77 considerando os dados completos (janeiro a dezembro de todos os anos), 0,63 nos meses do regime chuvoso e 0,97 nos meses do regime seco.

Figura 9 - Diagrama de dispersão entre os dados de precipitação no PORTO VALE e as Paradas no embarque de minério de ferro no TMPM considerando todos meses (janeiro a dezembro), regime chuvoso (janeiro a junho) e regime seco (julho a dezembro).



Fonte: próprio autor, (2019).

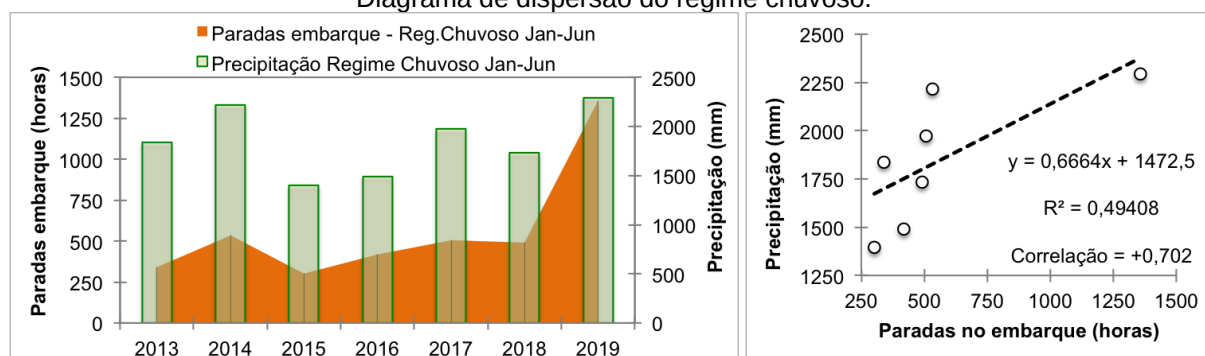
Tabela 1 - Valores das correlações, p-valor e R2 entre os dados de precipitação do PORTO VALE e as paradas de embarque de minério de ferro no TMPM.

	Correlação	p-valor	R ²
Série completa (janeiro a dezembro)	0,774	< 0,0001	0,599
Regime Chuvoso (janeiro a junho)	0,630	< 0,0005	0,397
Regime Seco (julho a dezembro)	0,966	< 0,0001	0,934

Fonte: próprio autor, (2019).

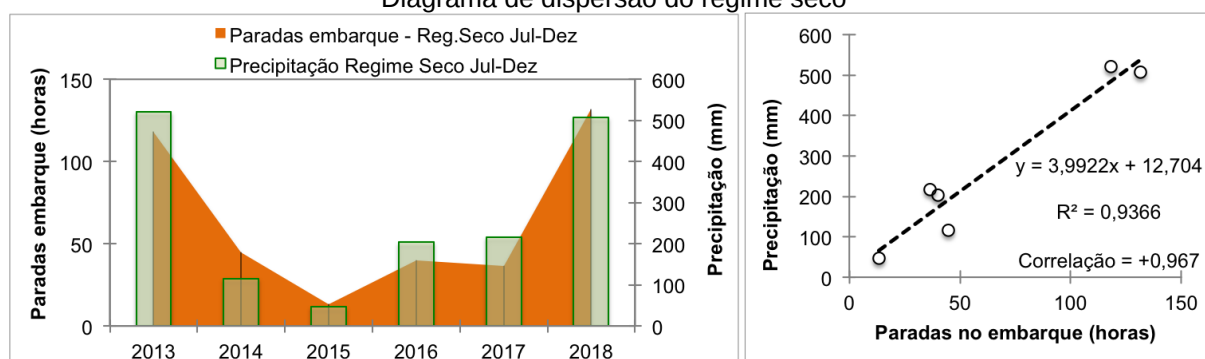
As Figuras 10 e 11 mostram os totais acumulados de paradas no embarque e a precipitação nos regimes chuvoso e seco, respectivamente. Novamente, percebe-se claramente a correspondência alta entre esses dados, demonstrando o efeito dos eventos de chuva nas operações do TMPM.

Figura 10 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TMPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes chuvosos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de janeiro a junho); **B:** Diagrama de dispersão do regime chuvoso.



Fonte: próprio autor, (2019)

Figura 11 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TMPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes secos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de julho a dezembro); **B:** Diagrama de dispersão do regime seco



Fonte: próprio autor, (2019).

3.2 ANÁLISE DAS PERDAS ECONÔMICAS

A análise integrada dos dados considerando a média dos anos de 2013 a 2018 é feita com base nos valores da

Tabela 2. Os dados de 2019 foram desconsiderados por ter sido um ano muito atípico. Inclui-se nesta Tabela os dados médios do volume em toneladas (Ton/mês) de minério de ferro embarcado nos navios da Vale. Os valores de embarque em Ton/mês foram convertidos para Ton/horas e então foi multiplicado pelo valor das paradas em horas, com a finalidade de se estimar qual a perda em Ton de minério de ferro que deixou de ser embarcado por causa de mau tempo (evento de

precipitação). Esta perda em Ton foi multiplicada pelo preço do minério de ferro no mercado internacional (considera-se US\$ 70,00 a Ton de minério de ferro) e então estima-se a perda econômica no TPM, conforme mostra

Tabela 2. A Figura 12 mostra de forma gráfica os resultados da

Tabela 2 com os valores mensais e respectivos percentuais dos dados de precipitação, embarque nos navios, paradas no sistema de embarque, perda no embarque e estimativa da perda econômica no TPM. Ressalta-se que os dados correspondem a média no período 2013 a 2018.

Na

Tabela 2 é possível observar que variabilidade pluviométrica mensal possui uma relação direta, tanto com o embarque, quanto com as paradas de embarque de minério nos navios no TPM. Entre os meses de fevereiro e maio, a média do acumulado pluviométrico mensal ultrapassou os 300 mm, com valor máximo no mês de março, com quase 400 mm. Se somado a janeiro, tais meses correspondem ao período em que foi embarcada menor quantidade de minério nos navios e com mais horas de paradas. Por outro lado, o período seco no TPM, onde a precipitação acumulada é inferior a 100 mm, ocorre entre os meses de agosto e dezembro. Neste período as paradas de embarque são poucas, em geral inferiores a 10h por mês, e o embarque de minério nos navios é superior ao período chuvoso na ordem de duas a quatro milhões de toneladas por mês.

Sob o ponto de vista percentual, a Figura 12 evidencia graficamente que os maiores percentuais de precipitação são observados durante os primeiros cinco meses do ano, sendo 10% em janeiro, 17% em fevereiro, 19% em março e abril e 18% em maio, totalizando 83% da precipitação anual. Em consequência dessa concentração da precipitação, os menores percentuais de embarque nos navios (7% a 8%) e os maiores percentuais de paralizações mensais (entre 14% e 18%) ocorrem entre fevereiro e maio. Esses resultados são refletidos em perdas de embarque de minério nos navios. Entre fevereiro e maio, os prejuízos são superiores a 1 milhão de toneladas por mês, com maiores perdas em março, cujo total mensal de minério não embarcado corresponde a 20% do total anual de perdas. Transformando a quantidade de minério não embarcado em perdas financeiras, a Vale deixaria de embarcar cerca de 356 milhões de dólares (quase um bilhão e meio de reais atualmente) entre os meses de fevereiro e maio. Mesmo no período seco, a

economia seria de quase cinquenta milhões de dólares, caso o embarque seja otimizado diante da ocorrência de eventos chuvosos.

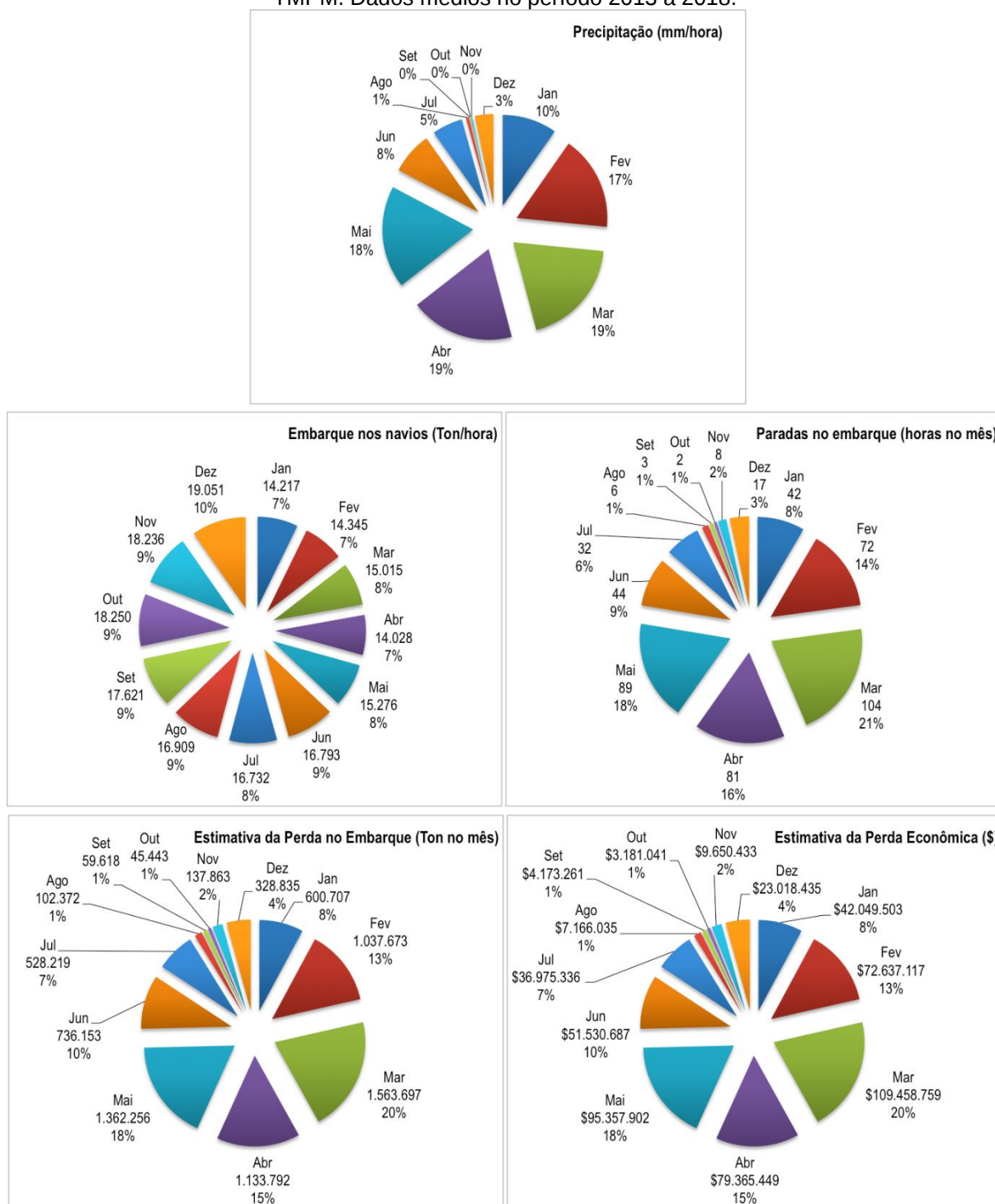
Invariavelmente, atividades operacionais de embarque de minério nos porões dos navios serão interrompidas devido ao mau tempo, uma vez que a precipitação não pode ser inibida ou evitada. Contudo, o processo de parada das esteiras, máquinas e deslocamento de empregados para outras atividades pode ser otimizado, assim como o reinício do sistema de embarque de minérios nos navios, caso haja uma ferramenta de auxílio aos tomadores de decisões, que seja capaz de informar o estado atual da evolução de sistemas atmosféricos precipitantes na área do TPM. Para este caso, sugere-se o uso de radares meteorológicos banda X, que representam o estado-da-arte em monitoramento e nowcasting meteorológico e sensores de campo elétrico instalados estrategicamente para evitar a exposição de empregados e máquinas a eventos atmosféricos danosos, evitar o acúmulo de água precipitada no interior dos porões dos navios e aumentar o tempo de embarque de minério nos navios no TPM.

Tabela 2 - Valores mensais (média 2013 a 2018) das paradas no embarque, volume de minério embarcado nos navios e precipitação no TPM, bem como das estimativas da perda no embarque em Ton de minério de ferro e da perda econômica.

	Precipitação (mm/mês)	Precipitação (mm/hora)	Embarque nos navios (Ton/mês)	Embarque nos navios (Ton/hora)	Paradas no embarque (horas no mês)	Estimativa da Perda no Embarque (Ton no mês)	Estimativa da Perda Econômica (\$)	Preço Ton minério de ferro (US\$)
Jan	193,2	0,260	10.577.438	14.217	42	600.707	\$42.049.503	\$70,00
Fev	302,2	0,450	9.639.948	14.345	72	1.037.673	\$72.637.117	\$70,00
Mar	383,8	0,516	11.171.227	15.015	104	1.563.697	\$109.458.759	\$70,00
Abr	357,2	0,496	10.099.973	14.028	81	1.133.792	\$79.365.449	\$70,00
Mai	362,6	0,487	11.365.498	15.276	89	1.362.256	\$95.357.902	\$70,00
Jun	144,0	0,200	12.091.171	16.793	44	736.153	\$51.530.687	\$70,00
Jul	108,8	0,146	12.448.588	16.732	32	528.219	\$36.975.336	\$70,00
Ago	10,7	0,014	12.580.545	16.909	6	102.372	\$7.166.035	\$70,00
Set	3,1	0,004	12.687.183	17.621	3	59.618	\$4.173.261	\$70,00
Out	1,4	0,002	13.578.280	18.250	2	45.443	\$3.181.041	\$70,00
Nov	4,2	0,006	13.129.841	18.236	8	137.863	\$9.650.433	\$70,00
Dez	66,2	0,089	14.173.658	19.051	17	328.835	\$23.018.435	\$70,00

Fonte: próprio autor, (2019).

Figura 12 - Valores mensais e respectivos percentuais dos dados de precipitação, embarque nos navios, paradas no sistema de embarque, perda no embarque e estimativa da perda econômica no TPM. Dados médios no período 2013 a 2018.



Fonte: próprio autor, (2019).

3 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como propósito estudar os impactos da chuva no embarque do minério de ferro no Terminal de Ponta da Madeira, em São Luís, por meio da análise da variabilidade climatológica da região costeira, considerando a análise estatística e de correlação dos dados meteorológicos de 2013 ao primeiro semestre de 2019. Além disso, buscou também calcular as perdas financeiras em função das paradas do embarque de minério nesse Terminal em decorrência do mau tempo.

Após análises dessa pesquisa científica, conclui-se que:

- As médias mensais da pluviometria dos últimos 30 anos (181,3 mm), registradas pelo INMET, quando comparadas com as médias mensais dos últimos 8 anos da estação meteorológicas do Porto (177,5 mm), tem alta similaridade nas variações mensais de chuva da parte central da ilha de São Luís e da região costeira de Ponta da Madeira;
- Constatou-se que o volumes mais elevados de chuva ocorrem nos meses de março (430 mm) e abril (427 mm) da estação chuvosa, enquanto que na estação seca os meses de setembro (4,8 mm) e outubro (3,7 mm) apresentam os menores volumes de chuva anuais;
- A pesquisa evidenciou que o número de horas paradas no processo do embarque em Ponta da Madeira varia diretamente com o acúmulo mensal de chuva, ou seja, os meses com maior índice de precipitação coincidem com o maior tempo de paradas no embarque;
- O diagrama de dispersão e as correlações apontam para uma relação positiva e direta entre os dados, ficando claro que os valores mais altos (mais baixos) de horas paradas no embarque acontecem nos meses com maior (menor) acumulação de chuva no TMPM;
- A pesquisa apresenta alta correspondência entre os dados, ficando demonstrado o efeito dos eventos extremos de chuva nas operações do TMPM.
- Convertendo-se a quantidade de minério não embarcado em perdas financeiras, a Vale comprometeu o seu volume de embarque em cerca de 356 milhões de dólares (quase um bilhão e meio de reais atualmente) entre os meses de fevereiro e maio. Considerando o período seco, a economia seria de quase cinquenta milhões de

dólares, caso o embarque seja otimizado diante da ocorrência de chuva.

Por fim e considerando os resultados da pesquisa, fica claro que os eventos extremos de chuva se intensificam na estação chuvosa na costa do Maranhão (janeiro a junho), sugerindo a implementação de medidas de controle dos efeitos negativos das chuvas nas paradas do embarque de minério no TMPM, como estratégia de manter sua posição de importância na cadeia produtiva da mineração no Corredor Norte.

REFERÊNCIAS

SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL. **Relatório de Controle Ambiental e Plano de Controle Ambiental (RCA/PCA) para Ampliação da Bacia de Decantação Leste do Complexo de Ponta da Madeira.** São Luís, MA: 2018.