

Nathalya Raquel Nobre Oliveira

**SISTEMA DE DRENAGEM EM PÁTIO DE ESTOCAGEM:
UM ESTUDO DE CASO EM SERRA NORTE - CARAJÁS**

Parauapebas, Pará

2020

Nathalya Raquel Nobre Oliveira

**SISTEMA DE DRENAGEM EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM:
UM ESTUDO DE CASO EM SERRA NORTE - CARAJÁS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em Beneficiamento Mineral.

Orientador: Prof. Frederico Quintiliano G. Goes
Coorientador: Prof. Tatiana Martins M. Brandão

Parauapebas, Pará

2020

Título: Sistema de drenagem em pátios de estocagem: um estudo de caso em Serra Norte - Carajás

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública

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)

O48s

Oliveira, Nathalya Raquel Nobre
Sistema de drenagem em pátios de estocagem: Um estudo de caso em Serra Norte - Carajás / Nathalya Raquel Nobre Oliveira - Ouro Preto, 2021.

131 f.: il.

Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale, 2021.
Orientador (a): Prof. Frederico Quintiliano Guimarães Goes
Coorientador (a): Prof. Tatiana Martins Brandão

1. Pátio de Estocagem. 2. Projeto de Drenagem. 3. Umidade. I. Goes, Frederico Quintiliano Guimarães. II. Brandão, Tatiana Martins Título.

CDD. 23. ed. 622.7

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 – 525

Nathalya Raquel Nobre Oliveira

**SISTEMA DE DRENAGEM EM PÁTIO DE ESTOCAGEM
UM ESTUDO DE CASO EM SERRA NORTE – CARAJÁS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Beneficiamento Mineral].

Orientador: Frederico Quintiliano Guimarães Góes
Coorientadora: Tatiana Martins Machado Brandão

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 26 de outubro de 2020 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Frederico Quintiliano Guimarães Góes
Orientador – VALE

Tatiana Martins Machado Brandão
Coorientadora – VALE

Juan Manuel Girao Sotomayor
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Ângelo Tércio de Magalhães Oliveira
Membro interno – VALE

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/4029-F3EB-23A7-C04E> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/4029-F3EB-23A7-C04E> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 4029-F3EB-23A7-C04E



Hash do Documento

AA6D217513576228A7AE6E123238E5BEF218CA3ECC727767E97DA07E45BF1C2C

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 26/01/2021 é(são) :

- Frederico Quintiliano Guimarães Góes (Signatário) - em 26/01/2021 08:39 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: frederico.goes@vale.com

Evidências

Client Timestamp Tue Jan 26 2021 08:39:35 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.971107874999994 Longitude: -43.97204968749998 Accuracy: 275
IP 189.80.219.3
Hash Evidências:
5E38AED00388D3ED3BFA976B605EA3ECE16035706FB98158F39F038ADB994215

- Ângelo Tércio de Magalhães Oliveira (Signatário) - em 22/12/2020 09:42 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: angelo.oliveira@vale.com

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 22 2020 09:42:27 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -6.071963265154896 Longitude: -50.157954324632335 Accuracy: 85
IP 189.80.219.3
Hash Evidências:
7E2F8D1814B8534B3FC4EB1DF3CD4E7A015EEF9BD6E455A842E2B6F24EE12A0F

- Tatiana Martins Machado Brandão (Signatário) - em 22/12/2020 08:29 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: tatiana.brandao@vale.com

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 22 2020 08:29:12 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -6.0719104 Longitude: -50.06950399999995 Accuracy: 67668

IP 177.8.27.186

Hash Evidências:

E8921B6A2778B4F6E3D6CCC17E9A8DF26079F83FB3ABC6678CC0B785BEE42ED8

Juan Manuel Girao Sotomayor (Signatário) - em 22/12/2020 08:27 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: juan.sotomayor@itv.org

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 22 2020 08:27:28 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: 6.5598768 Longitude: -73.1389863 Accuracy: 33

IP 191.109.81.84

Hash Evidências:

7E508FC4569A91D91471E25A2ADC3BBA4486AF82C2BA9524821F1F5669063A46



A todos os profissionais da mineração, em destaque guerreiras e guerreiros do Pátio Estocagem e Silos de Carregamento de Serra Norte Carajás.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, em especial minha querida tia Elizabeth Lima Nobre.

Às minhas primas Vanessa Nobre e Emanuela Nobre pelo apoio.

Às minhas queridas amigas que me incentivaram a não desistir deste trabalho em um ano tão desafiante... obrigada por sempre me incentivarem a acreditar que posso muito mais do que eu mesma acredito.

Aos meus queridos amigos ESMM, sem vocês não teria nenhuma graça.

Aos meus líderes Leonardo Marques, Henrique Geanezi, Herbert Viana, Roberto Francisco, Adilson Moura, Gildiney Sales e Antonio Padovezi, pela oportunidade única em compor a turma de especialização e pelas liberações nos momentos de trabalho para assistir as aulas.

Aos colegas da turma Beneficiamento de Usina por tantas trocas positivas durante as aulas.

À equipe do ITV em especial a Pesquisadora Iranildes Santos.

Às equipes em que atuei no pátio/usina e aos meus pares: pela compreensão nos momentos de ausência para estar participando do curso.

Aos colegas e amigos da Vale S/A: Josimar Peixe, Carlos Aparecido Silva, Tatiana Brandão, Frederico Goes, Marcos Alves Oliveira, Hugo Camargo, Adilson Moura, Fabiana Martins, Wexciley Almeida, Suzane Albuquerque, Lys Tavares, Maria Rita Fernandes, Tanara Lisboa, Mário Leal, Marília Lopes, Maximiliano Costa, Wallace Araujo, Joelson Sampaio, Camila Linhares Amaral, Valcir Lima, Marília Lopes, Luis Nunes, Nayara Silva, Pedro Lucas Louzada, Leandro Bahia, Francisco Diogo e Jardson Magalhães.

"As pessoas vão esquecer o que você disse, as pessoas vão esquecer o que você fez, mas as pessoas nunca esquecerão como você as fez sentir".

Maya Angelou

RESUMO

Ao longo da cadeia produtiva mineral, os estoques de minério de ferro e outros minerais são armazenados em pátios de estocagem. Os pátios são áreas de grande relevância na mineração, e devem ser constituídos de sistema de drenagem desde seu projeto, separando a água do produto e possibilitando que a mesma retorne à natureza e não fique acumulada nas pilhas e no produto. A drenagem é fundamental para garantir o manuseio adequado e traz ganhos e segurança para o processo e cadeia da mineração. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar o sistema de drenagem do pátio de estocagem de Carajás. Como objetivos secundários, avaliar: os tipos de drenagem encontrados nas principais atividades e premissas para uma drenagem eficiente; a importância e a contribuição da drenagem no manuseio dos produtos e impactos na cadeia mineral; os desafios atuais para o sistema de drenagem dos pátios. Como metodologia foi utilizado o estudo de caso, definido e implantado o método em cinco etapas: 1- avaliar a correlação dos acidentes críticos com a existência e eficiência dos sistemas de drenagem; 2- avaliar os tipos de drenagem encontradas nos pátios de Carajás; 3- definir ações para restabelecer a condição de drenagem dos pátios; 4- comparar a eficiência das drenagens superficial e de fundo. 5- desenvolver solução de drenagem em pátio. O trabalho trouxe grandes ensinamentos: redução de eventos de acidentes críticos de desmoronamento de pilhas, redução de umidade na expedição e na cadeia, e exemplo de práticas no tema de drenagem que poderá ser aplicado a outros sites na indústria da mineração.

Palavras-chave: Pátio de estocagem. Projeto de drenagem. Umidade.

ABSTRACT

Throughout the mineral production chain, stocks of iron ore and other minerals are stored in stockyards. Patios are areas of great relevance in mining, and they must be constituted by a drainage system since its design, separating the water from the product and allowing it to return to nature and not accumulate in the piles and in the product. Drainage is essential to ensure proper handling and brings gains and safety to the mining process and chain. In this context, this work had the general objective of evaluating the drainage system of the storage yard of Carajás. As secondary objectives, evaluate: the types of drainage found in the main activities and premises for efficient drainage; the importance and contribution of drainage in the handling of products and impacts on the mineral chain; the current challenges for the yard drainage system. As a methodology, the case study was used, the method was defined and implemented in five stages: 1- to evaluate the correlation of critical accidents with the existence and efficiency of drainage systems; 2- evaluate the types of drainage found in the yards of Carajás; 3- define actions to restore the drainage condition of the yards; 4- compare the efficiency of surface and bottom drains. 5- develop drainage solution in the yard. The work brought great lessons: reduction of events of critical accidents of collapse of batteries, reduction of humidity in the expedition and in the chain, and example of practices in the theme of drainage that can be applied to other sites in the mining industry.

Keywords: Storage yard. Drainage project. Moisture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pilha de blendagem	30
Figura 2 – Método Chevron	30
Figura 3 – Chevron Modificado	31
Figura 4 – Método Windrow modificado	31
Figura 5 – Estocagem no método Cone.....	32
Figura 6 – Estocagem método Cone Shell.....	33
Figura 7 – Sistema de pilha de minério	34
Figura 8 – TML – Limite de Umidade Transportável.....	35
Figura 9 – Valeta de proteção de corte	37
Figura 10 – Valeta triangular.....	38
Figura 11 – Valeta retangular	38
Figura 12 – Valeta trapezoidal.....	38
Figura 13 – Camada drenante ligando ao dreno profundo (Esquema das bases drenantes)....	42
Figura 14 – Esquema de filtro drenante e camadas para pavimento	43
Figura 15 – Tipos de secção de drenos profundo	45
Figura 16 – Drenos espinha de peixe.....	47
Figura 17 – Disposição de espinha de peixe em um campo de futebol.....	47
Figura 18 - Diferentes layouts espinha de peixe.....	48
Figura 19 – Esquema-resumo do colchão drenante.....	49
Figura 20 – Dreno típico horizontal	50
Figura 21 – Geotêxtil em contato com o solo.....	52
Figura 22 – Processo de recuperação	54
Figura 23 – Processo de remontagem da sobra de pilha.....	54
Figura 24 – Processo de recheio negligenciado - elevação do piso do pátio.....	55
Figura 25 – Estocagem sobre 4º corte e sem recheio	56
Figura 26 – Recuperação em bancadas curtas	58
Figura 27 – Método de recuperação em modo patamar	59
Figura 28 – Execução de recuperação em modo patamar	59
Figura 29 – Recuperação em modo patamar	59
Figura 30 – Pilha com problema de drenagem.....	61
Figura 31 – Fator de segurança das pilhas.....	63
Figura 32 – Cenário controlado de pátio em ruptura de pilha.....	65

Figura 33 – Condições de contorno para obter a projeção do material rompido da pilha de produto, considerando pátio com camada de 1,0 m de morto	66
Figura 34 – Condições de contorno para obter a projeção do material rompido da pilha de produto Chevron modificado, considerando pátio com camada de 1,0 m de morto	67
Figura 35 – Exemplos de simulação de pilha – altura, f.s., ângulo de repouso, μ	68
Figura 36 – Vista aérea dos pátios A, B, C, D e E	71
Figura 37 – Vista aérea dos pátios A, B, C, D e E	71
Figura 38 – Vista aérea dos pátios G e H	72
Figura 39 – Divulgação interna de acidente pilha 3C: desmoronamento de pilha	75
Figura 40 – Localização da pilha 3C	76
Figura 41 – Conjunto de efeitos do desmoronamento da pilha 3C	76
Figura 42 – Altura da pilha 3C	77
Figura 43 – Deficiência no sistema de drenagem dos pátios A e B	78
Figura 44 – Estocagem em 4º corte e umidade encontrada	79
Figura 45 – Estocagem em 4º Corte	79
Figura 46 – Condição de Drenagem do Fundo dos Pátios C e D antes dos trabalhos.....	82
Figura 47 – Equipamentos utilizados na atividade de rebaixamento de pátio.....	82
Figura 48 – Rebaixamento de pilhas nos pátios C e D.....	83
Figura 49 – Material rebaixado em torno de 3 metros no pátio C.....	84
Figura 50 – Retaludamento do “caixote de pátio” no pátio C.....	84
Figura 51 – Medição das dimensões do pátio após o rebaixamento e retaludamento.....	85
Figura 52 – Sentido da drenagem nos pátios C e D.....	86
Figura 53 – Problemas pontuais de drenagem na pilha 6C	86
Figura 54 – Pilha 6C rebaixada e restabelecida a drenagem de fundo	86
Figura 55 – Restabelecimento de tubos de drenagem na pilha 6	87
Figura 56 – Canaleta lateral restabelecida na pilha 6C	87
Figura 57 – Pátio C após trabalhos de rebaixamento, retaludamento e adequação das pilhas.	88
Figura 58 – Modelo de separação de pilhas no pátio A/B e sentido de escoamento.....	89
Figura 59 – Indicação de drenagem 360º no pátio A.....	89
Figura 60 – Obstrução da canaleta superficial no pátio A.....	90
Figura 61 – Situação do pátio após serviços de adequação da drenagem superficial	90
Figura 62 – Ineficiência da drenagem lateral do Pátio B	91
Figura 63 – Adequação da canaleta lateral do Pátio B.....	91
Figura 64 – Sentido da drenagem superficial na área do <i>pellet</i> Pátios A e B.....	91

Figura 65 – Rotina de recheio do morto nas milhas do Pátio B	92
Figura 66 – Restabelecimento dos <i>sumps</i> de projeto e canaletas de concreto dos Pátios A e B	92
Figura 67 – Drenagem na área de <i>pellet</i> - Pátio B, antes e depois	92
Figura 69 – Estocagem em pilha de <i>pellet</i> com base úmida.....	94
Figura 70 – Área de estocagem de <i>pellet</i> antes e depois da drenagem.....	94
Figura 71 – Equipamentos utilizados na estruturação da drenagem do Pátio G e H: trator e escavadeira hidráulica.....	95
Figura 72 – Água empossada nos Pátios G e H – Drenagem ineficiente	95
Figura 73 – Atuação do trator D6 nas drenagens dos Pátios G e H	96
Figura 74 – Registro de OM no SAP das atividades na drenagem superficial.....	96
Figura 75 – Situação inicial de drenagem dos Pátios G e H.....	97
Figura 76 – Sentido de escoamento de drenagem no meio dos Pátios G e H	97
Figura 77 – Sentido de escoamento para ponto de drenagem existente na cabeceira dos Pátios G e H – área das pilhas de manganês	98
Figura 78 – Layout dos Pátios G e H para pilhas, drenagem lateral e retaludamento.....	98
Figura 79 – Registro de atuação do trator mantendo a área de escoamento lateral.....	99
Figura 80 – Pátios G e H após os trabalhos de drenagem superficial, separação das pilhas e retaludamento	99
Figura 81 – Pontos de drenagem nos Pátios de Estocagem.....	101
Figura 82 – Ilustração da Drenagem de Fundo – Pátios A/B Seção Longitudinal típica.....	107
Figura 83 – Ilustração da drenagem transversal em arranjo espinha de peixe	107
Figura 84 – Ilustração em corte da Caixa-ralo	108
Figura 85 – Disposição de camadas de brita de projeto	108
Figura 86 – Ilustração parcial da trincheira drenante	109
Figura 87 – Modelo escoramento quando aplicado ao projeto.....	109
Figura 88 – Tubo-dreno perfurado PEAD.....	110
Figura 89 – Ilustração da Drenagem de Fundo - Pátios A/B.....	111
Figura 90 – Minério, volume morto e finos acumulados	112
Figura 91 – Dreno vertical corte.....	113
Figura 92 – Ilustração da drenagem longitudinal	114
Figura 93 – Ilustração da drenagem longitudinal em arranjo de cruz	114
Figura 94 – Ilustração da drenagem longitudinal em arranjo espinha de peixe	115
Figura 95 – Ilustração da drenagem transversal em arranjo diagonal	115

Figura 96 – Ilustração da drenagem transversal	116
Figura 97 - Ilustração da drenagem transversal em arranjo espinha de peixe.....	116
Figura 98 - Ilustração da drenagem transversal em arranjo espinha de peixe.....	117
Figura 99 - Ilustração da drenagem transversal.....	118
Figura 100 – Escavação da área de pátio, até a cota de projeto	119
Figura 101 – Escavação de espinha de peixe	119
Figura 102 – Colocação de geotêxtil de 1ª camada de brita para os drenos.....	120
Figura 103 – Aplicação da 2ª cada de brita e geotêxtil	120
Figura 104 - Obra Drenagem Pátio Pátio B – Aplicação de Brita Pilha 7 e 8 B	121
Figura 105 – Layout aplicação de brita no projeto de drenagem	121
Figura 106 – Aplicação de tubo dreno 400 mm vazado	122
Figura 107 – Forma e armadura para caixa de passagem ralo.....	123
Figura 108 – Aplicação de lastro	123
Figura 109 - Etapas da obra de drenagem viabilizando obra e operação de pátio	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Pluviometria dias anteriores e posteriores ao acidente.....	78
Gráfico 2 – Pilha 10ª.....	102
Gráfico 3 – Pilha 3C1	103
Gráfico 4 – Contraprova Pilha 6C	103
Gráfico 5 – Climograma para Parauapebas	104
Gráfico 6 – Granulometria do minério produzido em Carajás	106
Gráfico 7 – Acompanhamento de quantidade e criticidade de eventos de desmoronamento	124
Gráfico 8 – Umidade na expedição - anos 2017 a 2020	125
Gráfico 9 – Comparativo 2017 e 2018 (umidade na expedição).....	125
Gráfico 10 – Comparativo 2019 e 2020 umidade na expedição	126
Gráfico 11 – Redução anual de umidade na expedição do PFCJ	126
Gráfico 12 - Comparativo de redução de umidade no produto PFCJ mensalizado nos anos 2019 e 2020	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características da superfície e coeficiente de escoamento.....	40
Quadro 2 – Requisitos para mantas geotêxtil.....	53
Quadro 3 - Alocação de produto por pátio em 2020	73
Quadro 4 – Tipos de drenagem pelo Projeto Pátio em 2018	81
Quadro 5 – Resumo de massa colmatada retirada na atividade de rebaixamento por pilha dos pátios C e D	83
Quadro 6 – Pátios x Drenagem x Simulação antes e depois	102
Quadro 7 - Resumo Antes e Depois das ações de rotina de drenagem e implantação de projeto de melhoria	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da especificação técnica de produto SFCK – <i>Sinter Feed</i> Carajás Usinas 1, 3 e 4	24
Tabela 2 – <i>Sinter Feed</i> Carajás Usina 2	24
Tabela 3 – Materiais, granulometria e permeabilidade	41
Tabela 4 – Granulometria para dreno e colchão drenante	49
Tabela 5 – Correlação entre saturação e teor umidade em minério de ferro	63
Tabela 6 Análise de impacto de ruptura de pilhas para os pátios de produto de Carajás – Pará	64
Tabela 7 – Projeção do material rompido para diferentes alturas, para grau de saturação de 60% e ângulo de repouso de 39°	66
Tabela 8 – Projeção do material rompido para diferentes alturas, para grau de saturação de 60% e ângulo de repouso de 39° pilhas estocadas em chevron modificado	67
Tabela 9 - Valores gerais para desenvolvimento de projeto e execução de obra de drenagem no Pátio B	105
Tabela 10 – Coeficiente de Permeabilidade por Material	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
DS	Desenvolvimento Sustentável
EFC	Estrada de Ferro Carajás
Fe	ferro
Fe ₂ O ₃	hematita
FS	Fator de Segurança
IMH	Índice de Minério Hidratado
ITV	Instituto Tecnológico Vale
m	metro
MPa	Mega Pagal
MST	Movimento Sem Terra
OM	Ordem de Manutenção
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PF	<i>Pellet feed</i>
PLCJ	<i>Pellet feed</i> de Carajás
SAP	<i>Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung</i> - Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
SF	<i>Sinter feed</i>
SiO ₂	Quartzo
TML	Limite de Umidade Transportável
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 PROBLEMA	24
1.2 HIPÓTESES	25
1.3 JUSTIFICATIVA	25
1.4 OBJETIVOS	26
1.4.1 Objetivo geral.....	26
1.4.2 Objetivos específicos.....	26
2 REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 ESTOQUES E PÁTIO DE ESTOCAGEM.....	27
2.2 MANUSEIO DE MATERIAIS	33
2.3 DRENAGEM	35
2.3.1 Drenagem superficial	35
2.3.2 Drenagem subterrânea ou profunda	43
2.3.2.1 Drenos profundos	44
2.3.2.2 Espinha de Peixe	46
2.3.2.3 Colchão drenante	48
2.3.2.4 Dreno Sub Horizontais	50
2.3.2.5 Geotêxtil	51
1.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS QUE DEVEM SER CONSIDERADOS NA RECUPERAÇÃO E FORMAÇÃO DE PILHAS	53
2.5 INFLUÊNCIA DOS PROBLEMAS DE DRENAGEM DOS PÁTIOS DE ESTOCAGEM NA ESTABILIDADE DAS PILHAS	59
2.5.1 Desmoronamento de pilhas.....	61
3 METODOLOGIA.....	70
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	70
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	70
3.3 MÉTODO PROPOSTO.....	74
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1 ETAPA 1	75
4.2 ETAPA 2	81
4.3 ETAPA 3	81

4.4 ETAPA 4	101
4.5 ETAPA 5	104
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RESULTADOS.....	124
REFERÊNCIAS	130

1 INTRODUÇÃO

O complexo minerador da Vale Carajás, conhecido na organização como Sistema Norte de Produção Vale, é composto basicamente de quatro infraestruturas principais. A primeira delas é a mina, área onde ocorre a exploração do minério de ferro de forma planejada, a partir de um mapeamento geológico. Através dos estudos de sondagem na terra é realizado o desenho do corpo mineral principal e são traçadas as estratégias de lavra e desmonte de rocha até o envio às britagens – infraestruturas iniciais da usina de beneficiamento que tem objetivo de cominuir (fragmentar) o material que foi carregado e transportá-lo após o desmonte de rocha.

A usina de beneficiamento é a área de tratamento do minério onde ocorre a classificação dos materiais por diferentes granulometrias, e envolve dois tipos de equipamentos principais: britadores e peneiras. Os produtos, que são de três tipos diferentes – *sinter feed*, *pellet feed* e granulado, são estocados em pilhas padrões no pátio de estocagem, através de máquinas empilhadeiras. Conforme a chegada dos trens e formação dos lotes, através de máquinas recuperadoras, o material é enviado aos silos de carregamento, equipamento que tem papel de encher os vagões com o minério e disponibilizá-los à ferrovia.

A ferrovia é a área responsável pelo carregamento de vagões e pelo transporte ao longo da Estrada de Ferro de Carajás (EFC). Esta estrada liga os silos de carregamento de Carajás até a descarga na área do Porto de Ponta da Madeira, alocando os produtos em um pátio de estocagem até o abastecimento do minério nos navios. Finalmente, o porto é a área responsável pelo embarque dos produtos nos navios que irão levá-los de Carajás além mar. O principal cliente é a China. Grande parte dos navios irá atender à demanda chinesa por minério de ferro e garantir a produção de aço mundial. Uma unidade mineradora é uma área complexa que depende de uma série de processos para sua excelência.

Assim como as grandes e modernas indústrias possuem estoques de produtos, analogamente as usinas de minério de ferro também apresentam esta necessidade, dada a variedade de seus produtos e subprodutos. Ao longo da cadeia produtiva mineral, os estoques de minério de ferro e outros minerais são armazenados em pátios de estocagem. Outros tipos de pátios são encontrados, como os pátios de regularização e pilhas emergenciais.

A inconstância dos prazos de produção e transporte ao longo do canal de suprimentos provoca incertezas que impactam sobre os custos operacionais e o nível de atendimento a clientes. Assim, se justifica o uso de estoque em pontos estratégicos da cadeia de distribuição, reduzindo os impactos da inconstância e facilitando a operação. Outra

justificativa são os choques: eventos não planejados, como greves de trabalhadores, desastres naturais, aumento imprevistos da demanda e atrasos no abastecimento, contra os quais o estoque gera um grau de proteção, mesmo que temporário, permitindo que o sistema continue a operar durante algum tempo até que os efeitos destes choques percam força ou se normalizem (BALLOU, 2006).

Um dos grandes desafios para transporte do minério é garantir que a umidade dos produtos de minério de ferro fique dentro das especificações dos clientes. Este controle de umidade deve ser feito desde a fase mina até a fase transporte nos navios, sendo um dos principais indicadores para segurança no embarque e transporte de navios. Após o beneficiamento nas usinas os produtos sinter, pellets e granulados são estocados em pilhas, em locais conhecidos e determinados como pátios de estocagem. Os produtos são armazenados para garantir tempo de residência, perdendo água neste processo e, em conjunto, aguardar a chegada de trens conforme a necessidades da ferrovia e porto.

Neste contexto, os pátios de estocagem de minério de ferro são locais que devem ser constituídos de sistema de drenagem desde de seu projeto, possibilitando que a água que sai do minério retorne para a natureza e afins, e não fique acumulada nas pilhas. A drenagem é fundamental para garantir manuseio adequado e traz ganhos e segurança para o processo e cadeia da mineração, podendo ser uma drenagem superficial ou drenagem de fundo, onde a água percola¹ diferentes camadas internas de brita e mantas, até chegar em canaletas internas que a conduzirão para fora do pátio.

Para garantir o funcionamento e eficácia da drenagem, uma série de rotinas e atividades devem ser realizadas, como, por exemplo, a manutenção das áreas destinadas aos pátios e suas drenagens, atividades que visam manter o sistema drenante dos pátios funcional, regular e alcançando o objetivo, que é garantir um produto com menores teor de umidade, contribuindo para a cadeia da mineração e segurança dos produtos. Outras ações como estocagem dentro dos limites dimensionados do pátio, recuperação correta, tombamento de morto, verificação de ângulos e limites dos equipamentos, atuação de máquinas ajudando a drenagem e corrigindo desvios do terreno e outros, são atividades que colaboram para um sistema de drenagem eficaz e funcional, que traz sustentabilidade para o processo de expedição e contribui para controle de umidade.

1.1 PROBLEMA

¹ Em geologia se refere a passagem de água pelo solo e rochas permeáveis fluindo para reservatórios subterrâneos (aquíferos) (Wikipédia).

O produto de minério de ferro é vendido buscando obedecer a especificação técnica do mesmo. Nas Tabelas 1 e 2 podemos observar que o percentual máximo de água H₂O é de 10,1% para os produtos SFCK (*sinter feed* produzido nas usinas 1, 3 e 4) e de 9,0% para o SFLS (*sinter feed* usina 2), conforme especificação técnica do produto

Tabela 1 – Resumo da especificação técnica de produto SFCK –
Sinter Feed Carajás Usinas 1, 3 e 4

(%)	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	PPC	H ₂ O	+19mm	+16mm	+6,3mm	+1mm	-,15MM
LSC		2,93	1,84	0,074	0,504		10,1	0,05	1,0	21,2		20,7
X	65,49	1,81	1,45	0,057	0,258	2,29	9,4	0,00	0,0	17,7	56,5	17,6
LIC	64,44	0,68	1,07									

Fonte: VALE S/A.

Nota: Especificação de média e expedição diária – Expedição Mina - SFCK

Tabela 2 – *Sinter Feed* Carajás Usina 2

(%)	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	PPC	H ₂ O	+19mm	+16mm	+6,3mm	+1mm	-,15MM
LSC		3,31	2,84	1,106	0,370		9,0	0,05	1,0	22,0		22,7
X	63,83	2,51	2,26	0,077	0,211	3,45	8,0	0,00	0,0	19,0	55,0	18,0
LIC	62,69	1,72	1,67									

Fonte: VALE S/A.

Nota: Especificação de média e expedição diária – Expedição Mina – SFLS

Um fator fundamental prioritário para controle de umidade no produto é a segurança nas operações de estocagem, descarga e transporte. Após anos de produção, foi percebido que a umidade mudou e afetou a cadeia da mineração, com eventos de paralisação de navios por segurança e impactos na descarga nos viradores de vagão. Garantir um produto com menor teor de água passou a ser fundamental para os processos.

Os pátios de estocagem de produto são fundamentais neste contexto, visto que é o primeiro local onde o produto é concentrado em pilhas após o beneficiamento. O tempo de residência do material nas pilhas em conjunto com o funcionamento da drenagem eficiente, podem garantir um minério com menor teor de umidade do que quando foi produzido e, assim, contribuir para o manuseio seguros dos processos subsequentes: carregamento de vagões, transporte na ferrovia, descarga nos viradores de vagão, carregamento de navios e transporte dos navios até os clientes.

Neste contexto foi elaborado o problema com as seguintes perguntas-chaves para

esta pesquisa: "Os sistemas de drenagem dos pátios de Carajás são funcionais? Quais são as rotinas necessárias para garantir eficiência nestes sistemas? Há ganhos para a cadeia mineral? Quais as principais dificuldades?"

1.2 HIPÓTESES

Pretende-se avaliar com este estudo as seguintes hipóteses:

- a. Redução de umidade na expedição de Carajás após a implantação de medidas de drenagem em pilhas de pátio
- b. redução de eventos críticos de desmoronamentos de pilhas;
- c. definir os sistemas de drenagens encontrados nos pátios de Carajás e determinar as situações encontradas;
- d. avaliar e definir os tipos de drenagens mais eficientes;
- e. decidir o tipo de drenagem mais eficiente;
- f. deliberar melhorias e projetos;
- g. promover a sustentabilidade das atividades de drenagem implantadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

As atividades de drenagem são fundamentais para garantir a eficácia dos pátios de estocagem, uma vez que o produto estocado perde água durante a estocagem e esta água não deve ficar retida nas pilhas e, sim, deve ser encaminhada para fora do pátio de forma controlada. Há o risco de desmoronamento de pilhas quando as recomendações de drenagem, umidade e altura não são respeitadas. Além disto, a umidade do material é prejudicial para toda a cadeia do minério, podendo causar graves acidentes como adornamento ou naufrágios de navios carregados de minério de ferro em alto mar.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar o Sistema de Drenagem do Pátio de Estocagem de Carajás.

1.4.2 Objetivos específicos

- Avaliar os tipos de drenagem encontradas nas principais atividades e premissas para uma drenagem eficiente;
- Considerar a importância e contribuição da drenagem na segurança, manuseio dos produtos e impactos na cadeia mineral;
- Analisar os desafios atuais para o Sistema de Drenagem em Carajás.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTOQUES E PÁTIO DE ESTOCAGEM

De acordo com Chaves (2012), a formação de estoques de matérias primas, produto final e produtos intermediários na usina, e ao longo da cadeia produtiva mineral, são necessários devido a diversos motivos. Dentre eles, os citados a seguir.

- Reserva para época de chuvas, paradas previstas e/ou paradas emergenciais não programadas. Entre outros motivos, o autor cita a questão de acesso à mina quando, por condições do clima ou restrições geográficas, impedem que haja o fluxo contínuo de escoamentos do material.
- Necessidade de criar pulmão devido a diferentes regimes de turno de trabalho e capacidade de processamento.
- Esperar a chegada do meio de transporte (trem ou navio, por exemplo) para iniciar o embarque. A capacidade do meio de transporte também justifica a necessidade de estoques.
- Necessidade de homogeneizar o material de diversas frentes de lavra ou de diferentes minas, a fim de manter a qualidade do produto e evitar diferenças das especificações finais solicitadas pelo cliente.

Nas operações da mineração, a vazão de produção da usina e a oferta de trens pela ferrovia não é constante, motivo pelo qual existem os estoques dos pátios de estocagem. Sendo assim, são necessárias áreas de estocagem para conciliar estas diferenças.

Os pátios de estocagem lidam com diversas situações, como interrupções ocasionais e não esperadas da usina e da ferrovia, quebras em máquinas e transportadores de correia, desmoronamento de pilhas, entupimentos de chutes, rasgos de correias, restrições de vazão máxima nas correias, restrições de qualidade que impedem a expedição, flutuações e sazonalidades dos períodos chuvoso e seco, acidentes e restrições nas vias ferroviárias (restrições estruturais em pontes, por exemplo), quebra de trilhos, descarrilamentos, restrições de recebimento no porto, atrasos de ciclo dos trens, entre outras.

Também devem ser citadas as ocorrências sociais na estrada de ferro, como as paralisações envolvendo diversas manifestações, como do Movimento Sem Terra (MST), movimentos populares, indígenas e de trabalhadores ligados ou não à mineração.

Segundo Chaves (2012), a estocagem de material úmido gera problemas de manuseio durante o processo de empilhamento e recuperação. A maioria dos pátios não são cobertos, podendo sofrer intempéries como sol e chuva. O material estocado já úmido, que recebe uma carga de chuva, pode se tornar inseguro para o local e, também, aos processos subsequentes. Os minérios destinados à exportação têm especificações rígidas que exigem umidades cada vez menores, além dos riscos dos mesmos liberarem água durante o transporte em navios.

Chaves (2012) relata, ainda, que um dos possíveis problemas relacionados à estocagem em pilhas é a possível contaminação de águas superficiais e dos solos. Como regra de todo bom projeto de pátio estocagem, as águas de drenagem de um pátio devem ser conduzidas para um *sump* e passar em uma estação de tratamento. Deve-se ter cuidado em separar águas internas dos pátios e águas da drenagem externas; ambas não devem ir para o mesmo ponto a fim de não sobrecarregar o sistema de tratamento. As águas externas, consideradas livres de contaminantes, podem seguir cursos de água sem tratamento. Para o caso de minerais como o cobre e o urânio, que têm elementos tóxicos e que podem atingir lençóis freáticos e correntes subterrâneas, as bases das pilhas deverão ser impermeáveis e os sistemas de drenagem e canaletas deverão ter total eficiência.

De acordo com Ballou (2006), estoques são acumulações de matérias primas, suprimentos, componentes e produtos acabados. Normalmente, são áreas como pátios, chão de fábrica, equipamentos de transporte e armazéns.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), estoque é definido como a acumulação armazenada de recursos minerais de um sistema de transformação. Há diversos tipos de estoques relacionando o ciclo de transformação dos produtos: estoque de matérias primas, estoque de produtos semi-acabados e estoque de produtos acabados.

A prática da estocagem é comumente realizada de três maneiras: vagões, silos e em pilhas (CHAVES, 2012).

- Estocagem em vagões ferroviários: não é uma prática usual na mineração brasileira, mas comum nos Estados Unidos, principalmente com carvão para uso térmico, com os objetivos de reduzir custos, evitar degradação do material e geração de poeiras e sujeiras. Porém, a imobilização de capital é alta devido aos vagões e ramais ferroviários, ou seja, só se justifica esta prática por períodos curtos. O custo operacional é baixo e os efeitos do manuseio são bem reduzidos.
- Estocagem em silos: aplicável a quantidades moderadas para consumo de, no

máximo, alguns dias. No contexto da mineração seu uso é característico para estoques intermediários de material em processamento no beneficiamento.

- Estocagem em pilhas.

A blendagem² acontece com o objetivo de fornecer um material com especificações definidas pelos clientes. Os materiais de diferentes frentes são dosados em quantidades definidas, de modo a ter um produto cujas características sejam à média ponderada dos materiais das diversas frentes de lavra. Esta dosagem é o que se chama de blendagem. Na pilha, a composição média é dada pela blendagem, porém se uma amostra qualquer for retirada, certamente suas características serão diferentes da média. Por este motivo precisa ser feita a homogeneização dos lotes, que consiste em uma prática adotada na indústria da mineração.

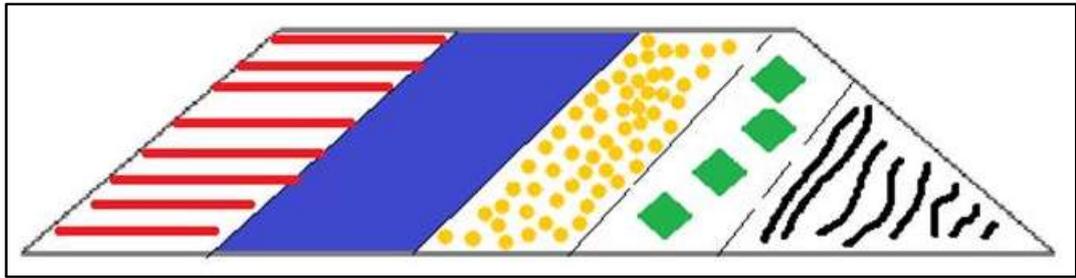
A blendagem na frente de lavra deve ser planejada, levando em consideração as quantidades diversas de diluentes e contaminantes ao longo do corpo mineral. Os planos de lavra devem ser elaborados considerando os diferentes parâmetros: físicos, químicos e metalúrgicos.

Uma prática usual é planejar a mina com número suficiente de frentes, buscando atender os padrões definidos e trabalhar construindo uma grande pilha de blendagem na própria mina ou junto à britagem primária. A alimentação da britagem será o resultado da blendagem dos diversos tipos de materiais das diferentes frentes da jazida mineral, nas proporções mais desejadas.

A homogeneização é feita através de pátios destinados a este fim, onde são construídas pilhas alongadas que, para cada material de diferente característica ou diferente frente, é distribuído ao longo da extensão da pilha. Os sucessivos materiais vão sendo depositados e distribuídos uns sobre os outros, em pilhas elementares unitárias e sobrepostas. Cada camada ou pilha elementar manterá suas características próprias, cada secção transversal, estatisticamente, terá as características da blendagem feita (CHAVES, 2012). O método de recuperação tem uma influência muito grande na homogeneização, ele deve ser definido buscando a mistura dos diferentes materiais durante a recuperação.

². Vem do verbo inglês *blend*, que significa misturar. Na extração de minérios, geralmente é utilizado o processo de blendagem, ou seja, a mistura de substâncias para a criação de produtos uniformes. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/10-palavras-mais-curiosas-da-mineracao.aspx#:~:text=9Blendagem&text=Vem%20do%20verbo%20ingl%C3%AAs%20blend,a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20produtos%20uniformes.>> Acesso em 23 out. 2020.

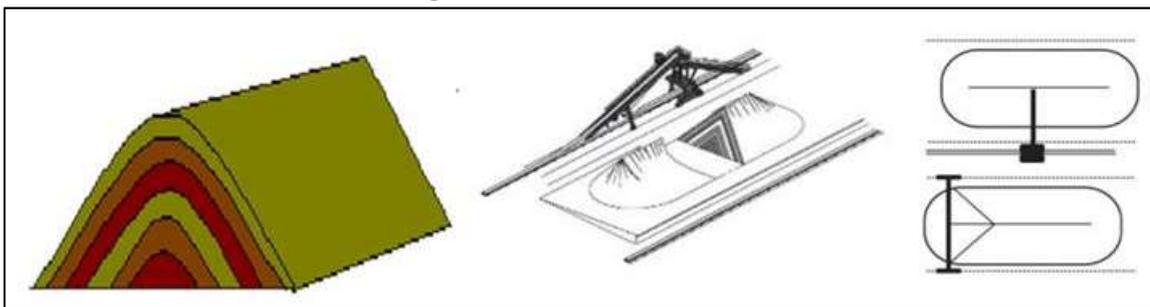
Figura 1 – Pilha de blendagem



Fonte: Adaptado de CHAVES (2012).

Oliveira (2020) cita o método Chevron de estocagem, que é indicado para estocagem de *sinter feed* e *pellet feed*, e explica que este método consiste no empilhamento de camadas elementares e sucessivas, alinhadas sobre o mesmo seguimento de reta, umas sobre as outras, na direção longitudinal da pilha, conforme Figura 2.

Figura 2 – Método Chevron



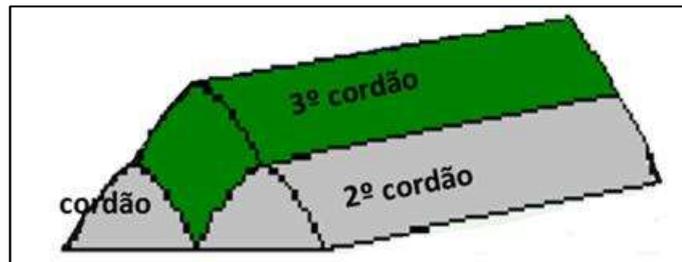
Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. (OLIVEIRA, 2020).

Oliveira (2020) detalha as principais vantagens e desvantagens do método Chevron. Entre as vantagens está a facilidade na identificação e descontaminação de impurezas durante o empilhamento, melhor homogeneidade dos lotes empilhados, especialmente para os últimos lotes da pilha. Operação mais simples do equipamento; a adição de material corretivo pode ser realizada a qualquer momento da formação da pilha e o método permite melhor escoamento da água proveniente do próprio material, da chuva e de aspersão.

As desvantagens do método Chevron é a segregação granulométrica: concentração de partículas grossas na base e partículas finas no topo da pilha, necessidade de o operador manter a ponta da empilhadeira sobre o mesmo cordão, podendo causar diferenças no volume dos dois lados da pilha; maior possibilidade de colapso da pilha, comprometendo a segurança e redução da área de estocagem

Oliveira (2020) explica que existe o método conhecido como Chevron modificado (observar Figura 3) que é indicado para estocagem de *sinter feed* e consiste na formação de dois cordões menores nas laterais da pilha no sentido longitudinal e um cordão central. Os cordões são formados por camadas elementares e sucessivas, alinhadas sobre o mesmo seguimento de reta, uma sobre as outras, na direção longitudinal da pilha. Os cordões favorecem a estabilidade da pilha e é um importante passo na formação da mesma.

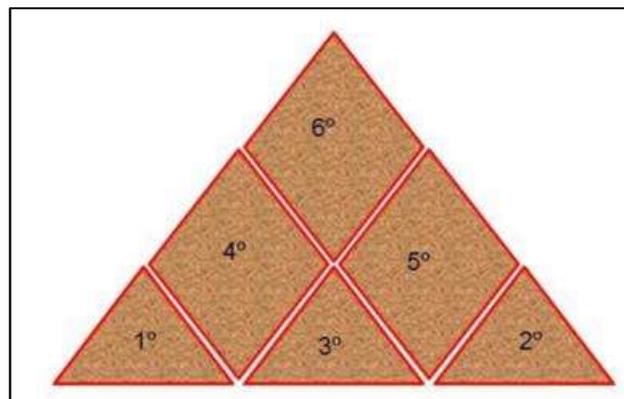
Figura 3 – Chevron Modificado



Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. (OLIVEIRA, 2020).

Oliveira (2020) cita outro método de estocagem, o Wildrow modificado, que é indicado para estocagem de *sinter* e consiste em formar três cordões na base da pilha lado a lado, e mais três empilhadas consecutivamente, de forma a completar a seção transversal triangular da pilha, conforme se pode observar na Figura 4.

Figura 4 – Método Windrow modificado



Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. (OLIVEIRA, 2020).

Oliveira (2020) comenta que as principais vantagens do método Wildrow modificado é a diminuição da variação granulométrica: as partículas grossas e finas do material ficam melhor distribuídas por toda a pilha (pilha com distribuição mais homogênea se

comparada aos outros métodos), melhor aproveitamento da área de empilhamento e possibilidade de construção da pilha no formato trapezoidal, otimizando a recuperação da mesma. Entre as desvantagens, o autor cita a dificuldade na identificação e a descontaminação de impurezas durante o empilhamento; a adição de corretivo deverá ser bem planejada durante o empilhamento, podendo causar grande variação de qualidade.

Outro método de empilhamento é o cone, que é o método indicado para estocagem de produtos como *pellet feed*, manganês e granulado, que consiste no empilhamento, com a lança parada, formando cones simples. As vantagens deste método é que o mesmo ocupa pouca área de estocagem, tem operação simples e de fácil identificação e descontaminação de impurezas durante o empilhamento. As desvantagens são que o método não possibilita a homogeneização dos materiais que compõem a pilha e a segregação granulométrica, concentrando partículas grossas na base e finas no topo da pilha (OLIVEIRA, 2020). Pode-se observar a formação do cone de produto na Figura 5.

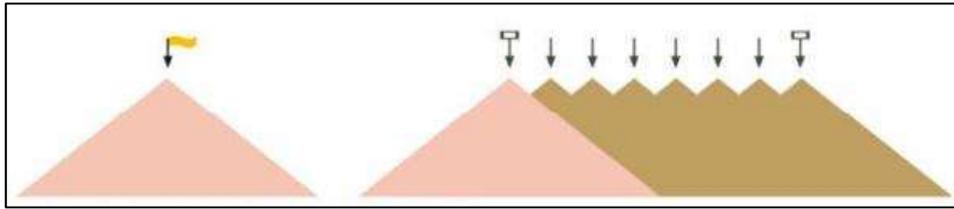
Figura 5 – Estocagem no método Cone



Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. (OLIVEIRA, 2020).

Uma evolução do método cone é o cone Shell ou Conevron, que é um método indicado para estocagem de *pellet feed*, manganês e granulado. Esse método é utilizado em casos em que a homogeneização não é necessária, ou seja, a pilha é formada pela estocagem do material em um único cone de posição fixa. Quando a pilha está cheia, a empilhadeira se move para uma nova posição e um novo cone é formado. Este processo continua na direção longitudinal da pilha até o estoque ser completado (OLIVEIRA, 2020). Pode-se observar o método Cone Shell na Figura 6.

Figura 6 – Estocagem método Cone Shell



Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. OLIVEIRA (2020).

As principais vantagens do método cone Shell são: por ter menor área exposta durante a sua construção, absorve menor quantidade de água da chuva, menor exigência da empilhadeira, isto é, menor quantidade de movimentos necessários para formação da pilha e fácil operacionalização e automação. As principais desvantagens são as mesmas do método cone.

Oliveira (2020) define que, para o período chuvoso, os métodos de empilhamento são mais restritivos devido ao risco de ocorrência de desmoronamentos de pilha. O controle da altura e teor de umidade das pilhas são fatores importantes para a formação das mesmas em período chuvoso. Visando a mitigação de riscos de danos à vida humana e materiais/ambientais, deve ser considerada a orientação da geotecnia para altura de pilha, onde o resultado é uma correlação da umidade (saturação) e fator de segurança da pilha. Neste período poderá ser adotado o empilhamento do tipo Chevron, Chevron modificado, Cone ou Cone Shell, de acordo com cada produto.

2.2 MANUSEIO DE MATERIAIS

Segundo Chaves (2012), ao manuseio dos materiais na mineração são associados três principais problemas, os quais devem ser trabalhados, buscando a minimização de seus efeitos. São eles:

- Pó/poeira: afeta o meio ambiente, o homem (funcionários e vizinhança) e qualidade do produto (as partículas arrastadas podem apresentar composição química diferente da média do estoque) e também influencia negativamente o desempenho de equipamentos e a vida útil dos mesmos;
- Contaminação de águas superficiais: a contaminação das águas pode estar associada a poeiras, óleos, graxas e outros produtos. Todas as águas de drenagem das áreas de pátios devem ser conduzidas para um *sump*, de onde serão

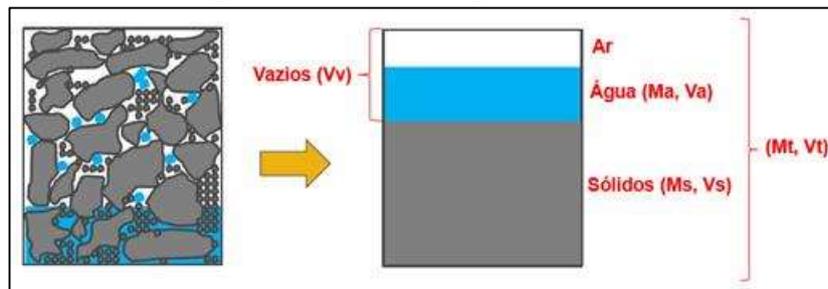
bombeadas até uma estação de tratamento;

- Contaminação de águas subterrâneas: metais solúveis, como o cobre ou urânio, exigem planejamento e ações preventivas especiais, de modo a não permitir que soluções de seus sais atinjam as correntes subterrâneas.

Uma pilha de minério é considerada um sistema trifásico:

- Sólidas: partículas minerais, principalmente hematita (Fe_2O_3), outros minerais de Fe e ganga (principalmente quartzo – SiO_2);
- Líquido: água. A umidade reflete a quantidade de água com relação à massa total;
- Gás: ar entre as partículas, nos vazios não preenchidos por água.

Figura 7 – Sistema de pilha de minério



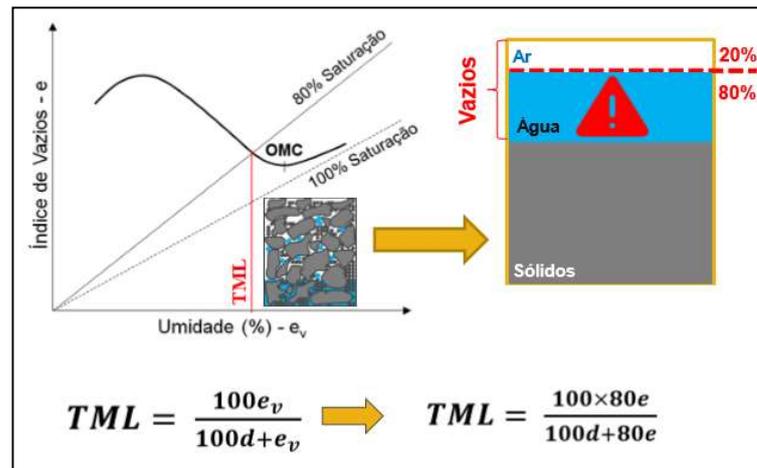
Fonte: Material Interno (Vale S.A.).

Conceitos e cálculos importantes:

- Umidade Volumétrica Base Seca: $ev = (Va/Vs) * 100\%$
- Índice de Vazios: $e = Vv/Vs$
- Grau de Saturação: $S = ev/e (\%)$
- O grau de saturação corresponde ao percentual do volume de vazios preenchidos por água.
- Umidade em Massa Base Úmida: $w = Ma/Mt * 100\% (\%)$
- O TML é expresso em umidade em massa base úmida, em %.

O Limite de Umidade Transportável (TML) corresponde à umidade em massa base úmida abaixo da qual uma carga mineral pode ser transportada com segurança por via marítima

Figura 8 – TML – Limite de Umidade Transportável



Fonte: Material Interno Vale S.A.

O TML de alguns minérios pode ser potencializado pela presença de partículas extremamente higroscópicas de elevada porosidade. Os poros e micro-poros conectados aumentam o volume de vazios disponíveis para comportar a água.

2.3 DRENAGEM

O pátio de estocagem tem, como uma de suas funções, a de garantir a residência temporária de produtos permitindo que eles drenem e percam umidade. De acordo com o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT) (2006), a drenagem tem como função principal eliminar a água de um local, conduzindo-a de forma segura para outro local fim. Projetos eficientes de drenagem são de suma importância para o desempenho estrutural e garantia da vida útil.

Os sistemas de drenagem são classificados em dois grandes grupos: drenagem superficial e drenagem de profunda. Esta classificação é baseada a partir da localização dos drenos.

2.3.1 Drenagem superficial

A drenagem é considerada superficial quando os drenos estão na superfície e os mesmos são responsáveis pela condução da água do escoamento superficial. O mesmo autor afirma que é comum a utilização de drenagens superficiais em rodovias, aterros sanitários, em taludes e cristas, e na drenagem urbana. Existem vários dispositivos de drenagem que compõem

o sistema de drenagem e, conforme sua finalidade, podem ou não serem aplicados. Segundo o DNIT (2006), os principais dispositivos da drenagem superficial são: valetas, sarjetas, bueiros, descidas d'água e manilhas. Podem ser usados em conjunto para a finalidade e alcance de sucesso no sistema de drenagem.

Segundo o DNIT (2004), as sarjetas são dispositivos de drenagem longitudinal, construídas lateralmente às pistas de rolamento e às plataformas dos escalonamentos, destinadas a interceptar os deflúvios que, escoando pelo talude ou terrenos marginais, podem comprometer a estabilidade dos taludes, a integridade dos pavimentos e a segurança do tráfego; geralmente têm, por razões de segurança, a forma triangular ou retangular.

Segundo o DNIT (2004), ocorrem diversos tipos de sarjetas com diferentes aplicações e objetivos. Existem as sarjetas de corte, que têm como objetivo captar as águas que se precipitam sobre a plataforma e taludes de corte, e conduzi-las, longitudinalmente, à rodovia ou outro, até o ponto de transição entre o corte e o aterro, de forma a permitir a saída lateral para o terreno natural ou para a valeta de aterro ou, então, para a caixa coletora de um bueiro de greide³.

As sarjetas devem localizar-se em todos os cortes, sendo construídas à margem dos acostamentos, terminando em pontos de saída convenientes (pontos de passagem de corte para aterro ou caixas coletoras).

Há as sarjetas de aterro que captam as águas precipitadas sobre a plataforma, de modo a impedir que provoquem erosões na borda do acostamento e/ou no talude do aterro, conduzindo-as a local de deságue seguro. As sarjetas de aterro são indicadas nas seguintes situações: trechos com velocidade de água que podem provocar erosão nas bordas da plataforma; trechos onde, em conjunto com a terraplenagem, for mais econômica a utilização da sarjeta, aumentando com isso a altura necessária para o primeiro escalonamento de aterro; – interseções, para coletar e conduzir as águas provenientes dos ramos, ilhas etc. (DNIT, 2006).

Segundo o DNIT (2006) os materiais indicados para a construção destes dispositivos são diversos: concreto de cimento, concreto betuminoso, solo betume, solo cimento e solo.

Outros dispositivos que podem ser usados são as valetas, que são localizados nas cristas de cortes ou pés de aterro, com a mesma finalidade das sarjetas, mas que, por escoarem maiores deflúvios ou em razão de suas características construtivas, têm em geral a forma

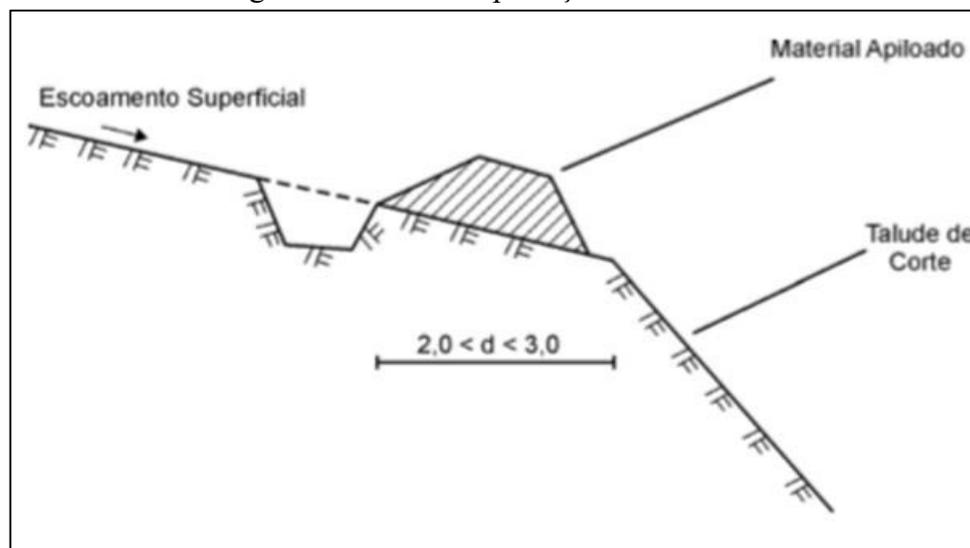
³ Aquele destinado a conduzir para o local de deságue seguro, fora do corpo estradal, as águas coletadas por dispositivos de drenagem superficial.

trapezoidal ou retangular. Segundo o DNIT (2004), estes dispositivos podem ou não ser revestidos. Quando revestidos, podem ser feitos de concreto e usada a resistência característica à compressão mínima ($f_{ck;min}$), aos 28 dias, de 15Mpa ou podem ter revestimento de vegetal. Quando não revestidos são indicados para locais com moderadas precipitações, devendo ser utilizados materiais resistentes à erosão e deve ser feito uso de declividade para ajudar o escoamento.

O DNIT (2004) faz uma série de recomendações quando forem aplicados estes dispositivos como, por exemplo, nos pontos de deságue deverão ser executadas obras de proteção, a fim de impedir a erosão das vertentes ou assoreamento de cursos d'água.

Conforme o DNIT (2002), as valetas de proteção de cortes têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante, impedindo-as de atingir o talude de corte. Estas serão construídas em todos os trechos em corte, onde o escoamento superficial proveniente dos terrenos adjacentes possa atingir o talude. Deverão ser localizadas proximamente paralelas às cristas dos cortes, a uma distância entre 2,0 a 3,0 metros. O material resultante da escavação deve ser colocado entre a valeta e a crista do corte e apilado manualmente, conforme indicado na Figura 9 – Valeta de proteção de corte.

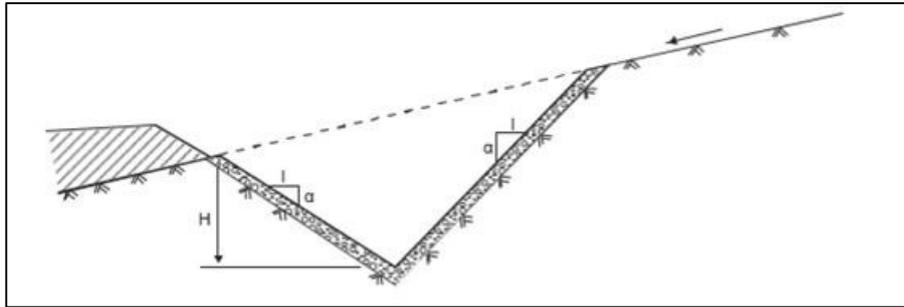
Figura 9 – Valeta de proteção de corte



Fonte: DNIT, 2002.

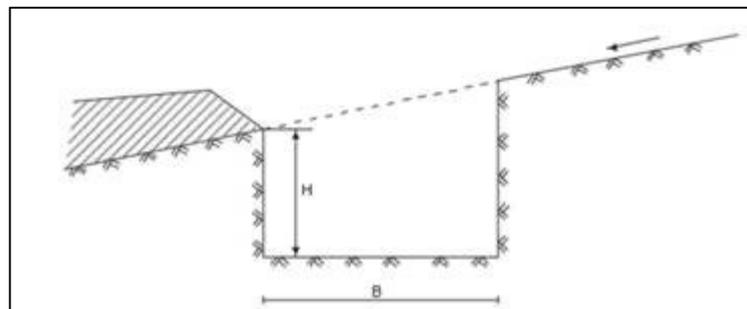
As geometrias das valetas mais utilizadas são a triangular, retangular e a trapezoidal, como demonstrado nas Figuras 10, 11, 12 e 13, a seguir.

Figura 10 – Valeta triangular



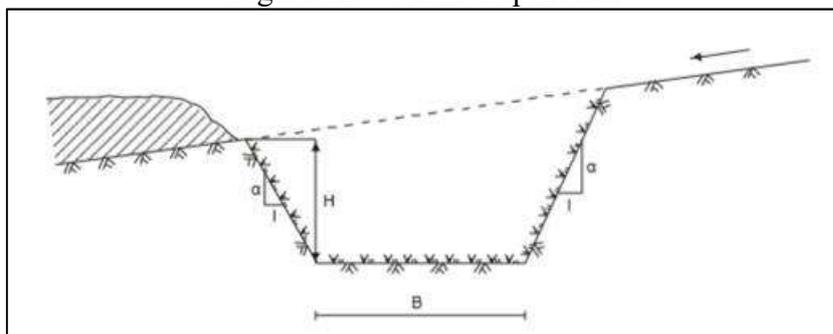
Fonte: DNIT, 2002.

Figura 11 – Valeta retangular



Fonte: DNIT, 2002.

Figura 12 – Valeta trapezoidal



Fonte: DNIT, 2002.

Quanto à aplicação das diferentes geometrias, as seções triangulares criam plano preferencial de escoamento d'água, assim não recomendadas para grandes vazões. Por motivo de facilidade de execução, a seção a adotar nos cortes em rocha deverá ser retangular. As valetas com forma trapezoidal são mais recomendáveis, por apresentarem maior eficiência hidráulica.

Outro dispositivo de drenagem superficial são as quedas d'água, que têm como função captar água de outros dispositivos de drenagem (como os taludes de corte e aterros, e

direcionar (DNIT, 2006).

Segundo o DNIT (2006), em relação aos taludes de cortes, as descidas d'água têm como objetivo principal conduzir as águas das valetas quando atingem seu comprimento crítico ou de pequenos talvegues, desaguando numa caixa coletora ou na sarjeta de corte. Em relação às sarjetas de aterro, as descidas d'água conduzem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico e, nos pontos baixos, através das saídas d'água, desaguando no terreno natural. As descidas d'água também atendem, no caso de cortes e aterros, às valetas de banquetas quando é atingido seu comprimento crítico e em pontos baixos.

As descidas d'água podem ser de dois tipos: rápido ou em degraus. A definição será em função da velocidade limite do escoamento para que não provoque erosão, das características geotécnicas dos taludes, do terreno natural, da necessidade da quebra de energia do fluxo d'água e dos dispositivos de amortecimento na saída (DNIT, 2006a). Também deve ser feita a análise técnica e econômica destes conjunto de fatores para definir por um ou outro.

Outros dispositivos que o DNIT (2006) cita são as caixas que se classificam em três tipos: caixas coletoras, caixas de passagem e caixas de inspeção. As caixas coletoras têm a função de coletar as águas das sarjetas e aquelas que se destinam a bueiros, coletar as águas a montante de bueiros, possibilitar mudanças de dimensões de bueiros, coletar águas de descida d'água e conduzindo para um deságue seguro. As caixas de inspeção permitem a inspeção dos condutos que por elas passam, verificando sua funcionalidade e eficiência. As caixas de passagem permitem a possibilidade de mudanças de dimensão de bueiros, de sua declividade e direção, ou ainda quando a um mesmo local concorre mais de um bueiro.

Alguns parâmetros devem ser considerados nos projetos de drenagem como, por exemplo, o coeficiente de escoamento dos materiais que representam a vazão do volume que escoar por determinado material e o volume precipitado. A seguir é exibido o Quadro 1, apresentado pelo DNIT (2006), com os tipos de superfícies e os coeficientes de escoamento considerados.

Quadro 1 - Características da superfície e coeficiente de escoamento

Características da superfície	Coeficiente de escoamento
Revestimento de concreto de cimento portland	0,70 – 0,90
Revestimento betuminoso	0,80 – 0,95
Revestimento primário	0,40 – 0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40 – 0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10 – 0,30
Taludes gramados	0,50 – 0,70
Prados e campinas	0,10 – 0,40
Áreas florestais	0,10 – 0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15 – 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 – 0,30

Fonte: DNIT (2006).

Outro fator importante é a condutividade hidráulica dos materiais, também conhecida com coeficiente de permeabilidade. O francês Darcy, em 1856, definiu a equação de permeabilidade que ficou conhecida como equação da Lei de Darcy, que A considera que a velocidade de percolação da água através de solos saturados e é diretamente proporcional ao seu coeficiente de permeabilidade e ao gradiente hidráulico. A seguir a Equação 1 que mostra a fórmula da equação, onde v é velocidade de percolação, K é coeficiente de permeabilidade e i gradiente hidráulico.

Equação da Lei de Darcy

Equação 1

$$v = Ki$$

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 3 – Materiais, granulometria e permeabilidade

Tipo de material	Granulometria (cm)	K (cm/s)
Brita 5	7,5 a 10,0	100
Brita 4	5,0 a 7,5	80
Brita 3	1,5 a 5,0	45
Brita 2	2,0 a 2,5	25
Brita 1	1,0 a 2,0	15
Brita 0	0,5 a 1,0	5
Areia Grossa	0,2 a 0,5	1×10^{-1}
Areia Fina	0,005 a 0,04	1×10^{-3}
Silte	0,0005 a 0,005	1×10^{-5}
Argila	Menor que 0,0005	1×10^{-8}

Fonte: DNIT (2006).

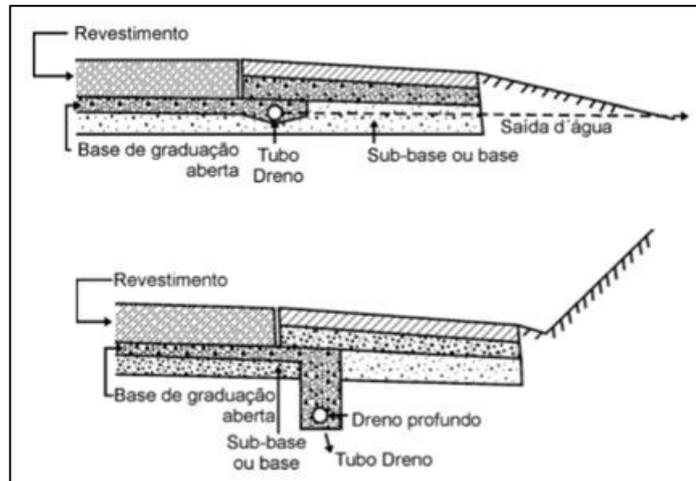
O DNIT (2006) cita diversos conceitos importantes no contexto de drenagem. O resumo dos mesmos é apresentado a seguir.

- Camada drenante: é uma camada de material granular, com granulometria apropriada colocada logo abaixo do revestimento, seja ele asfáltico ou de concreto de cimento, com a finalidade de drenar as águas infiltradas para fora.
- Drenos rasos longitudinais: são drenos que recebem as águas escoadas pela camada drenante, aliviadas pelos drenos laterais e transversais que recebem as águas por ele transportadas, quando atingida sua capacidade de vazão, conduzindo-as para fora
- Drenos laterais de base: são drenos que têm a função de recolher as águas que se infiltram na camada de base
- Drenos transversais: são os drenos posicionados transversalmente e em toda a largura, sendo, usualmente, indicada sua localização nos pontos baixos das curvas côncavas, ou em outros locais onde se necessitar drenar as bases permeáveis

Observa-se na Figura 13 o esquema das bases drenantes, que se localiza entre o revestimento e a base e se estendem até os drenos rasos longitudinais ou as bordas livres. Nesta Figura é possível ver a posição em que são colocadas, em relação aos demais elementos do

pavimento, sendo que a segunda é utilizada nos casos em que é possível conectar com os drenos profundos, caso existentes. De forma geral, os materiais usados nas bases drenantes são agregados de rocha sadia, britados ou não.

Figura 13 – Camada drenante ligando ao dreno profundo (Esquema das bases drenantes)



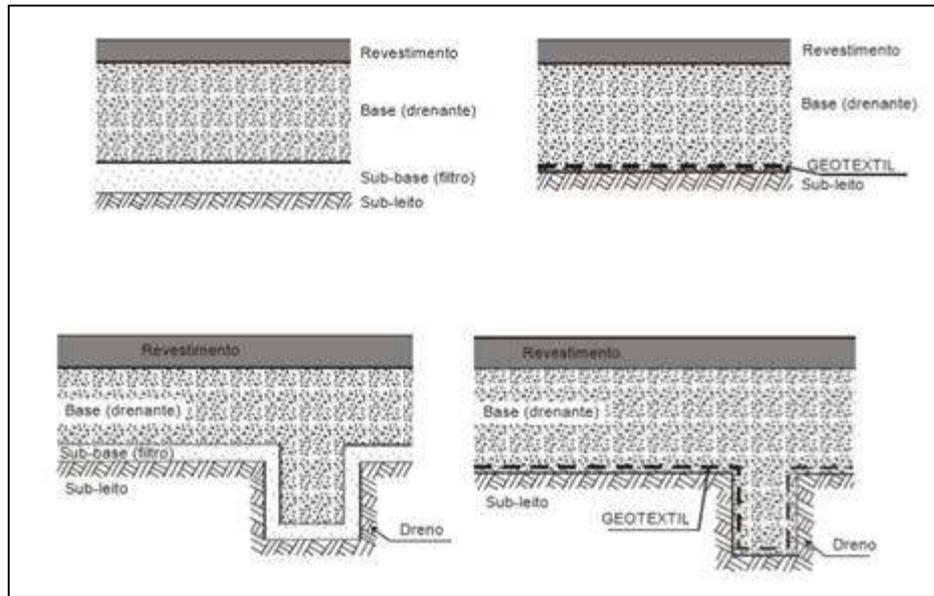
Fonte: DNIT (2006).

O DNIT (2006) alerta que a presença de materiais finos nos agregados reduz sobremodo sua condutividade hidráulica (percolação), podendo deixar o sistema ineficiente. Para casos de subleitos argilosos deve-se contemplar uma base de valor estrutural sob a base drenante, protegendo de materiais finos que possam obstruir os poros da camada escoada.

Devem ser calculadas, de forma adequada, as granulometrias ideais para cada etapa (entre a base, as sub-bases e os subleitos) intercalando materiais que constituam em filtro-separador, evitando a mistura que comprometa a eficiência da drenagem. O mesmo deve ser adotado para espaços entre os drenos rasos longitudinais, drenos laterais de base e drenos transversais, que envolvam contatos com seu material de enchimento e materiais de granulometrias diferentes (DNIT, 2006). Se usados geotêxteis quando instalados entre camadas estruturais sujeitas a carga de tráfego, deve-se balizar sua escolha na resistência mecânica do tecido. O dimensionamento da base drenante e dos drenos não providos de condutos são baseados na Lei de Darcy.

Observar a Figura 14 como exemplo de disposição do sistema de drenagem para asfalto.

Figura 14 – Esquema de filtro drenante e camadas para pavimento



Fonte: DNIT (2006).

Segundo o DNIT (2006), os problemas mais comuns no projeto das bases drenantes exigem dois tipos de soluções:

- Fixado o tipo de material drenante pela sua granulometria e respectivo coeficiente de condutividade hidráulica, calcular a espessura (altura) da base drenante para a descarga considerada;
- Fixada a espessura da camada drenante, determinar um material com granulometria que garanta um coeficiente de condutividade capaz de permitir a vazão considerada.

2.3.2 Drenagem subterrânea ou profunda

É a drenagem abaixo da superfície. A drenagem profunda tem como principal objetivo drenar a água em excesso do terreno e fazer sua correta destinação.

É utilizada em várias aplicações como fundação de edificações, fundação de barragens, fundação em ponte, em obras gerais de infraestrutura com rede de esgoto e água. O DNIT (2006b) lista os principais tipos de drenagem de profunda que são: drenos espinha de peixe, colchão drenante, drenos verticais de areais, drenos horizontais e drenos profundos

Segundo o DNIT (2006), os projetos de drenagem subterrânea devem considerar o estudo topográfico e do terreno, estudo da pluviometria, observações geológicas e pedológicas (sondagem a trado, percussão entre outros).

Os principais dispositivos aplicados na drenagem profunda são:

- Drenos profundos;
- Drenos espinha de peixe;
- Colchão drenante;
- Drenos horizontais profundos;
- Valetões laterais;
- Drenos verticais de areia.

2.3.2.1 Drenos profundos

Segundo o DNIT (2006), os drenos profundos têm por objetivo interceptar o fluxo da água subterrânea através do rebaixamento do lençol freático, impedindo-o de atingir o subleito. Os drenos profundos são instalados, preferencialmente, em profundidades da ordem de 1,50 a 2,00 m, tendo por finalidade captar e aliviar o lençol freático. Se utilizados, sua instalação deve ser nos trechos em corte e áreas saturadas ao pé de taludes. Os drenos profundos são constituídos por vala, materiais drenante e filtrante, podendo apresentar tubos-dreno, juntas, caixas de inspeção e estruturas de deságue.

Segundo o DNIT (2006), no caso de drenos com tubos podem ser utilizados envoltórios drenantes ou filtrantes, constituídos de materiais naturais ou sintéticos. Os materiais empregados nos drenos profundos diferenciam-se de acordo com as suas funções, a saber:

- Materiais filtrantes: areia, agregados britados, geotêxtil, etc.
- Materiais drenantes: britas, cascalho grosso lavado, etc.
- Materiais condutores: tubos de concreto (porosos ou perfurados), cerâmicos (perfurados), de fibro-cimento, de materiais plásticos (corrugados, flexíveis perfurados, ranhurados) e metálicos.

Há casos em que não são colocados tubos no interior dos drenos. Nestes casos, eles são chamados de "drenos cegos".

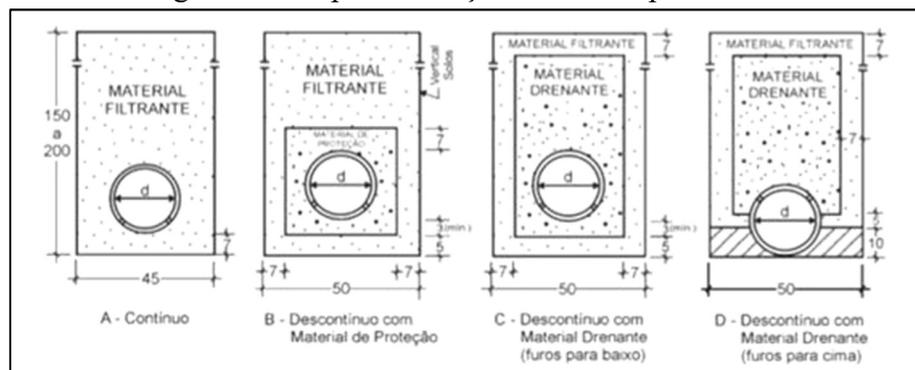
Os drenos profundos devem ser instalados nos locais onde haja necessidade de interceptar e rebaixar o lençol freático, geralmente nas proximidades dos acostamentos. Nos trechos em corte, recomenda-se que sejam instalados, no mínimo, a 1,50 m do pé dos taludes, para evitar futuros problemas de instabilidade (DNIT, 2006).

Podem também ser instalados sob os aterros, quando ocorrer a possibilidade de

aparecimento de água livre, bem como quando forem encontradas camadas permeáveis sobrepostas a outras impermeáveis, mesmo sem a presença de água na ocasião da pesquisa do lençol freático (DNIT, 2006).

Para caso de valas, elas podem ser abertas de forma manual ou mecânica, com material de preenchimento filtrante ou drenante; conforme a necessidade deverá ser aplicado um ou outro. A função do material filtrante é a de permitir o escoamento da água sem carrear finos e, conseqüentemente, evitar a colmatação do dreno. A função do material drenante é a de captar e ao mesmo tempo conduzir as águas a serem drenadas, devendo apresentar uma granulometria adequada à vazão escoada. Em respeito aos materiais a serem utilizados, poderão ser materiais naturais com granulometria apropriada ou geotêxteis (DNIT, 2006). Observe a Figura 15, que apresenta o esquema do dreno com furos para baixa e camadas de material filtrante e drenante.

Figura 15 – Tipos de secção de drenos profundo



Fonte: Manual de Drenagem, DNIT (2006).

Segundo o DNIT (2006), há casos em que, com o uso de tubos, pode-se utilizar apenas o material drenante, com a finalidade de aumentar o raio hidráulico na interface solo-envelope, direcionando o fluxo da água do solo para o tubo, com a função de captação ou de envoltório pois, à medida que se aumenta o raio hidráulico do dreno, reduz-se a possibilidade de arraste de finos do solo, reduzindo a colmatação.

Os tubos, quando empregados, podem ser de concreto, de cerâmica, de plástico rígido ou flexível corrugado, e metálicos. Os diâmetros dos tubos comerciais variam de 10 a 15 cm. Caso necessário, poderão ser perfurados, no canteiro de obras, tubos de diâmetros maiores.

Na aplicação, em casos especiais de terrenos altamente porosos ou rochas com fendas amplas, os tubos deverão ser instalados com os furos voltados para cima. A posição dos furos voltados para cima exige que se encha a base da vala do dreno com material impermeável

até a altura dos furos iniciais, e na outra condição deve-se colocar filtro como material de proteção no fundo da vala. No caso de tubos plásticos corrugados flexíveis, por disporem de orifícios em todo o perímetro, não há necessidade de direcionar as aberturas de entrada d'água (DNIT, 2006).

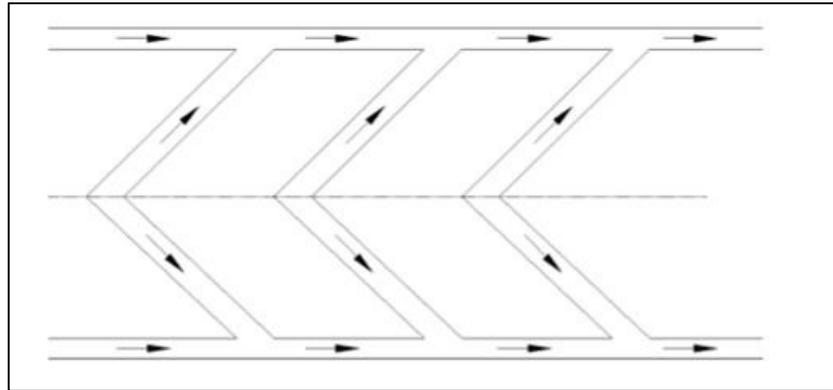
Um importante artifício na aplicação de dreno de fundo é o uso do envelope, quando todo o material colocado entre o tubo de um dreno e o solo tem o objetivo de proporcionar uma redução do gradiente hidráulico nas proximidades do tubo, com a consequente redução da velocidade do fluxo nos poros do solo. A diminuição da velocidade faz com que o carreamento de partículas para o interior do tubo seja pequeno ou, praticamente, nulo.

O envelope deve ter a função de permitir, pela sua permeabilidade, o movimento da água do solo para o dreno. Um envelope convenientemente selecionado impede que haja a liberação de partículas do solo e o consequente carreamento das mesmas para o tubo (DNIT, 2006). Temos alguns exemplos de envelopes, em que são utilizados cascalho, brita ou areia grossa lavada, livre de matéria orgânica e argila. Também pode ser usando com o envelope material sintético (geotêxtil) ou orgânico natural (fibra de coco, palha etc.). A escolha do tipo de envelope depende de vários fatores, tais como: disponibilidade de material apropriado, condições climáticas e tipos de solos (DNIT, 2006).

2.3.2.2 Espinha de Peixe

Outro dispositivo muito aplicado na drenagem profunda são drenos tipo espinha de peixe, que pode ser observado na Figura 16, apresentada a seguir.

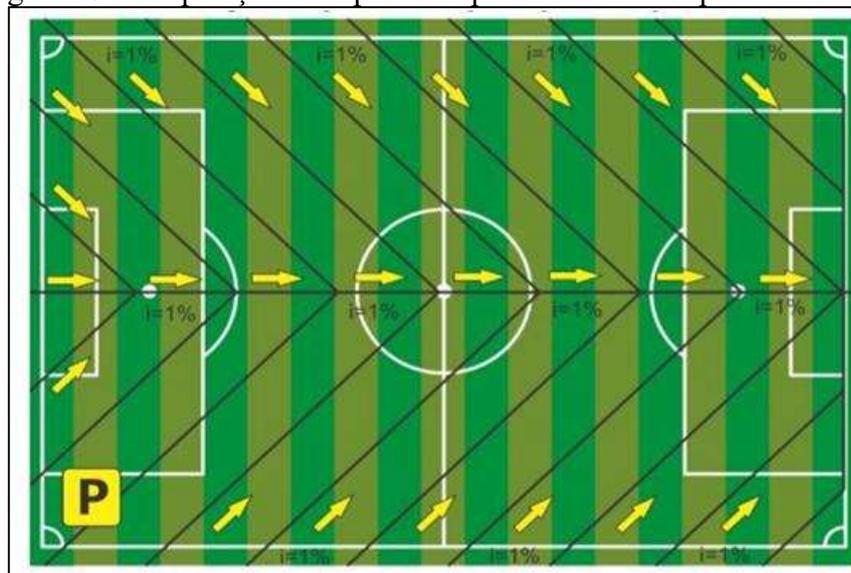
Figura 16 – Drenos espinha de peixe



Fonte: Manual de Drenagem (DNIT, 2006).

Os drenos espinha de peixe são indicados para drenagem de grandes áreas, como aterros sanitários, plantações, campos de futebol. A Figura 17 apresenta a aplicação de dreno tipo espinha de peixe em um campo de futebol (ROSSI, 2019).

Figura 17 – Disposição de espinha de peixe em um campo de futebol

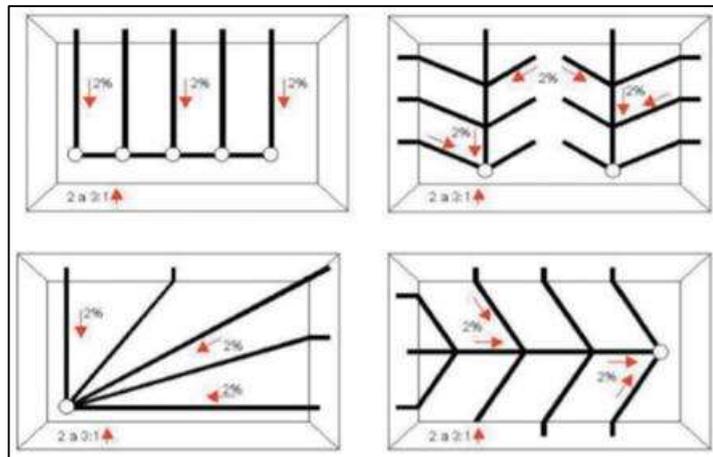


Fonte: ROSSI (2019, p. 18).

A função principal do dreno tipo espinha de peixe é captar águas pluviais, geralmente são instalados a pequenas profundidades (até 50 cm). Mas podem ser empregados para rebaixamento de lençóis freáticos ou outras aplicações que necessitem ser mais profundas. Normalmente são usados em série (várias espinhas de peixe) e em sentido oblíquo em relação ao eixo longitudinal da área a drenar. Os dispositivos tipo espinha de peixe utilizam artifícios de drenagem com valas de baixa profundidade, materiais filtrantes, materiais drenantes, tubos-

drenos e estruturas de deságue (DNIT, 2006).

Figura 18 - Diferentes layouts espinha de peixe



Fonte: VERTEMATTI J.C. in ROSSI, 2019, p. 17.

Alguns aspectos devem ser considerados nos projetos de drenagem, como a manutenção do sistema, limpeza, vida útil, proteção dos drenos e outros. A técnica utilizada para espinha de peixe se assemelha às que são utilizadas nos drenos profundos. Existem vários tipos de layouts dos drenos do tipo espinha de peixe, os quais têm que tem por objetivo principal conduzir a água dos sub ramais (espinhas ou braços) para o ramo principal, que deverá conduzir até o final. Devem ser considerados: inclinação, velocidade de escoamento e outros segundo critérios de projeto (DNIT, 2006).

2.3.2.3 Colchão drenante

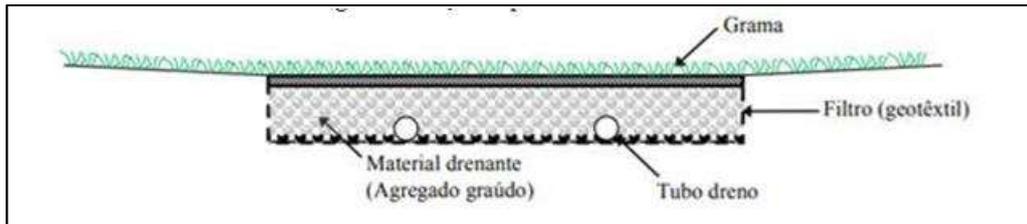
Além do dreno profundo – do dreno espinha de peixe – outro dispositivo de drenagem profunda bastante aplicado é o colchão drenante. Com diferentes camadas drenantes, tem como objetivo drenar (enxugar) as águas situadas a pequena profundidade e que o volume não possa ser drenado pelos drenos tipo "espinha de peixe". A remoção das águas coletadas pelos colchões drenantes deverá ser feita por drenos longitudinais (DNIT, 2006).

De acordo com Farias (2019), a principal diferença entre a espinha de peixe e o colchão drenante, é que o segundo não é recomendado para áreas muito grandes mas, em contrapartida, sua capacidade de drenagem é bem superior, conseguindo captar e conduzir grandes volumes de uma vez só.

A técnica do colchão drenante resume-se na instalação de uma camada uniforme de

material drenante em toda a área, formando como um colchão de brita no terreno. A camada drenante é envolta por uma camada filtrante, que pode ser de geotêxtilis ou materiais granulares (areia), convenientemente dispostos sobre o terreno. Entre os elementos drenantes são instalados tubos-drenos, que irão conduzir as águas para uma correta destinação. A Figura 19 apresenta o esquema-resumo do colchão drenante.

Figura 19 – Esquema-resumo do colchão drenante



Fonte: Confeção de colchão drenante como estruturas superficiais de infiltração utilizando garrafa PET (2014).

Para o dimensionamento do colchão drenante, como se trata, ainda, de meio poroso, há necessidade de determinar: o volume de água a ser escoado pelas camadas, o gradiente hidráulico do fluxo ou considerar declividade e, além dessas determinações, há necessidade de pesquisa no campo para obtenção do material drenante e filtrante, cujas granulometrias deverão obedecer aos critérios de literatura técnica especializada. Os coeficientes de permeabilidade das camadas deverão atender às necessidades da vazão (DNIT, 2006). Para o cálculo da espessura das camadas deve ser usada a equação da lei de Darcy.

Tabela 4 – Granulometria para dreno e colchão drenante

Peneiras		% em peso passando	
Nº	Diâmetro (mm)	Drenos	Tapete drenante
1/2"	12,70	90 a 100	-
3/8"	9,52	-	50 a 100
8	0,093	25 a 100	5 a 50
30	0,022	5 a 50	0 a 20
50	0,011	0 a 20	0 a 5
100	0,006	0 a 3	-

Fonte: Manual de Drenagem (DNIT, 2006).

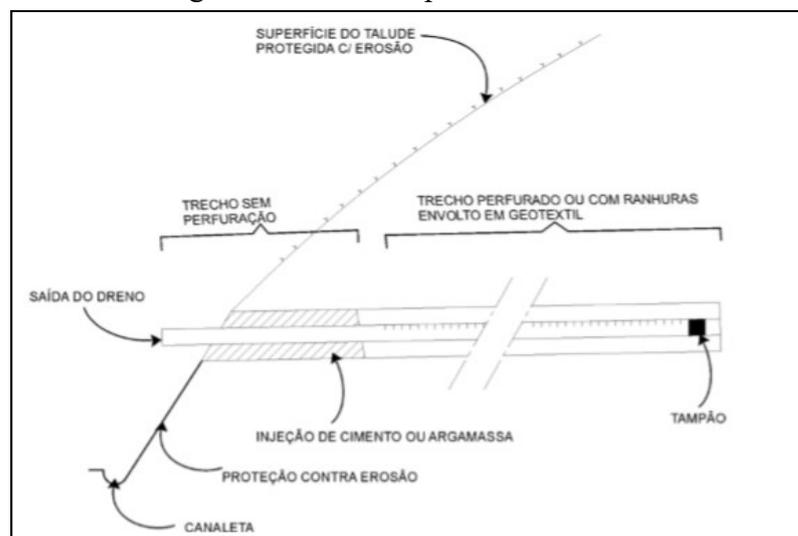
Segundo o DNIT (2006), os materiais granulares dos colchões drenantes devem ser protegidos por filtros granulares ou geotêxteis, a fim de impedir a penetração de partículas finas do solo em seu interior, e consequente diminuição de sua capacidade de condução de água. A escolha das granulometrias de material drenante e filtrante deverá obedecer aos critérios de Terzaghi ou Soil Conservation Service e, no caso de uso de geotêxteis, aos do Comitê Francês de geotêxteis e geomembranas.

2.3.2.4 Dreno Sub-Horizontais

Os drenos sub-horizontais são formados por tubos providos de ranhuras ou orifícios na sua parte superior, introduzidos em perfurações executadas na parede do talude, com inclinação próxima à horizontal. Esta técnica é muito usada para drenagem em taludes. Estes drenos devem ser utilizados para a prevenção e correção de escorregamentos, nos quais a causa determinante da instabilidade é a elevação do lençol freático ou do nível piezométrico de lençóis confinados. No caso de escorregamentos de grandes proporções, geralmente trata-se da única solução econômica a se recorrer (DNIT, 2006).

A Figura 20 apresenta um dreno típico sub-horizonta. Os tubos drenam a água do lençol ou lençóis, aliviando a pressão nos poros. Considera-se mais importante o alívio da pressão à mudança da direção do fluxo d'água, orientando-se assim a percolação para uma direção que contribua para o aumento da estabilidade (DNIT, 2006).

Figura 20 – Dreno típico horizontal



Fonte: Manual de Drenagem (DNIT, 2006).

São necessárias sondagens no maciço e estudos antes de se adotar drenos horizontais como solução. Deve-se avaliar o tipo de rocha, permeabilidade e o escorregamento. Algumas considerações importantes: para o mesmo comprimento total de drenos instalados, drenos longos mais espaçados são mais eficientes no que se refere a aumento de fator de segurança do que drenos mais curtos, com espaçamento menor. Quanto mais suave o talude, maior o comprimento necessário dos drenos. Taludes argilosos e compressíveis, saturados, também podem beneficiar-se dos efeitos promovidos pelos drenos sub-horizontais (DNIT, 2006).

Os tubos para os drenos sub-horizontais podem ser metálicos ou plásticos, como Polietileno de Alta Densidade (PEAD) rígido com as dimensões indicadas no projeto, não devendo apresentar fraturas, e comprimentos da ordem de até 40 metros. Acima deste comprimento poderá ser necessário o emprego de material mais resistente como, por exemplo, o ferro galvanizado ou inoxidável (DNIT, 2006).

2.3.2.5 Geotêxtil

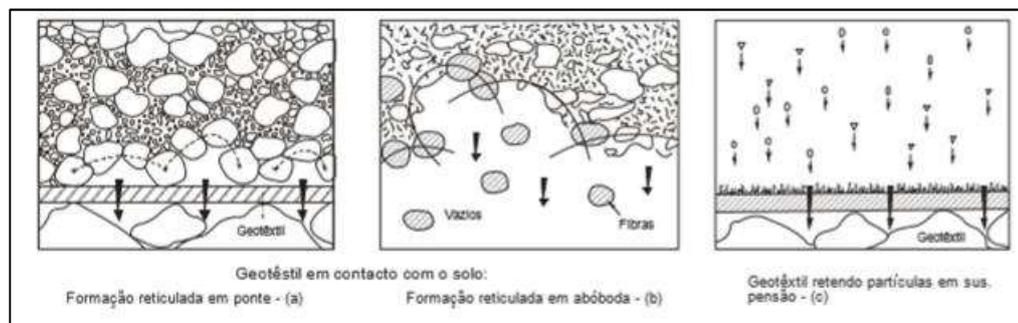
Os geotêxteis são materiais têxteis permeáveis com aplicação em obras ou estruturas geotécnicas. Estes materiais são estudados e submetidos a alguns ensaios, os quais simulam situações reais e que fornecem resultados que possam ser usados no dimensionamento ou, pelo menos, que possam servir de subsídios para a seleção do produto mais adequado na situação de obra. Esta situação de obra pode estar ligada ao desempenho do geotêxtil ou às suas condições de instalação, e que muitas vezes definem também o desempenho da drenagem (DNIT, 2006).

As principais características estudadas no geotêxtil são: físicas, mecânicas, hidráulicas e durabilidade. A função de um geotêxtil é tudo aquilo que se espera que o mesmo desempenhe na estrutura pertencente à obra; comumente, as cinco funções mais esperadas são: filtrar, separar, reforçar, proteger e drenar. E na aplicação dos mesmos podem ser exploradas várias funções específicas, dependendo do objetivo.

O DNIT (2006) descreve as funções do geotêxtil. A função filtro é percebida quando o mesmo é instalado entre um solo e um meio drenante; o geotêxtil permite a livre passagem da água, ao mesmo tempo que retém as partículas do solo necessárias à sua estabilização. A função separação de um geotêxtil: quando instalado entre dois materiais de granulometrias diferentes, o geotêxtil impede que estes se misturem, mantendo cada qual suas

características, ao mesmo tempo em que permite a livre passagem da água nos dois sentidos, evitando subpressões. Já a função reforço é percebida sempre que a tração é solicitada, no sentido de aumentar a resistência do material que o envolve. Na função reforço, o geotêxtil absorve os esforços e tensões localizadas que, se incidissem diretamente sobre o material protegido, poderiam danificá-lo. A função drenagem é desempenhada pelo geotêxtil quando o mesmo transporta gases ou líquidos através de sua espessura no plano da manta.

Figura 21 – Geotêxtil em contato com o solo



Fonte: Manual de Drenagem (DNIT, 2006).

Segundo o DNIT (2006), as características de permeabilidade e retenção de partículas são primordiais para o desempenho da Função Filtração do geotêxtil; mas, para garantir a eficácia do mesmo durante sua instalação e vida útil, ocasião em que esforços mecânicos poderão danificá-lo, é muito importante a escolha final de um geotêxtil em relação ao outro, levando-se em conta as características de resistência a esforços de instalação, abaixo descritas.

- Resistência à tração;
- Alongamento;
- Resistência ao puncionamento;
- Resistência ao estouro;
- Resistência à propagação do rasgo;
- Requisitos básicos das mantas geotêxteis.

As mantas geotêxteis, utilizadas como materiais filtrantes nos drenos, devem atender aos seguintes requisitos básicos descritos no Quadro 2, a seguir.

Quadro 2 – Requisitos para mantas geotêxtil

Requisitos	Norma (ABNT)	Unidade	Dreno	
			Profundo	Superficial
Permeabilidade	NBR-15223	cm/s	$\geq 3 \times 10^{-1}$	$\geq 3 \times 10^{-1}$
Abertura de Filtração	NBR-15229	μm	$\leq 2D_{85\text{solo}}$	$\leq 2D_{85\text{solo}}$
Resistência à tração	NBR-15224, NBR-12824	kN/M	≥ 12	≥ 8
Alongamento ϵ_r	NBR-15224, NBR-12824	%	≥ 30	≥ 30
Resistência ao puncionamento	NBR-13359 ou NBR-15224	kN	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$

Fonte: Manual de Drenagem (DNIT, 2006).

2.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS QUE DEVEM SER CONSIDERADOS NA RECUPERAÇÃO E FORMAÇÃO DE PILHAS

Abrantes (2019a) e Oliveira (2020) descreveram uma série de recomendações geotécnicas importantes sobre recuperação de estocagem de pilhas em pátios de estocagem. Abrantes (2019a) citou estudos no Pátio de Produto em Ponta da Madeira São Luis e Oliveira (2020) realizou estudos para Pátio de Produto de Estocagem de Carajás. Suas instruções são bem similares e coerentes. Ambos os autores defendem que, após o processo de recuperação que pode ser observado na Figura 22, a sobra da pilha, denominada morto (material que a máquina recuperadora não foi capaz de manusear), deverá ser reformada através de equipamentos móveis como pá, escavadeira e trator, elevando um pequeno monte que possibilitará ser recuperado. Esta movimentação manual das sobras de pilha recebe o nome de rechego. Observe na Figura 23, a seguir, o processo de remontagem do morto.

Figura 22 – Processo de recuperação



Fonte: ABRANTES (2019a).

Figura 23 – Processo de remontagem da sobra de pilha



Fonte: ABRANTES (2019a).

A sobra de pilha ou resto apresentará características de umidade e granulometria próprios da pilha anterior, a qual foi recuperada, e não é recomendado que este saldo faça parte de novos empilhamentos formados, uma vez que as diferenças granulométricas e de umidade, entre o material do saldo e o material da “nova” pilha, podem gerar interfaces de fraqueza no interior da mesma, desfavorecendo sua estabilidade. Quando o processo de recheio é negligenciado e é deixado o saldo das pilhas ao longo do processo de empilhamento, observa-se uma elevação do piso do pátio (Figura 24). Ou seja, ocorre o aterramento do local, e a cota de início da pilha nova não é a cota original de projeto (ABRANTES, 2019a).

Figura 24 – Processo de recheio negligenciado - elevação do piso do pátio



Fonte: ABRANTES (2019a).

Segundo Abrantes (2019a), esta situação dificulta a drenagem de algumas pilhas, provocando a saturação da base destes empilhamentos, formando uma camada de lama de fundo com sobras de pilhas que não foram retomadas. Outro problema ligado ao aterramento do pátio é que, no caso de rupturas de pilhas, mesmo de pequenos volumes, o material é lançado diretamente sobre a plataforma de acesso potencializando as consequências das rupturas de pilhas. Este material poderia ficar dentro da área normal de pátio que, em projeto, tem nível abaixo dos acessos. O processo de recheio é fundamental para evitar interfaces estabilizantes no interior da pilha, a elevação do piso do pátio e a formação de material muito saturado na base, criando lama.

O material rechegado deve ser destinado a um local na pilha em que haja possibilidade da recuperadora alcançá-lo; o material remontado não deve fazer parte do novo empilhamento, de modo que não fique na camada inferior, formando a base da pilha, por exemplo. O montante de material rechegado deverá ter no máximo 2,0 m de altura. A incorporação de material rechegado com a nova pilha é um cenário a ser evitado. Deve-se sempre buscar construir a pilha nas adjacências deste saldo, para evitar a estabilização (ABRANTES, 2019a). A autora cita algumas exceções para incorporação do material remontado à nova pilha:

- a. O volume de material do recheio for equivalente a no máximo 10% do volume total da pilha finalizada (premissa praticada no Porto Tubarão);
- b. O saldo deve ter distribuição volumétrica homogênea ao longo da pilha;
- c. Não for período chuvoso;
- d. Não houver evidências de problemas no sistema de drenagem (dispositivos sem

- obstrução e sem vegetação, histórico de ausência de acúmulo de água nos períodos secos e chuvosos);
- e. A umidade do material rechegado for similar à do material da nova pilha;
 - f. A composição do material rechegado for similar ao material a formar a pilha;
 - g. Homogeneidade dos materiais da pilha e do material rechegado.

Os autores Abrantes (2019a) e Oliveira (2020) explicam que a estocagem sobre saldo restante de outras pilhas (observar Figura 25), dependendo das condições físicas do saldo de minério, tais como umidade e percentual de finos, pode provocar a desestabilização da estrutura da nova pilha, já que o material estará localizado na base da mesma. Para a estrutura geométrica de uma pilha de minério é fundamental que a base seja feita em conformidade, obedecendo aos critérios de não estocar em base com excesso de lama, não estocar em locais com drenagem ineficiente e não executar base de pilha com material úmido fora da especificação. Os estudos dos eventos de rupturas circulares nas pilhas de produto *pellet feed* e *sinter feed* ocorrem pela existência de material de baixa consistência na base das pilhas (material saturado ou lama) (ABRANTES, 2019a). A autora afirma que o correto é fazer a retomada total do material empilhado, em todos os cortes e também do recheio, ajustar a drenagem do local e, só depois, realizar novo empilhamento. Deve-se evitar, ao máximo, realizar empilhamento sobre saldos (ABRANTES, 2019a).

Figura 25 – Estocagem sobre 4º corte e sem recheio



Fonte: ABRANTES (2019a).

Oliveira (2020) explica que o setor de controle de qualidade é responsável pela validação técnica e liberação da área operacional para formação de novas pilhas; porém, que a equipe de operação de pátio de estocagem (operador, técnico e supervisor) tem a responsabilidade em avaliar o local de estocagem e ver se o mesmo está em condições

adequadas, conforme os procedimentos operacionais e orientações geotécnicas: área livre de morto, área drenada e livre acúmulo de água, drenagem eficiente, área livre de contaminantes e outros.

Não é recomendada a formação de pilha de *sinter feed* (um dos produtos de minério ferro fino com granulometria entre 6,3 mm e 0,15 mm), sobre o restante de pilha de *pellet feed* (minério ferro mais fino que o *sinter*, com granulometria menor de 0,15 mm). O *pellet feed* na base das pilhas possui tendência de se comportar como uma camada de lama. Este fato se dá pela granulometria fina do *pellet feed* e em condição de alta umidade. Devido à granulometria fina, o *pellet* possui permeabilidade entre 10 e 100 vezes menor que o *sinter feed*, e há predisposição de maior saturação nesta camada, não drenando tão facilmente como a camada de *sinter feed*. O ideal é que se busque, sempre que possível, a configuração de pilhas formadas unicamente de um produto, respeitando sempre as premissas de projeto e as premissas operacionais. E, quando se fizer necessário a execução de pilhas de minério formadas por “blend” de *sinter feed* e *pellet feed*, é fundamental que esta mistura seja homogênea. Em nenhum caso deverá existir horizontes de camadas de *pellet feed* ou de matérias diferentes do *blend* (ABRANTES, 2019a).

Em relação à umidade, Abrantes (2019a) explica que quando o minério ferro é empilhados com umidade alta, dependendo do percentual da fração granulométrica fina dos produtos, pressões negativas de sucção passam a atuar nos poros destes materiais. As pilhas sob o efeito destas pressões tendem a alterar o ângulo normal de repouso dos materiais (aumentando o ângulo), e possibilitando alturas maiores, causando uma falsa estabilidade. Este efeito não é duradouro, já que com a perda da umidade (através do tempo de residência), a tendência é o material não "aguentar" a altura e inclinação e "desmoronar", gerando ocorrência de desmoronamento. É muito importante que a geometria esteja em acordo com a umidade adequada, os dois indicadores – umidade e geometria –, devem "caminhar" juntos quando se fala em estabilidade de pilhas. Pilhas formadas por material mais úmido devem ter altura controlada (ficando mais baixa do que o natural), em consequência da redução da altura teremos redução da massa estocada e, caso tenha um desmoronamento, esta massa em potencial será menor.

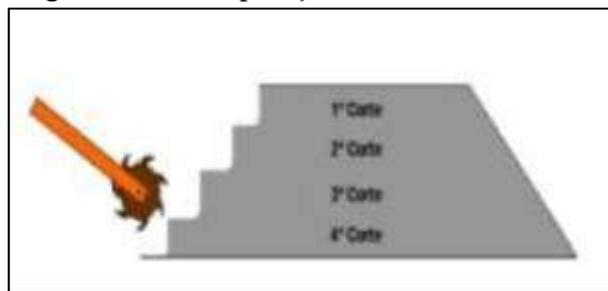
Em relação à geometria da pilha, Abrantes (2019a) explica que nunca se deve executar pilhas com alturas maiores que a determinada pela geotecnia, em caso de necessidade, esta disciplina deverá ser acionada para avaliar cada situação. Tampouco deve-se executar pilhas com alturas que correspondam a graus de saturação mais baixos do que o material da

pilha se encontra. Também deve-se respeitar a largura das pilhas, grau de saturação equivalente e material de composição da pilha (PF, SF ou *blend*). O processo de empilhamento deve ocorrer da maneira mais fidedigna possível à geometria proposta.

Em relação ao processo de recuperação de pilhas há dois métodos que são comumente utilizados: bancada curta (Figura 26) e patamar (Figuras 27 e 28). O método em bancada curta pode ser utilizado durante todo o ano; ele visa manter o equilíbrio da umidade do produto dentro do lote expedido, reduzindo o acúmulo de água no topo das pilhas. Permite a liberação mais rápida da área de estocagem, reduz a variabilidade nas taxas das recuperadoras, além de garantir uma recuperação mais segura (ABRANTES, 2019a; OLIVEIRA, 2020).

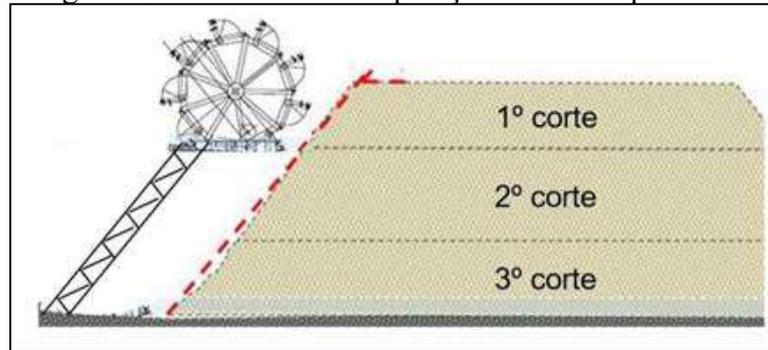
Já o método de recuperação em patamar permite maior produtividade (as perdas com as mudanças de corte são reduzidas); este método consiste na retomada da pilha em fatias, começando pelo topo até a base final, com cortes de acordo com a altura da pilha. Geralmente são usadas de três a quatro fatias dependendo da altura da pilha. A recuperação no método patamar (Figura 29) garante maior produtividade das recuperadoras, já que não há mudanças de corte constantemente, porém não deve ser aplicado no período de inverno ou em momentos de fortes chuvas, pois expõe uma grande área da pilha às chuvas, a água que infiltra na pilha pode ser prejudicial à estabilidade da pilha, além de aumentar a umidade naquela pilha (ABRANTES, 2019a; OLIVEIRA, 2020).

Figura 26 – Recuperação em bancadas curtas



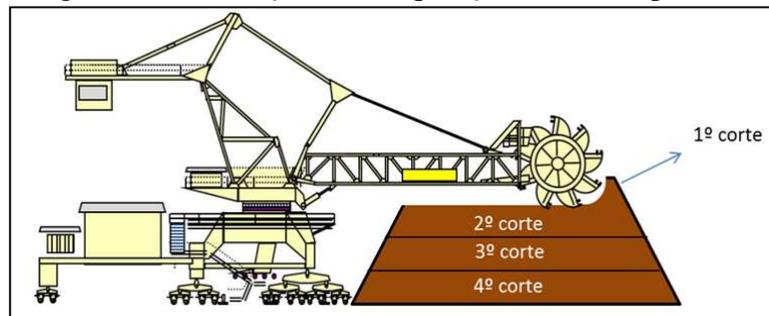
Fonte: ABRANTES (2019a).

Figura 27 – Método de recuperação em modo patamar



Fonte: ABRANTES (2019a).

Figura 28 – Execução de recuperação em modo patamar



Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. (OLIVEIRA, 2020).

Figura 29 – Recuperação em modo patamar



Fonte: Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto. (OLIVEIRA, 2020).

2.5 INFLUÊNCIA DOS PROBLEMAS DE DRENAGEM DOS PÁTIOS DE ESTOCAGEM NA ESTABILIDADE DAS PILHAS

Abrantes (2019b) e Oliveira (2020) defendem que a drenagem superficial (transversal ou longitudinal) tem a função de conduzir as águas pluviais ou do próprio minério

para fora das áreas de estocagem. Oliveira (2020) complementa que os sistema de drenagens, drenagem de fundo dos pátios, quando houver, e drenagens superficiais, devem estar totalmente operacionais, ou seja, em total condições de drenagens de toda a área dos pátios. O acúmulo de água nos pátios irá gerar a saturação do produto na base das pilhas favorecendo a condição de instabilidade das pilhas de produto.

Segundo Oliveira (2020), para as pilhas que tenham o dreno de fundo, este deve estar em perfeitas condições operacionais, sendo capaz de drenar a água dos pátios, em especial o excesso de água das pilhas que, com o passar do tempo, vão perdendo umidade por gravidade e temperatura quando os drenos de fundo devem captar toda a água e direcioná-las para fora da área dos pátios.

De forma a avaliar as condições operacionais dos drenos de fundo, deve-se investigar se a saída do fluxo d'água captado pelo dreno de fundo está extravasando a água e sua coloração; pouca água e alta turbidez podem indicar a colmatação do dreno, devendo-se proceder à limpeza. Sugerem-se inspeções periódicas nos sistemas de drenagem do pátio, verificando o funcionamento dos drenos e correção de desvios, por exemplo, acúmulos de água, acúmulo de materiais entre pilhas entre outros (OLIVEIRA, 2020).

Abrantes (2019b) e Oliveira (2020) defendem que a inexistência ou falta de manutenção da área de estocagem de pilhas compromete o sistema de drenagem e dificulta a sua eficiência, provocando a saturação da base destes empilhamentos ou formando uma camada de lama de fundo, com sobras de pilhas que não foram retomadas.

Oliveira (2020) explica que, para pátios que não têm a drenagem de fundo e que utilizam a drenagem superficial, a água pluvial é captada e direcionada para fora das áreas dos pátios por inclinação do terreno, sendo direcionada inicialmente para as laterais dos pátios e, em seguida, para fora da área do mesmo; logo, a área deverá estar sempre limpa, de forma a evitar a geração de barreiras e conseqüente acúmulo de água nos pátios. Esta drenagem deve ser rotineira e é acelerada através de máquinas móveis, como exemplo, o trator de esteira e a pá carregadeira.

Abrantes (2019b) complementa que a drenagem interna tem a função de captar e permitir o escoamento das águas perenes que fluem no fundo dos vales, conduzindo-as para fora da área da pilha de forma controlada, evitando que desenvolvam pressões no interior da mesma. As drenagens das praças de estocagem devem ser mantidas em condições normais de operação, com caimento transversal e longitudinal, conforme projeto, de modo a não acumular

água. As drenagens internas devem receber manutenção da camada de sacrifício e realização periódica de recheço, com a remoção de lastros remanescentes.

Oliveira (2020) explica que, em caso de chuva, durante o processo de estocagem de produto, a atividade de estocagem deverá ser interrompida, pois o excesso de umidade causado pela chuva vai gerar um acúmulo excessivo de água no interior da pilha, gerando um aumento de forças internas que influenciam negativamente para a estabilidade das pilhas.

Os pátios que têm cota inferior às cotas da via de rolamento, gerando assim uma área de confinamento para caso de ruptura de pilha, onde o desnível gera taludes de até 3 metros com inclinação máxima de 40°, o material não deverá ter contato com o talude, pois caso exista contato estes favorecem o surgimento da ravinações, focos erosivos, que podem evoluir para ruptura do talude. Sugere-se, sempre que possível, utilizar um leira de proteção na crista deste talude (OLIVEIRA, 2020).

A ineficiência da drenagem causa o alagamento das áreas de estocagem, gerando aumento da saturação, contribuindo para a redução do Fator de Segurança (FS) e diminuindo a estabilidade da pilha (ABRANTES, 2019b).

Na Figura 30, a seguir, pode ser observada uma área de pátio com graves problemas de drenagem, com acúmulo de água na área de estocagem de uma pilha.

Figura 30 – Pilha com problema de drenagem



Fonte: Autoria própria, 2020.

Como medida preventiva à ocorrência de ruptura em pilhas de produto, pode-se criar uma espécie de sistema de alerta e controles em pátio de estocagem, cuja função é

implementar com agilidade e eficiência um plano de ação, com a finalidade de corrigir possíveis não conformidades identificadas antes ou durante o empilhamento, tais como:

- Umidade alta;
- Praças de estocagem com sobras de material;
- Geometria inadequada;
- Camada inicial de material fino, em *pellet feed*, sobre pilhas de *sinter feed*;
- Problemas com drenagem dos pátios;
- Ocorrência de eventos geotécnicos durante o empilhamento (trincas, erosões, embarrigamento e etc.)

2.5.1 Desmoronamento de pilhas

Segundo Abrantes (2019b), para ocorrer a ruptura da pilha é necessário que o minério empilhado tenha quantidade de água suficiente para produzir a ascensão da freática até uma altura crítica. Quanto maior a saturação do minério, maior a quantidade de água na pilha, desta forma, maior a ascensão da freática. Para o minério de Carajás foram realizados os estudos de saturação, buscando respostas para os graus de segurança e estabilidade de pilhas de produtos e recomendações gerais de geometria, umidade e outros.

Para garantir a segurança das pilhas, o grau de saturação deve estar abaixo de 60% (nessa saturação supõem-se a não ocorrência de freática). Neste grau de saturação, o teor de umidade aproximado da pilha é de 9,7%. Este valor pode ser alterado pelo grau de compactação e empolamento da pilha, além de fatores como teor de umidade do minério, chuva e tipo de litologia/mineral formadora do produto.

Na Tabela 5 é apresentada a correlação entre grau de saturação e teor de umidade de minério de ferro em pilhas de produtos.

Tabela 5 – Correlação entre saturação e teor umidade em minério de ferro

Saturação - %	Teor de umidade - %
30	7,1
40	8,0
50	8,8
60	9,7
70	10,2
80	12,1
100	12,4

Fonte: ABRANTES (2019b).

Os estudos em Carajás (OLIVEIRA, 2020) de fator de segurança considera a NBR 11.682/2009 – Estabilidade de Taludes (observar Figura 31) com avaliação do nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas. Adotou-se o nível médio por se tratar de área restrita com controle de acesso aos pátios e nível de segurança desejado contra danos ambientais e materiais adotou-se o nível baixo por se tratar de área com diferencial de cota gerando o confinamento do produto reduzindo o risco de impactos materiais, logo adota-se o fator de segurança mínimo 1,3.

Figura 31 – Fator de segurança das pilhas

Nível de segurança	Crítérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Nível de segurança	Crítérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Níveis de Segurança	Contra Danos a Vida Humana			
	Alto	Médio	Baixo	
Contra Danos Materiais e Ambientais	Alto	1,5	1,5	1,4
	Médio	1,5	1,4	1,3
	Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: OLIVEIRA (2020), baseado na NBR 11.682/2009.

Foi realizado o estudo de altura de pilha e impacto de pilhas desmoronadas para os pátios de Carajás, considerando o fator de segurança, a dimensão de cada pátio, os métodos de estocagem, o produto (densidade, ângulo de repouso e outras características), a umidade, período do ano (chuvoso ou seco), a área de superfície de ruptura, a área disponível para o material rompido e a massa de impacto. Ao final foi realizada a classificação: aprovados ou não aprovado. O resultado pode ser observando na Tabela 6.

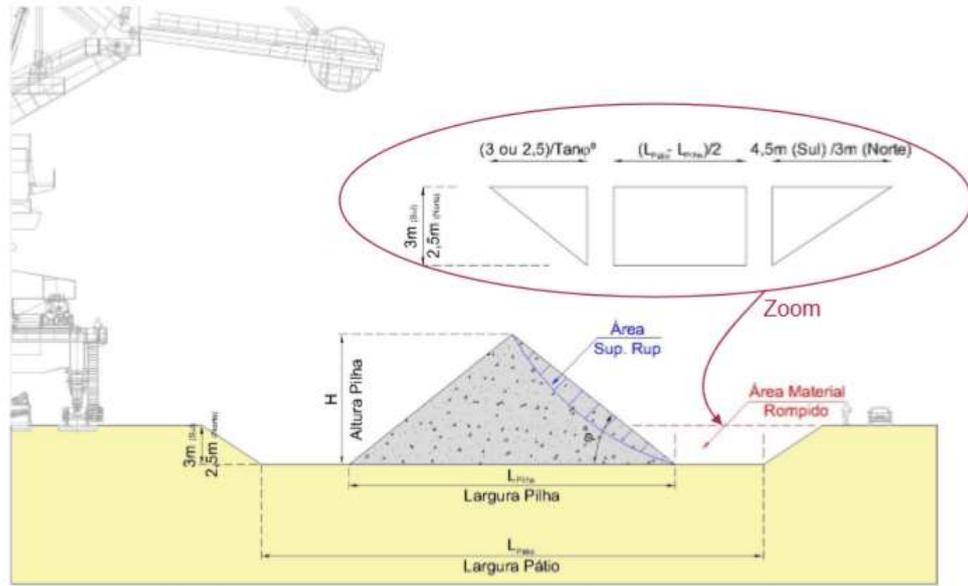
Tabela 6 Análise de impacto de ruptura de pilhas para os pátios de produto de Carajás - Pará

Pátio	Método de Empilhamento	Período	FS	Altura da Pilha H (m)	Ângulo de Repouso	Largura da Pilha H (m)	Largura total do Pátio H (m)	Altura do muro limite (m)	Área Superfície Ruptura (m²)	Área disponível material rompido (m²)	Consequência	Massa de impacto (ton)	Validação
A e B	Chevron Modificado	Seco	1,539	9,00	38,00	32,00	45,00	1,80	6,77	7,34	Seguro		Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Seco	1,495	10,00	38,00	32,00	45,00	1,80	8,33	7,34	Alcança	2,76	Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Seco	1,469	11,00	38,00	34,00	45,00	1,80	9,80	7,34	Alcança	6,88	Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Seco	1,418	12,00	38,00	36,00	45,00	1,80	12,04	7,34	Alcança	13,15	Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Seco	1,405	13,00	38,00	37,00	45,00	1,80	13,05	7,34	Alcança	15,98	Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Seco	1,401	14,00	38,00	37,00	45,00	1,80	16,47	7,34	Alcança	25,56	Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Chuvoso	1,324	9,00	38,00	32,00	45,00	1,80	5,11	7,34	Seguro		Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Chuvoso	1,302	10,00	38,00	32,00	45,00	1,80	5,37	7,34	Seguro		Aprovado
A e B	Chevron Modificado	Chuvoso	1,291	11,00	38,00	34,00	45,00	1,80	6,23	7,34	Seguro		Reprovado
A e B	Chevron Modificado	Chuvoso	1,256	12,00	38,00	36,00	45,00	1,80	7,26	7,34	Seguro		Reprovado
A e B	Chevron Modificado	Chuvoso	1,251	13,00	38,00	37,00	45,00	1,80	10,80	7,34	Alcança	9,68	Reprovado
A e B	Chevron Modificado	Chuvoso	1,239	14,00	38,00	37,00	45,00	1,80	13,58	7,34	Alcança	17,46	Reprovado
C e D	Chevron Modificado	Seco	1,502	10,00	38,00	32,00	38,00	3,00	8,81	8,57	Seguro	0,67	Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Seco	1,501	11,00	38,00	34,00	38,00	3,00	9,93	7,57	Seguro	6,60	Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Seco	1,450	12,00	38,00	36,00	38,00	3,00	13,16	6,57	Seguro	18,45	Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Seco	1,437	13,00	38,00	36,00	38,00	3,00	14,83	6,57	Seguro	23,12	Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Seco	1,360	14,00	38,00	36,00	38,00	3,00	31,76	6,57	Seguro	70,53	Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Chuvoso	1,310	10,00	38,00	32,00	38,00	3,00	6,48	8,57	Seguro		Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Chuvoso	1,300	11,00	38,00	34,00	38,00	3,00	7,21	7,57	Seguro		Aprovado
C e D	Chevron Modificado	Chuvoso	1,274	12,00	38,00	36,00	38,00	3,00	8,71	6,57	Alcança	5,99	Reprovado
C e D	Chevron Modificado	Chuvoso	1,268	13,00	38,00	36,00	38,00	3,00	9,19	6,57	Alcança	7,33	Reprovado
C e D	Chevron Modificado	Chuvoso	1,230	14,00	38,00	36,00	38,00	3,00	16,13	6,57	Alcança	26,76	Reprovado
G e H	Chevron	Seco	1,368	11,00	38,00	30,16	38,00	3,00	19,84	9,49	Seguro	28,97	Aprovado
G e H	Chevron	Seco	1,384	12,00	38,00	32,72	38,00	3,00	23,59	8,21	Seguro	43,05	Aprovado
G e H	Chevron	Seco	1,343	13,00	38,00	35,28	38,00	3,00	26,39	6,93	Seguro	54,48	Aprovado
G e H	Chevron	Seco	1,351	14,00	38,00	37,84	38,00	3,00	25,21	5,65	Seguro	54,76	Aprovado
G e H	Chevron	Chuvoso	1,295	9,00	38,00	25,04	38,00	3,00	8,57	12,05	Seguro		Reprovado
G e H	Chevron	Chuvoso	1,290	10,00	38,00	27,60	38,00	3,00	7,11	10,77	Seguro		Reprovado
G e H	Chevron	Chuvoso	1,272	11,00	38,00	28,01	38,00	3,00	9,17	10,57	Seguro		Reprovado
G e H	Chevron	Chuvoso	1,283	12,00	38,00	31,20	38,00	3,00	8,59	8,97	Seguro		Reprovado
G e H	Chevron	Chuvoso	1,282	13,00	38,00	33,34	38,00	3,00	9,83	7,90	Alcança	5,40	Reprovado

Fonte: Oliveira (2020).

Assim, para o minério de ferro estocado em Ponta da Madeira (origem Carajás e Canaã dos Carajás S11D), foram realizadas uma sequência de análises de estabilidade, para grau de saturação de 60% com ângulo de repouso de 39° e diferentes para alturas. Nas simulações foram observadas a massa da pilha, a altura e a umidade, a área ocupada com material rompido e que foi deslocado devido a ruptura. Nesta condição foi realizada a análise, considerando o pátio adequado, com a pilha no local correto, altura correta, área de estocagem limpa e padronizada, e sem material de recheio. Observe a na Figura 32 este cenário que apresenta a condição de contorno para obter a projeção do material rompido da pilha de produto, no pátio totalmente limpo, sem camada de morto, saldo de pilhas ou material proveniente do recheio.

Figura 32 – Cenário controlado de pátio em ruptura de pilha

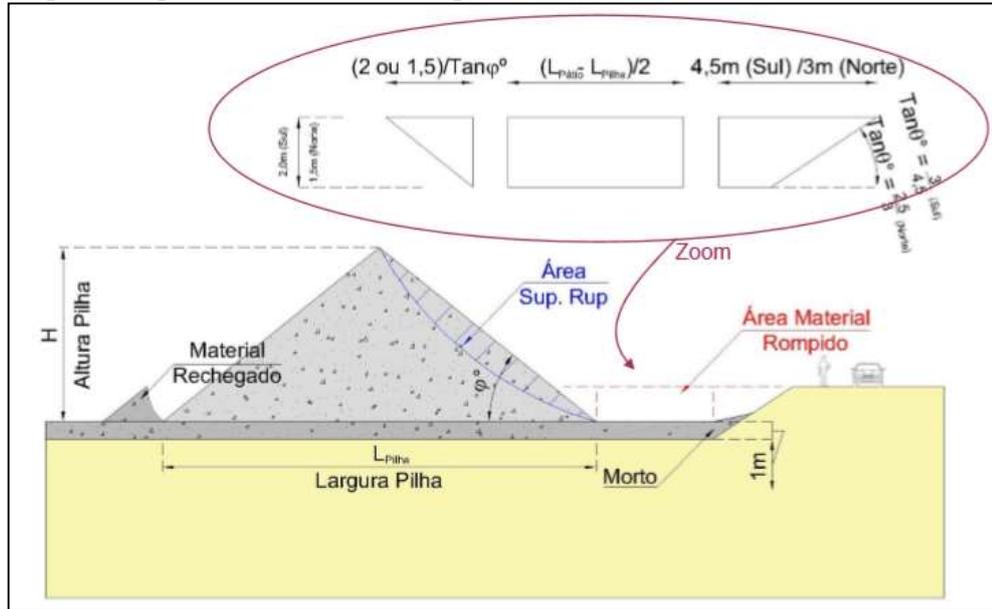


Fonte: ABRANTES (2019b).

A análise também considerou a estocagem sobre morto e recheio para comparação, considerando até 2 m de altura de material de recheio. Esta camada é proveniente de um acúmulo corriqueiro de material, de modo que, dificilmente, um empilhamento se dará na cota original do projeto. O autor sugere a prática rotineira de redução e controle da altura de morto nas pilhas, buscando sempre a condição de nível de projeto de pátio, pois é a situação ideal.

A rotina de manutenção das áreas estocagem em nível de projeto deve ser uma tarefa constante e persistente, a fim de manter a manutenção dos pátios. O segundo cenário pilha sobre recheio é apresentado na Figura 33.

Figura 33 – Condições de contorno para obter a projeção do material rompido da pilha de produto, considerando pátio com camada de 1,0 m de morto



Fonte: ABRANTES (2019b).

O fator importante para as análises e que deve ser considerado é a largura dos pátios. Outro fato importante é o ângulo de repouso do minério que não constate e varie de 37° a 41°. Para o trabalho foi adotado 39°. A variação do ângulo de repouso se dá pelas diferentes densidades do minério em relação a sua composição química e física. Também foi considerado o método de estocagem usual para os pátios. O resultado da análise pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Projeção do material rompido para diferentes alturas, para grau de saturação de 60% e ângulo de repouso de 39°

Método Chevron e Coneshell

Ângulo de repouso = 39° e S = 60%

Altura da Pilha H (m)	Largura da Pilha L (m)	F.S	Área Superfície Ruptura (m²)	Pátio Sul				Pátio Norte			
				Área disponível material rompido¹ (m²)	Consequência	Área disponível material rompido² (m²)	Consequência	Área disponível material rompido¹ (m²)	Consequência	Área disponível material rompido² (m²)	Consequência
8	19,66	1,3	12,56	39,82	-	26,81	-	33,03	-	19,79	-
9	22,22	1,2	17,55	35,98	-	24,25	-	29,83	-	17,87	-
10	24,66	1,2	20,94	32,32	-	21,81	-	26,78	-	16,04	Atinge Acesso
11	27,17	1,2	24,80	28,55	-	19,30	Atinge Acesso	23,65	Atinge Acesso	14,16	Atinge Acesso
12	29,64	1,1	26,48	24,85	Atinge Acesso	16,83	Atinge Acesso	20,56	Atinge Acesso	12,31	Atinge Acesso
13	31,92	1,1	35,41	21,43	Atinge Acesso	14,55	Atinge Acesso	17,71	Atinge Acesso	10,60	Atinge Acesso

¹ Pilha centralizada no pátio, laterais e fundo do pátio totalmente limpos e livres de material.

² Pilha centralizada no pátio, considerando camada de morto de 1,0m de espessura.

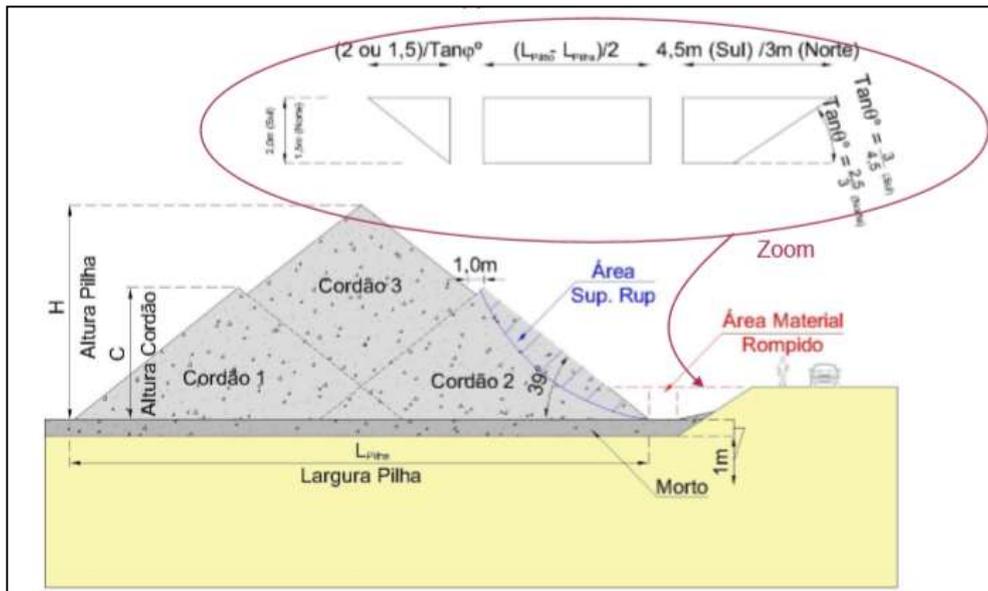
Fonte: ABRANTES (2019b).

A mesma análise foi feita para diferentes métodos de empilhamento como, por

exemplo, o Chevron modificado.

As pilhas de produto, quando empilhadas com a metodologia Chevron modificado, devem respeitar um limite de interseção entre os cordões laterais, de modo que o cordão central não sobreponha os cordões laterais. Deste modo, foi considerada a inclinação de 39° para a inclinação e a interseção máxima de 5,0 m, conforme Figura 36.

Figura 34 – Condições de contorno para obter a projeção do material rompido da pilha de produto Chevron modificado, considerando pátio com camada de 1,0 m de morto



Fonte: ABRANTES (2019b).

Tabela 8 – Projeção do material rompido para diferentes alturas, para grau de saturação de 60% e ângulo de repouso de 39° pilhas estocadas em chevron modificado

Chevron Modificado (Método Multi-Chevron)
Ângulo de repouso = 39° e S = 60%

Altura da Pilha H (m)	Altura do Cordão C (m)	Largura total da Pilha L (m)	F.S	Área Superfície Ruptura (m ²)	Pátio Sul				Pátio Norte			
					Área disponível material rompido ¹ (m ²)	Consequência	Área disponível material rompido ² (m ²)	Consequência	Área disponível material rompido ¹ (m ²)	Consequência	Área disponível material rompido ² (m ²)	Consequência
11,0	8,0	34,52	1,3	15,03	17,53	-	11,95	Atinge Acesso	14,46	Atinge Acesso	8,65	Atinge Acesso
12,0	8,0	34,52	1,3	16,02	17,53	-	11,95	Atinge Acesso	14,46	Atinge Acesso	8,65	Atinge Acesso
13,0	8,0	34,52	1,3	38,61	17,53	Atinge Acesso	11,95	Atinge Acesso	14,46	Atinge Acesso	8,65	Atinge Acesso

¹ Pilha centralizada no pátio, laterais e fundo do pátio totalmente limpos e livres de material.

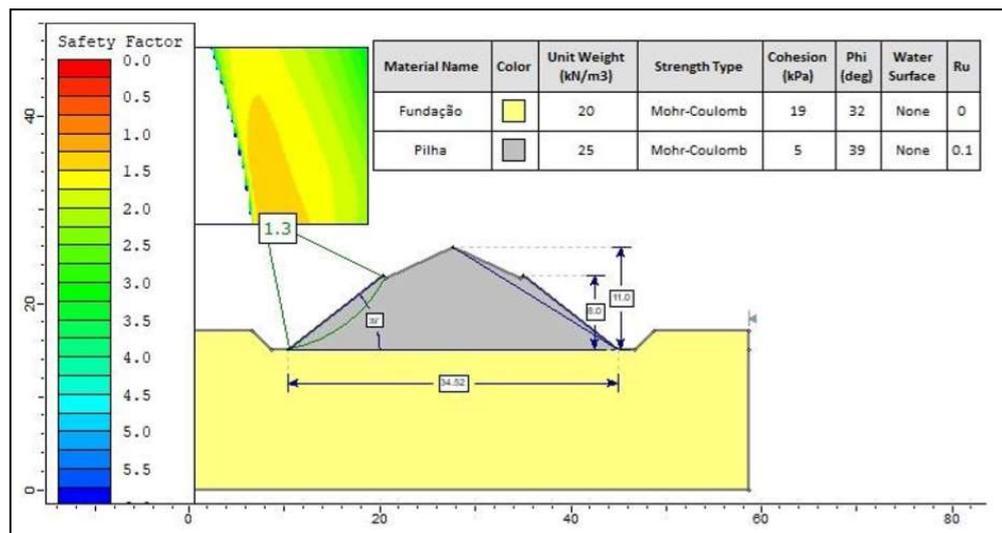
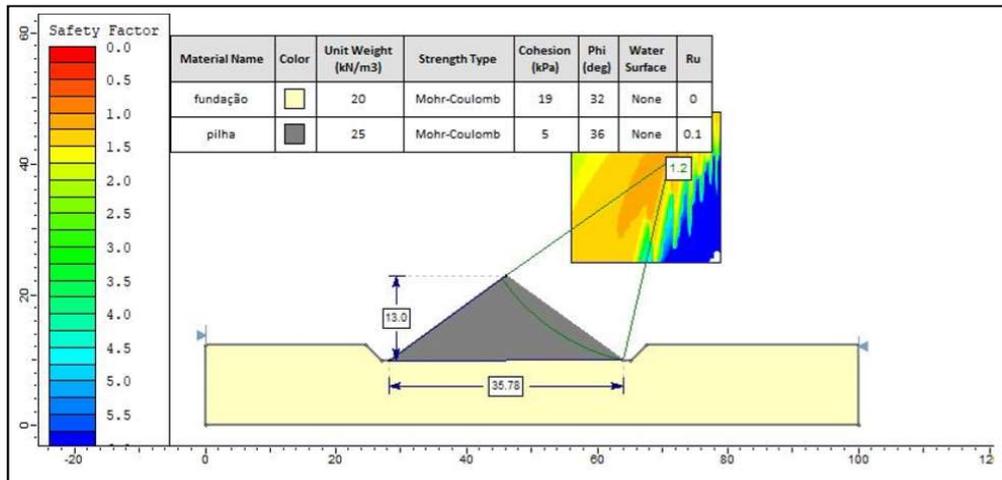
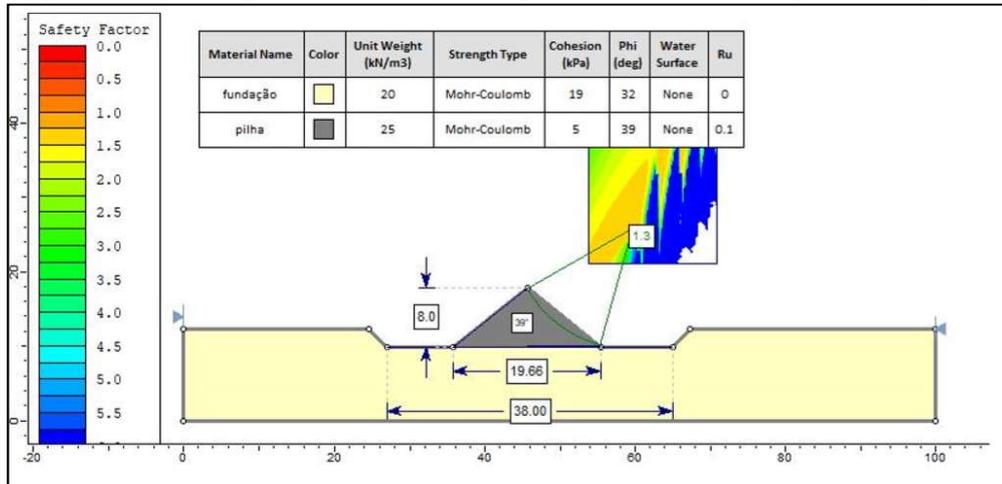
² Pilha centralizada no pátio, considerando camada de morto de 1,0m de espessura.

Fonte: ABRANTES (2019b).

Segundo Abrantes (2019b) o estudo apresentado ajudou na definição da altura que as pilhas devem ser trabalhadas, considerando o fato de segurança que se espera e considerando a situação do pátio. Estudos similares devem ser expandidos para outras áreas da Vale que trabalham com estocagem de pilhas. Na Figura 35 são apresentados três exemplos das

simulações de fatos de segurança, altura de pilha, métodos e outros.

Figura 35 – Exemplos de simulação de pilha – altura, f.s., ângulo de repouso, r_u



Fonte: ABRANTES (2019b).

Conforme o estudo, a autora concluiu que pilhas formadas em modo Chevron modificado são mais estáveis, no entanto, possuem base mais larga. Também devem ser adotadas diferentes alturas de pilha para períodos sazonais: período seco e chuvoso. As alturas recomendadas devem ser acompanhadas de um rigoroso controle estatístico, em que sejam avaliados os eventos ocorridos nas mais diversas situações (teor de umidade, altura, teor de material hidratado e etc.).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia utilizada para a produção deste trabalho pode ser definida, segundo Gil (2010), quanto aos objetivos gerais, como uma pesquisa exploratória, já que tem como finalidade evidenciar a importância do tema e difundi-lo. Em relação aos métodos empregados, a pesquisa é caracterizada como um estudo de caso, que se baseia em um estudo intenso de um objeto, possibilitando seu amplo conhecimento (GIL, 2010).

De acordo com Silva e Menezes (2005), este trabalho é classificado na perspectiva da sua natureza, como uma pesquisa aplicada, que tem como objetivo criar conhecimentos para a utilização prática e direcioná-los para a resolução de problemas típicos. Já em relação à forma de abordagem do problema, este estudo é considerado uma pesquisa quantitativa, pois mensura as informações obtidas em campo e permite a análise destes dados, e qualitativa, visto que descreve o problema e possibilita a interpretação do fenômeno em estudo.

A coleta dos dados utilizados neste trabalho foi feita, principalmente, através da documentação direta, que, de acordo com Marconi e Lakatos (2010), consiste no levantamento de dados realizado no lugar onde os fenômenos que serão examinados ocorrem. Estes dados foram captados através de pesquisa de campo, que visa à obtenção de informações importantes sobre o tema analisado.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso foi realizado na mineradora Vale S.A, considerada uma das três maiores produtoras de minério de ferro do mundo. A área de estudo utilizada para o desenvolvimento deste trabalho está localizada na Serra dos Carajás, na unidade produtiva conhecida como Serra Norte, localizada em Parauapebas, na região sudeste do Estado do Pará.

Foram considerados no estudo seis pátios de estocagem de produtos em Serra Norte: A, B, C, D, G e H.

Figura 36 – Vista aérea dos pátios A, B, C, D e E



Fonte: VALE S/A. Arquivos internos da Gerência de Operação e Manutenção de Expedição.

Figura 37 – Vista aérea dos pátios A, B, C, D e E



Fonte: VALE S/A. Arquivos internos da Gerência de Operação e Manutenção de Expedição.

Figura 38 – Vista aérea dos pátios G e H



Fonte: VALE S/A. Arquivos internos da Gerência de Operação e Manutenção de Expedição.

O pátio de estocagem de produtos da Vale em Carajás se divide em 6 áreas: A, B, C, D, G, H. Nesse trabalho, a área correspondente aos pátios A, B, C, D será denominada de Pátio Usina 1 e as áreas dos pátios G e H de Pátio Usina 2.

Os pátios A, B, C e D possuem 1 quilômetro de comprimento e são paralelos, estando os pátios A e B na mesma cota e os pátios C e D em cota superior. Os pátios A e B são os mais antigos e foram construídos na implantação de Carajás em 1985. Os pátios C e D foram construídos em 2003 para atender o crescente aumento da exploração da mina e, conseqüentemente, da produção de minério de ferro da usina.

Com a expansão da produção em 2013, com o início da operação da Usina 2, houve um acréscimo de 40 milhões de toneladas anuais na produção de Carajás. Para este aumento produtivo foram implantados novos pátios: Pátio G e H e, assim, dar infraestruturas de suporte a este novo complexo: transportadores, empilhadeiras, recuperadoras e silos. Foi necessária uma reordenação da distribuição dos produtos por pátios, atendendo a todo o complexo produtivo de Carajás.

Os produtos armazenados no pátio 1 são os de minério de ferro, extraído das minas N4 e N5. O minério de ferro se divide em três diferentes produtos: granulado (10%), *sinter feed*

(70%) e *pellet feed* (20%). O mineral de manganês se divide em dois produtos: um com granulometria próxima à do *sinter feed* e outro mais fino; o manganês é oriundo da Mina do Manganês do Azul e beneficiado na usina, e transportado via caminhões rodoviários até Carajás. No pátio 2 são estocados dois produtos: o *sinter feed* e o manganês, que são transportados até o pátio através de caminhões rodoviários.

Os transportadores de correia são estruturas fundamentais para estocagem e expedição. No pátio 1, eles estão dispostos em linhas que possibilitam a alocação dos produtos nos diferentes pátios. No pátio 2, este processo é mais simples, visto que há apenas o *sinter feed* de minério de ferro e o manganês, sendo este último transportado por caminhão para pilhas específicas nos pátios G e H.

O pátio de estocagem envolve duas operações unitárias principais: a estocagem e a recuperação. A estocagem é em resumo, o armazenamento dos produtos em áreas específicas conhecidas como pilhas, e a recuperação que é a retomada do material empilhado. O empilhamento é feito por máquinas empilhadeiras que podem formar pilhas com até 18 metros de altura. Devido a restrições de segurança, estudos geotécnicos e de engenharias, as alturas de pilhas são um importante critério para segurança, controle e estabilidade das mesmas e estão totalmente associadas à capacidade de estocagem.

O Quadro 3 mostra a divisão dos produtos por pátios em Carajás, em 2020. O principal produto, o *sinter feed*, ocupa cerca de 75% da área de estocagem dos pátios. O granulado e o *pellet feed* são estocados nos pátios A e B e o manganês é estocado apenas nos pátios G e H, através do basculamento de caminhões, sendo a pilha organizada através de pás carregadeiras e escavadeira, e a recuperação na área feita via recuperadora.

Quadro 3 - Alocação de produto por pátio em 2020

	Produto	Pátio A	Pátio B	Pátio C	Pátio D	Pátio G	Pátio H
1	Granulado	X	X		X		
2	Sinter Feed	X	X	X	X	X	X
3	Pellet Feed	X	X				
4	Manganês					X	X

Fonte: Autoria própria, 2020.

3.3 MÉTODO PROPOSTO

Com o objetivo de entender o funcionamento dos sistemas de drenagens dos pátios de estocagem de Carajás é proposto o método de estudo que será desenvolvido neste trabalho, através de visitas e observações em campo, entrevistas, estudos de ocorrências e incidentes, discussões com equipes multidisciplinares, testes e projetos.

Serão apresentadas as etapas descritas a seguir, bem como respondidas as perguntas formuladas em seguida.

Etapa 1: Avaliar a correlação dos acidentes críticos com a existência e eficiência dos sistemas de drenagem.

Etapa 2: Avaliar os tipos de drenagem encontradas nos pátios de Carajás.

Etapa 3: Definir ações para restabelecer a condição de drenagem dos pátios.

Etapa 4: Comparar eficiência das drenagens: superficial e de fundo.

Etapa 5: Desenvolver solução de drenagem em pátio.

- a. Existe sistema de drenagem nos pátios de estocagem de Carajás e quais os tipos de situações encontradas?
- b. Quais são as práticas e rotinas fundamentais para manter o sistema de drenagem operacional?
- c. Qual o tipo de drenagem mais eficiente nos pátios de Carajas?
- d. Quais melhorias e projetos estão em andamento nos pátios de Carajás?
- e. Quais os resultados alcançados no último ano com o início e sustentabilidade das atividades de drenagem implantadas? Quais os desafios?

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ETAPA 1

Na aplicação das etapas do método proposto na etapa 1: avaliar acidentes críticos e avaliar correlação com sistema de drenagem tipo de drenagem existente nos pátios e correlacionar com histórico de acidentes críticos.

Estudando o histórico de acidentes da Vale S/A nos últimos três anos no pátio estocagem de produtos de Carajás encontramos um acidente crítico com potencialidade de fatalidade (uma ou mais pessoas) onde uma pilha de minério *sinter feed* desmoronou no 21 março de 2018. A Figura 39 apresenta o registro da divulgação interna.

Figura 39 – Divulgação interna de acidente pilha 3C: desmoronamento de pilha

COMUNICAÇÃO DE INCIDENTE			
DIRETORIA EXECUTIVA FERROSOS E CARVÃO / DIRETORIA CORREDOR NORTE/ GERÊNCIA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO ESTOCAGEM EXPEDIÇÃO SN			
			
TIPO DE INCIDENTE: <input type="checkbox"/> ACIDENTE PESSOAL <input type="checkbox"/> ACIDENTE AMBIENTAL <input checked="" type="checkbox"/> ACIDENTE MATERIAL <input type="checkbox"/> QUASE ACIDENTE			
		DATA: 21/03/2018 HORA: 22:30 LOCAL: Pátio C e A, Usina 1 CIDADE/ESTADO/PAÍS: Parauapebas/Pará/Brasil	
		NÚMERO DA OCORRÊNCIA NO SAP-IM: CLASSIFICAÇÃO DA ATIVIDADE: Operação HOVE IMPACTO PARA A COMUNIDADE? Não	
DESCRIÇÃO RESUMIDA: Deslizamento de pilha de minério de ferro (sinter feed) do pátio C provocando danos nos transportadores TR 151K-43, TR 151K-04, postes de energia e acessos.			
DESCRIÇÃO DETALHADA: Durante operação de estocagem de minério de ferro (sinter feed) na pilha de minério 03C, ocorreu o deslizamento da pilha danificando os transportadores TR 151k-43 e conseqüente desmoronamento para o pátio A danificando o transportador TR 151k-04, soterramento de acessos e danos a rede elétrica.			
SEVERIDADE	SAÚDE E SEGURANÇA	MEIO AMBIENTE	SOCIAL E DIREITOS HUMANOS
REAL	NA	NA	NA
POTENCIAL	Catastrófico	NA	NA
RAC ASSOCIADO: RAC 08 Estabilidade de solo TIPO DE SERVIÇO: Operação CLASSIF. DO IMPACTO AMBIENTAL: NA			
Contatos: Eduardo.Azevedo@vale.com - Supervisor: leonardo.marques@vale.com - Gerente			
USO INTERNO: Este documento é de propriedade da Vale e deve ser usado somente em comunicações internas.			

Fonte: Comunicação interna de acidente. (VALE S/A, 2018).

Figura 40 – Localização da pilha 3C



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 41 – Conjunto de efeitos do desmoronamento da pilha 3C





Fonte: Aatoria própria (2020).

Figura 42 – Altura da pilha 3C



Fonte: Aatoria própria (2020).

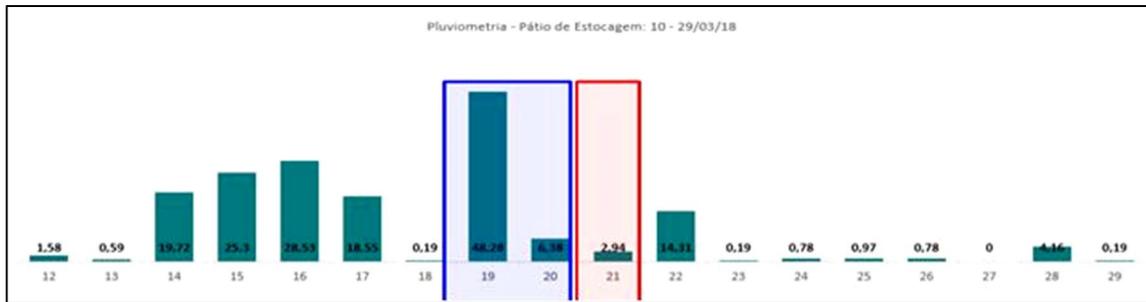
A pilha que desmoronou foi formada sobre o 4º corte remanescente de outra pilha. A base da pilha foi formada com material com umidade de 11,25 %, quando o limite máximo de umidade é 9,25%.

As amostras de material que escorreu sobre o acesso de veículos sinalizavam umidade a maior de 12,45%; já a amostra na base da pilha sinalizou umidade de 16,67%. A análise química e física granulométrica do material da pilha 3C estava dentro da especificação do produto, com exceção ao item umidade.

O acidente ocorreu no período chuvoso na região de Carajás. Nos dias que antecederam o evento e no dia do evento choveu forte, e houve deságue do transportador no pé da pilha. O evento ocorreu por volta de 22 horas e, ao longo do dia, houve forte chuva. Podemos

observar a pluviometria no mês de março de 2018 no pátio de estocagem no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Pluviometria dias anteriores e posteriores ao acidente



Fonte: Arquivo internos Vale S.A - Pluviometria em Serra Norte (2018).

A altura da pilha estava 12 metros e volume total em massa era de 62.600 toneladas. O ângulo da lança da empilhadeira EP 151-04 que formou a pilha estava em 7° e obedecia ao procedimento operacional 006922, que cita o máximo de 12 metros de altura para pilhas formadas no período chuvoso (o mês de março é período chuvoso).

Na análise acidente, que apesar de existirem ordens sistemáticas de limpeza de canaletas superficiais, as mesmas não eram/foram suficientes para garantir a drenagem eficiente dos pátios. Foi comprovada a necessidade de recuperação dos drenos de fundo dos pátios A, B, C, D. Foi também evidenciado que no sistema de drenagem superficial dos pátios G e H havia a necessidade de melhorias, como canaletas e rotina de drenagem diária. No geral, havia a necessidade melhorias nas drenagens de todos os pátios. Observar a Figura 43 foto do dia 22/03/2018, evidenciando graves problemas de acúmulo de água entre pilhas e ao redor das mesmas. Também foi comprovada a má formação de pilhas, recuperação incompleta e acúmulo de recheo nas drenagens (morto de resto de pilhas).

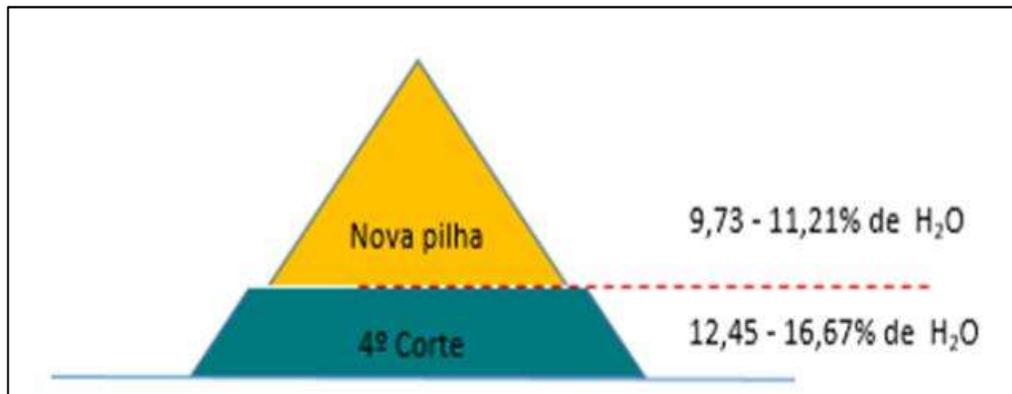
Figura 43 – Deficiência no sistema de drenagem dos pátios A e B



Fonte: Autoria própria (2020).

Na análise do acidente foi comprovada falha na estocagem: a estocagem sobre o 4º corte da pilha em recuperação e este 4º corte recebeu chuva formando uma base úmida. O método de recuperação em bancadas curtas é o mais adequado para o período chuvoso, pois, uma menor área da pilha fica exposta caso aconteça uma precipitação de chuvas. Foi evidenciada a recuperação em patamar na pilha anterior a 3C, e que o empilhamento sobre uma base antiga e mais úmida gera instabilidade na pilha, devido aos graus de compactação, saturação e freática diferentes para cada "pacote". Base muito úmida perde a capacidade de sustentação da pilha. Observe a diferença de umidade encontrada nos diferentes pontos da pilha 3C que desmoronou na Figura 46 – Pilha formada sobre o quarto corte incompleto e umidades encontradas, e o registro de um exemplo de estocagem em 4º corte na Figura 44.

Figura 44 – Estocagem em 4º corte e umidade encontrada



Fonte: Arquivos internos Vale S.A - Análise Acidente Pilha 3C CPIA (2018).

Figura 45 – Estocagem em 4º Corte



Fonte: Relatório Técnico Vale (2017).

Comprovado na análise que os sistemas de drenagens dos pátios de estocagem estavam inadequados, devido ter cerca de 3 metros de minério colmatado em cima dos drenos profundos, impedindo a funcionalidade da drenagem de fundo.

Em resumo, temos as principais causas do desmoronamento da pilha 3 C:

- Alta umidade de formação da pilha: formação (11,21% de máxima, para limite de especificação de 9,2%).
- Empilhamento sobre base de pilha com alto teor de umidade (16,45%).
- Drenagem inadequada do pátio C de estocagem.
- Elevada cota de lastro do pátio C, causando deficiência na drenagem.
- Recuperação da pilha 3 C no método patamar, deixando a base da pilha (4º corte) sem recuperação.

Foi elaborado um plano de ação após o acidente. Em resumo, temos as principais ações:

- Melhorar toda a drenagem superficial existente nos pátios (A, B, C, D) retornando à condição original do pátio.
- Realizar estudo definindo altura adequada da pilha para períodos seco e chuvoso, considerando umidade, tipo material e grau de saturação do minério.
- Definir critérios de tomada de decisão para estocagem.
- Estabelecer comitê de pátios e pilhas do Corredor Norte.
- Revisar a análise de riscos dos processos de estocagem e recuperação de minérios (trafegabilidade de acesso, drenagem, sinalização vertical, controle de acesso e riscos de quedas de pessoas e equipamentos).
- Reduzir a altura de pilhas e redimensionar as áreas de pilhas conforme projetos de iniciais e considerando a área para drenagem superficial
- Adequar procedimentos operacionais: padrão de estocagem e recuperação para períodos seco e chuvoso.
- Realizar avaliação técnica para aplicar medição online de umidade de minério no empilhamento.
- Realizar estudo de engenharia para avaliar a correlação de umidade / altura da pilha.
- Avaliação técnica de recuperação/reconstrução dos lastros e drenos dos pátios

(A, B, C, D, G e H).

- Melhorar toda drenagem superficial existente nos pátios de produto.
- Realizar estudo de comportamento dos minérios nas pilhas de estocagem do Corredor Norte.

Diante do evento relatado, comprovamos a forte relação dos eventos críticos de desmoronamento de pilhas com a ineficiência dos sistemas de drenagem dos pátios.

4.2 ETAPA 2

Iniciamos a etapa 2 do método, que é avaliar os tipos de drenagem encontrada nos diferentes pátios de Carajás. Esta etapa foi feita através de visita em campos no pátio e a observação do fenômeno de drenagem após chuvas torrenciais, e também após a drenagem oriunda do próprio material posteriormente ao tempo de residência nas pilhas. Também foram observados o histórico dos projetos e iniciais de todos os pátios.

Em resumo, temos o Quadro 4 que sintetiza os tipos de drenagem dos pátios de estocagem em 2018 e o funcionamento dos mesmos.

Quadro 4 – Tipos de drenagem pelo Projeto Pátio em 2018

Pátio	Drenagem de Projeto do Pátio	Status	Observação encontrada
A/B	Fundo	Sistema de drenagem existente pelo projeto, porém com material comatado	Atuação de drenagem superficial e de drenagem de fundo em alguns pontos
C/D	Fundo	Sistema de drenagem existente pelo projeto, porém material comatado	Evidenciado drenagens de fundo, porém lenta e com muitos pontos de acúmulo de água
G/H	Superficial	Ineficiente	Evidenciado drenagens superficiais

Fonte: Autoria própria (2018).

4.3 ETAPA 3

Iniciamos a etapa 3 do método, que tem como objetivo definir ações para restabelecer a condição de drenagem dos pátios de Carajás, garantindo um processo estável e

funcional.

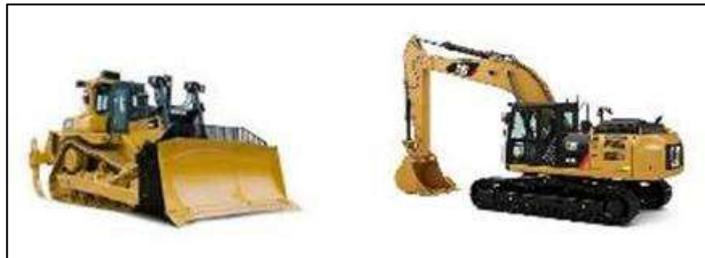
Figura 46 – Condição de Drenagem do Fundo dos Pátios C e D antes dos trabalhos



Fonte: A autoria própria (2020).

Foi realizada a atividade de rebaixamento de pilhas nos pátios em que, originalmente, constava drenagem de fundo. Foi realizada a retirada, em média, de 3 metros de material compactado/colmatado nas pilhas, voltando o pátio à condição original de projeto. Para isto foram envolvidas equipes de infraestrutura de mina, com técnicos especialistas, e bem como foram dimensionados equipamentos para esta atividade: escavadeira hidráulica e trator, apresentados na Figura 47.

Figura 47 – Equipamentos utilizados na atividade de rebaixamento de pátio

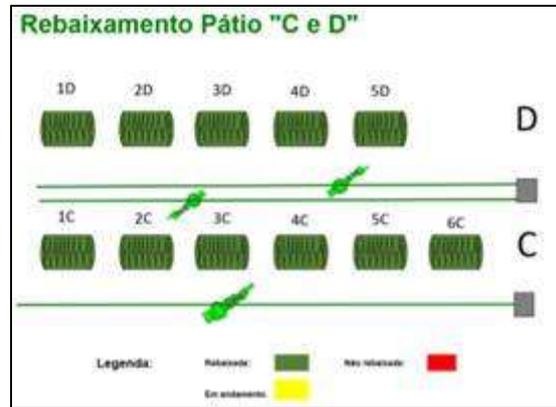


Fonte: Catalogo de equipamentos Sotreq.

Durante a realização das atividades o pátio ficou restrito, com capacidade de estocagem reduzida, porém não houve registro de perdas na produção e expedição de Serra

Norte. A atividade foi sistematizada através de ordem de manutenção e registro no sistema SAP⁴ na empresa. O trabalho foi iniciado no pátio C e, em seguida, realizados em nos pátios D, A e B. A Figura 48 apresenta registros-esboço do mapa de pátio C e D com pilhas rebaixadas.

Figura 48 – Rebaixamento de pilhas nos pátios C e D



Fonte: Autoria própria (2020).

A massa total de minério colmatado retirado pela execução das atividades de rebaixamento foi cerca de 160 mil toneladas. Material este reprocessado em planta de reprocessamento na Usina 4 de Carajás e injetado em vagões, tornando o produto expedido e vendido aos clientes. No Quadro 5 podem ser observados os registros das atividades.

Quadro 5 – Resumo de massa colmatada retirada na atividade de rebaixamento por pilha dos pátios C e D

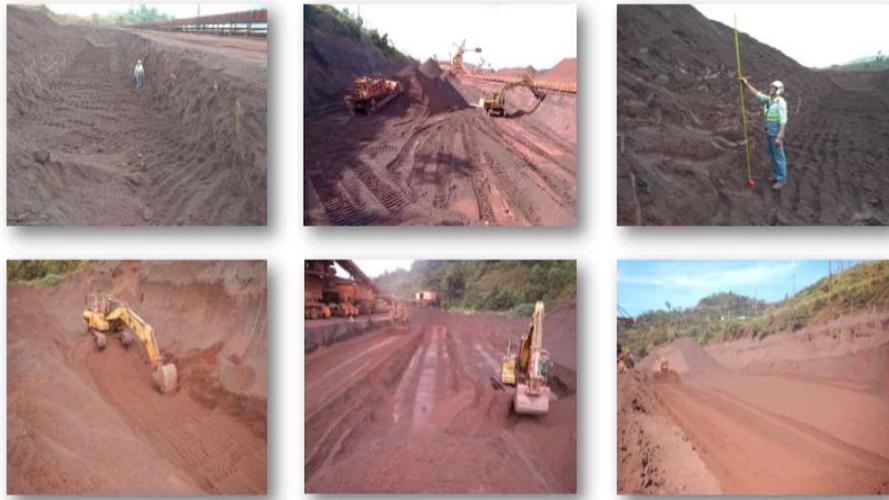
PATIO	PILHA	VOLUME RECUPERADO(Tonelada)	OBSERVAÇÃO
PATIO C	PILHA 1C	31.142,59	BALIZAMENTO 13 a 24.
PATIO C	PILHA 2C	17.090,65	BALIZAMENTO 24 a 33.
PATIO C	PILHA 3C	27.402,58	BALIZAMENTO 34 a 43.
PATIO C	PILHA 4C	36.316,77	BALIZAMENTO 44 A 54.
PATIO C	PILHA 5C	15.177,43	BALIZAMENTO 55 A 64.
PATIO C	PILHA 6C	14.384,88	BALIZAMENTO 65 a 82.
PATIO D	PILHA 2D	2.780,44	BALIZAMENTO 23 A 33.
PATIO D	PILHA 3D	9.500,00	BALIZAMENTO 34 a 45.
PATIO D	PILHA 5D	1.066	BALIZAMENTO 56 a 61.
PATIO D	PILHA 6D	4.635,00	BALIZAMENTO 61 A 69.
TOTAL RECUPERADO:		159.496,34	

Fonte: Autoria própria (2020).

⁴ A sigla alemã SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*) é traduzida para o português como **Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados**.

Figura 49 – Material rebaixado em torno de 3 metros no pátio C

Rebaixamento dos pátios C/D



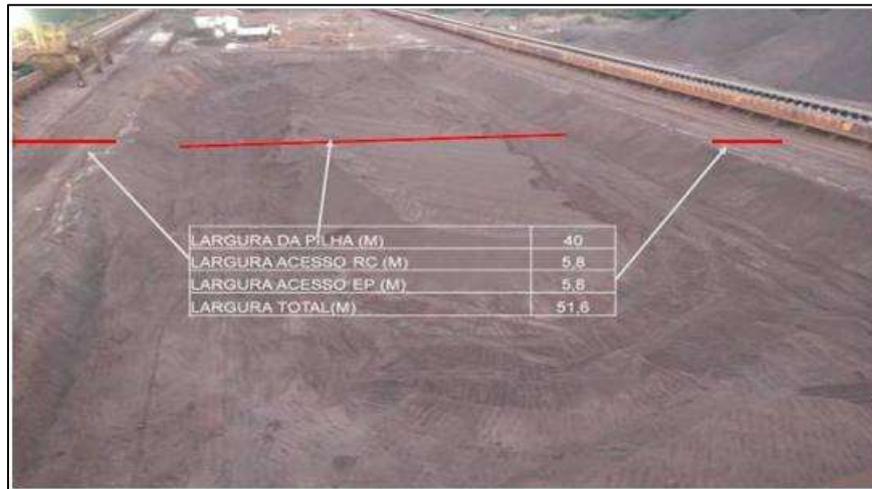
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 50 – Retaludamento do “caixote de pátio” no pátio C



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 51 – Medição das dimensões do pátio após o rebaixamento e retaludamento

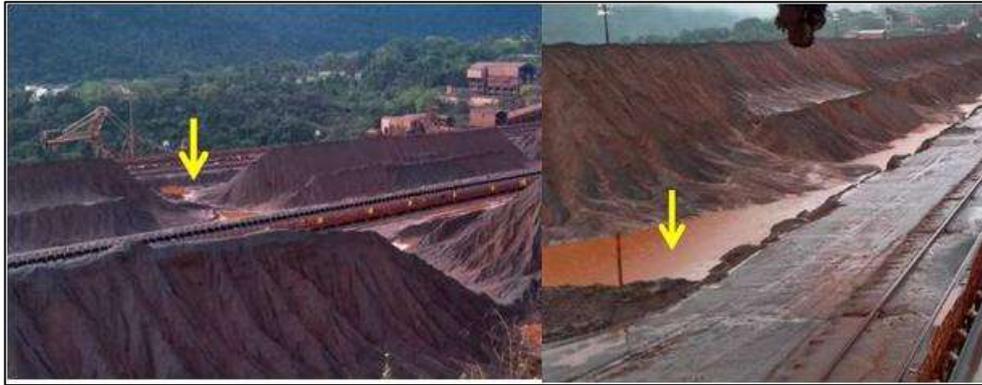


Fonte: Autoria própria (2020).

Durante a execução das atividades de rebaixamento de pilhas foi observado quebra de diversos componentes dos equipamentos escavadeira e trator, devido anos de compactação do material e inexistência desta rotina de renovação do nível inicial da pilha. Foi observado que, após as chuvas, o sistema drenagem estava funcional e a drenagem de fundo conservada. Foi observado também que nas canaletas de drenagem havia passagem de água dos drenos profundos, retirando assim água das pilhas para o sistema de drenagem externo ao pátio.

Foram implantadas as rotinas de observação diária do sistema de drenagem e manutenção dos drenos profundos em pontos identificados com baixa drenabilidade. Foram também criadas a rotina de semestral de rebaixamento de pilhas e as rotinas diárias de manutenção da drenagem entre pilhas. Chegou-se à conclusão de que os sistemas de drenagem dos pátios C e D funcionam, porém precisam de rotinas de manutenção de separação de pilhas, através de escavadeira, e restabelecimento da condição quando observado entupimento do colchão drenante através de finos carreados da pilha após chuvas (Figura 52, a seguir).

Figura 52 – Sentido da drenagem nos pátios C e D



Fonte: Autoria própria (2020).

Além do rebaixamento de pilhas foram realizadas outras atividades no contexto da drenagem, a exemplo a pilha 6C, que apresentava problemas no sistema de drenagem; como podemos observar nos registros, havia grave acúmulo de água que pode ser observado na Figura 53.

Figura 53 – Problemas pontuais de drenagem na pilha 6C



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 54 – Pilha 6C rebaixada e restabelecida a drenagem de fundo



Fonte: Autoria própria (2020).

Foram revitalizadas as canaletas laterais e longitudinais externas, próximas à pilha 6C, que estavam comprometidas e causando o acúmulo de água nesta região. Foi um problema pontual identificado somente nesta pilha e normalizado através da instalação/renovação da canaleta lateral, a qual estava obstruída. Foi renovada esta drenagem através da instalação de tubos PEAD. A Figura 55 apresenta os registros realizados no restabelecimento da condição de drenagem.

Figura 55 – Restabelecimento de tubos de drenagem na pilha 6C



Fonte: Autoria própria (2020).

Na Figura 56 evidenciamos o sistema de drenagem restabelecido e a pilha sem acúmulo de água.

Figura 56 – Canaleta lateral restabelecida na pilha 6C



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 57 – Pátio C após trabalhos de rebaixamento, retaludamento e adequação das pilhas



Fonte: Autoria própria (2020).

Partimos para o rebaixamento nos pátios A e B, pátios mais antigos, construídos em Carajás por volta de 1980. Através do estudo de projetos foi observado que nestes pátios se considerava projeto de drenagem fundo com colchão drenante. Em entrevista em campo com as equipes mais antigas do pátio, os mesmos sinalizaram que, devido à realização de algumas obras de expansão dos pátios A e B, supostamente os sistemas de drenagem de fundo não estariam mais funcionais. Essa hipótese foi confirmada após a realização do rebaixamento das pilhas dos pátios A e B e, após chuva, a água não escoava para as camadas inferiores da pilha, e se acumulava entre pilhas laterais e no entorno das pilhas de minério, com dificuldade de escoar para fora do pátio. As bases de pilhas apresentavam grande acúmulo de água, que era prejudicial para a estabilidade e formação de pilhas durante o processo de estocagem.

Diante dessa situação foi definida uma série de atividades para permitir a operacionalização da drenagem superficial nos pátios A e B, uma drenagem manual, mecanizada através de utilização de máquinas móveis como pá carregadeira e trator de esteira, criação de canaletas superficiais internas orientando o fluxo de água para pontos de drenagem estratégicos, existentes nas extremidades do pátio. Essas atividades precisam de rotina diária, pois, caso contrário, a água se acumula no espaço entre pilhas, entorno da pilha e acessos. A água deve ser direcionada para fora das pilhas. A Figura 61 apresenta o exemplo de como uma pilha deve estar separada de outra, permitindo a passagem de uma pá carregadeira e permitindo que a mesma trabalhe realizando o escoamento da água conforme sentido das setas, e direcionando para a canaleta superficial na lateral do pátio.

Figura 58 – Modelo de separação de pilhas no pátio A/B e sentido de escoamento



Fonte: Aatoria própria (2020).

Na Figura 59 podemos observar a separação de pilhas e o sentido de drenagem 360°, ao entorno da pilha, com a finalidade de não ficar água acumulada. As máquinas que atuam na drenagem superficial devem garantir que a água que foi drenada da pilha seja retirada e não fique acumulada ao redor da mesma e nem em sua base.

Figura 59 – Indicação de drenagem 360° no pátio A



Fonte: Aatoria própria (2020).

Foi também realizada a adequação de canaletas laterais, nivelamento do piso com ângulo de inclinação direcionando a água para a canaletas no pátio A e B. Podemos observar nas imagens que compõem a Figura 60, que havia obstrução nas canaletas.

Figura 60 – Obstrução da canaleta superficial no pátio A



Fonte: Autoria própria (2020).

Na Figura 61 podemos observar, após as adequações de drenagem, acesso, nivelamento e uma condição mais adequada para o pátio A.

Figura 61 – Situação do pátio após serviços de adequação da drenagem superficial



Fonte: Autoria própria (2020).

No pátio B também foram realizadas adequações às drenagens superficiais. Podemos observar na Figura 62 os registros de ineficiência das canaletas laterais do pátio B.

Figura 62 – Ineficiência da drenagem lateral do Pátio B



Fonte: Autoria própria (2020).

Para a adequação do pátio B foi realizada limpeza, nivelados os acessos, realizado escoramento da via de rolamento (berma) e adequando a situação da canaleta lateral (com limpeza geral, identificação, delimitação e controle) do pátio B, como se pode observar na Figura 63.

Figura 63 – Adequação da canaleta lateral do Pátio B



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 64 – Sentido da drenagem superficial na área do *pellet* Pátios A e B



Fonte: Autoria própria (2020).

Foi estabelecida a rotina de tombamento de morto ou recheio de pilhas, que é o material que sobra da recuperação. Esta atividade é fundamental para que a área seja liberada para estocagem sem restos e sobras de pilhas que acumulam água. O material remontado deve ser recuperado com a máquina retomadora de roda caçamba.

Figura 65 – Rotina de recheio do morto nas pilhas do Pátio B



Fonte: Aatoria própria (2020).

Pode-se observar na Figura 66 a atuação de três equipamentos em uma mesma pilha: pá carregadeira, trator e escavadeira.

Também nos pátios A e B foi restabelecido o funcionamento de *sumps* que estavam abandonados e sem uso. Infraestruturas que são complementares e ajudam no sistema de drenagem. Também foi recuperada a funcionalidade da canaleta ao lado do TR 151-23, que estava assoreada e sem eficácia.

Figura 66 – Restabelecimento dos *sumps* de projeto e canaletas de concreto dos Pátios A e B



Fonte: Aatoria própria (2020).

Foi redefinido o layout e disposição das pilhas, e criada a rotina de separação de pilhas nos pátios com drenagem superficial. Rotina que facilita a escoamento superficial da água das pilhas e aumenta a eficiência do processo. Esta atividade passou a ser diária e a ser

realizada em todos os turnos.

Os trabalhos de drenagem no pátio B também abrangeram a região de estocagem do produto *pellet feed*. Como podemos observar o antes e depois na Figura 71, onde o material avançava sobre as drenagens e áreas de escoamento.

Figura 67 – Drenagem na área de *pellet* - Pátio B, antes e depois



Fonte: Autoria própria (2020).

Ao longo das pilhas *pellet* e na lateral, observa-se que o produto invadia a área de acesso de veículos e se aproximava da via de rolamento da EP 149-01. Não havia delimitação do local correto da pilha e o produto avançava nos acessos superior e inferior.

Figura 68 – Antes e depois lateral das pilhas de PFCJ



Fonte: Autoria própria (2020).

Como podemos observar na Figura 69, havia acúmulo de água na base da pilha de PFCJ, com comprometimento da drenagem.

Figura 69 – Estocagem em pilha de *pellet* com base úmida



Fonte: Autoria própria (2020).

Na Figura 70 podemos observar a mesma região na pilha de *pellet*, antes e depois do estabelecimento da condição de drenagem.

Figura 70 – Área de estocagem de *pellet* antes e depois da drenagem



Fonte: Autoria própria (2020).

Partimos para a atuação nos pátios G e H que, pela concepção e projeto da usina 2 (minério processado a umidade natural), ou seja, não adicionado água ao processo produtivo. Naturalmente o produto da usina 2, que é estocado no pátio G e H, apresenta menores teores de umidade em comparação aos produtos estocados no pátio A, B, C, D.

Os pátios G e H, na concepção de projeto, não contemplaram drenagem de fundo. A drenagem é superficial. Para garantia da eficiência desta drenagem superficial também foram feitos trabalhos como: readequação dos ângulos de estocagem, separação de quatro pilhas por pátio, ajudando a drenagem entre pilhas, estabelecimento de rotina de drenagem através de equipamentos móveis, tombamento de morto e estabelecimento das drenagens laterais. A Figura 71 apresenta os equipamentos usados na drenagem superficial dos pátios G e H.

Figura 71 – Equipamentos utilizados na estruturação da drenagem do Pátio G e H:
trator e escavadeira hidráulica



Fonte: Catálogo de Equipamentos Sotreq.

A seguir, podemos observar na Figura 72 que o sistema de drenagem superficial dos Pátios G e H não estavam funcionais e precisavam de atuação.

Figura 72 – Água empossada nos Pátios G e H – Drenagem ineficiente



Fonte: Autoria própria (2020).

Foi iniciado o restabelecimento da condição normal de drenagem, emitido nota de Ordem de Manutenção (OM), e iniciadas as atividades com trator D6, como podemos observar na Figura 73.

Figura 73 – Atuação do trator D6 nas drenagens dos Pátios G e H



Fonte: Autoria própria (2020).

As atividades de drenagem e remoção de material colmatado foram registradas no SAP através de OM para controle de recurso, tempo e registros gerais que podem ser auditados. A Figura 74 mostra um exemplo de OM emitida nas atividades de drenagem.

Figura 74 – Registro de OM no SAP das atividades na drenagem superficial

EQUIPAMENTO		Centro de Custo	Criticidade	Tipos Contratos				
Nome	Descrição Equipamento	1000027						
Nº Identificação Técnica		Término de Garantia		Fumo Indutivo Não				
Local de Instalação	Descrição do Local de Instalação							
FCJA-BFE-EST-PATIO	PATIO ESTOCAGEM							
Local de Instalação Superior	Descrição do Local de Instalação Superior							
FCJA-BFE-EST	ESTOCAGEM							
Características do Equipamento								
ORDEN DE MANUTENÇÃO								
Data Início	Hora Início	Data Fim	Hora Fim	Duração	Prioridade	Tipo de Manutenção		Tipos de Atividade
21/12/2018	09:43	27/12/2018	14:45	42.0	Média	Serviço de Apoio		Serviço
Ponto de Partida		Comprimento	Plano de Manutenção		Descrição de Plano			
Ponto Final		Unidade de Medida	Condição de Operação					
Status Sistema Ordem					Status Usúário Ordem			
LIB. MBR, CAPC, CCOP, DMNV, SCDM					EXEC			
Equip		Responsável		Planejador				
IPOPOS		Lider de Manutenção /		DI				
OPERACAO DE				Uma				
NOTA DE MANUTENÇÃO								
Nota		Descrição		Data Solicitação	Autor	Outras Solicitações		
				00/00/0000		Não		
DETALHAMENTO DA ORDEM								
REMOÇÃO MATERIAL, COMATADO/COMPACTADO/NO PÁTIO H PARA MELHOR EFICIENCIA DA DRENAGEM DE FUNDO.								
DURAÇÃO DA TAREFA								
Início Contrato		Fim Contrato		Parada Produção				
21.12.2018		27.12.2018		(/dia / PMA)				
08:40		16:30						
541553		Edmar de Oliveira e Silva						

Fonte: VALE, SAP (2018).

No conjunto da Figura 75 podemos observar o início dos trabalhos de drenagem nos Pátios G e H de Carajás. Pode-se observar a situação na qual se encontravam os pátios.

Figura 75 – Situação inicial de drenagem dos Pátios G e H



Fonte: Autoria própria (2020).

A drenagem nos Pátios G e H é superficial. No centro considera-se o ponto p0. Neste ponto, através de inclinação do terreno, foi redefinido o ângulo de inclinação favorecendo o escoamento da água superficial para fora do pátio através de canaletas superficiais. Podemos observar na Figura 76 o sentido de escoamento p0, material nas canaletas até os pontos de saída do Pátio. A ideia do projeto de drenagem superficial destes pátios é encaminhar a água drenada para canaletas nas cabeceiras do mesmo, seguindo o fluxo de drenagem externa ao pátio.

Figura 76 – Sentido de escoamento de drenagem no meio dos Pátios G e H



Fonte: Autoria própria (2020).

Verificar na Figura 77 a localização e sentido de escoamento.

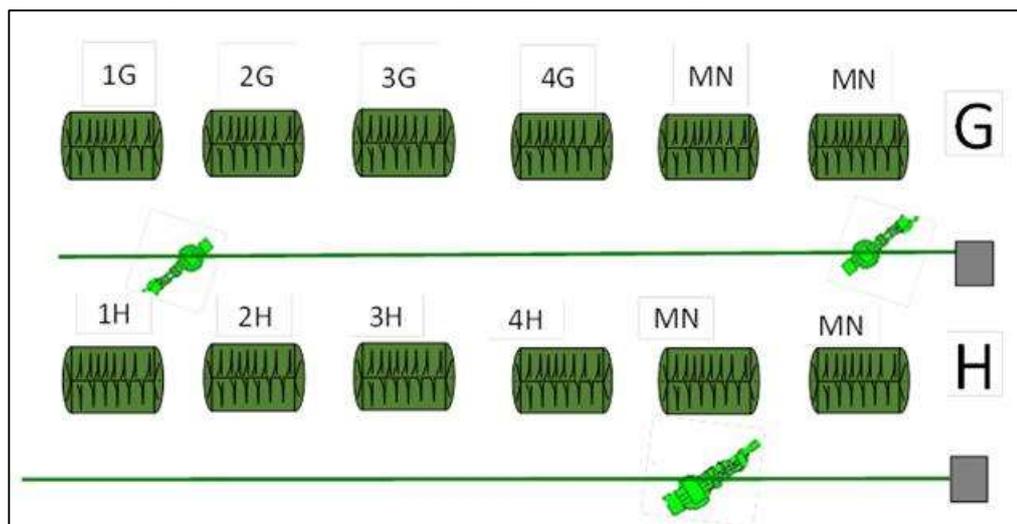
Figura 77 – Sentido de escoamento para ponto de drenagem existente na cabeceira dos Pátios G e H – área das pilhas de manganês



Fonte: Autoria própria (2020).

Outra importante ação foi a padronização e layouts dos Pátios G e H definindo balizas de cada pilha. A divisão de pilhas e conformidades das mesmas é fator primordial para a drenagem superficial, mantendo a divisão funcional e as inclinações necessárias, conduzindo a água acumulada entre pilhas para área externa ao pátio. Além da divisão de pilhas foi feito o retaludamento e definidas as drenagens laterais em todas as pilhas (*sinter* e manganês). Na Figura 78 podemos observar o layout proposto, retaludamento e drenagem.

Figura 78 – Layout dos Pátios G e H para pilhas, drenagem lateral e retaludamento



Fonte: Autoria própria (2020).

Na Figura 79 podemos observar a atuação do trator d6 nas canaletas superficiais dos Pátios G e H.

Figura 79 – Registro de atuação do trator mantendo a área de escoamento lateral



Fonte: Aatoria própria (2020).

Após os trabalhos e redefinição dos layouts, podemos observar na Figura 80 os Pátios G e H.

Figura 80 – Pátios G e H após os trabalhos de drenagem superficial, separação das pilhas e retaludamento



Fonte: Aatoria própria (2020).

Além dos trabalhos de drenagem realizados em todos os pátios, outras ações contribuíram para um pátio de estocagem sustentável e na condição padrão.

- Determinação da altura de pilhas conforme os períodos seco e chuvoso, através de estudos de engenharia, considerando as características físicas, química e

condições do pátio.

- Revisão do mapa de pátio reordenando as pilhas, definindo as balizas de drenagem, distribuição de produtos e capacidade.
- Revisão dos ângulos de estocagem das empilhadeiras, adequando pilhas à necessidade de drenagem.
- Revisão dos procedimentos operacionais de estocagem, formação de pilhas e recuperações das mesmas.
- Acompanhamentos diários de amostral de pilhas e pátio da altura, conformidade de pilha, adequação à drenagem, recuperação, desvios e outros, e tomada de decisão conforme desvios.
- Checks de drenagem nos pátios através da rota kamishiba, direcionando equipamentos para foco do dia.
- Criação de rotina sistematizada semanal para atividade de drenagem, com máquinas móveis nos pátios de estocagem e acompanhamento da aderência a programação.
- Treinamentos das equipes de pátio e infraestrutura de mina no tema drenagem de pátios.
- Controle de ângulo de elevação de empilhadeiras e ângulos de giro.
- Controle de ângulo de recuperação por baliza das recuperadoras nos pátios e avaliação crítica dos valores encontrados, podendo sinalizar um ponto necessário para rebaixamento criando, assim, conexão com a drenagem.
- Criação do indicador de pilha padrão para avaliação de conformidade das pilhas

Além das atividades de rebaixamento de pilhas e manutenção das drenagens de fundo foi realizada a identificação de todas canaletas internas e pontos de drenagem em todos os pátios, e identificado o sentido de escoamento do fluxo interligando aos sistemas de drenagem e canaletas externas ao pátio. O resumo pode ser observado na Figura 81.

Figura 81 – Pontos de drenagem nos Pátios de Estocagem



Fonte: Autoria própria (2020).

Sugere-se a instalação de medidores de vazão para quantificar com exatidão o volume drenado por pátio, a exemplo temos calhas parshall⁵ as quais podem ser utilizadas. Esta tecnologia poderia ser aplicada e conforme o volume pluviométrico. Poderíamos quantificar quanto tempo após uma grande precipitação o pátio voltaria à sua condição normal, com todas as pilhas drenadas.

Devido ao volume de água drenada do material e das chuvas, sugere-se a instalação de um ponto de recuperação de água, por exemplo, um tanque de recuperação e sistema de bombeamento; esta água poderia ser utilizada para limpeza de máquinas, transportadores de correia e casas de transferência no pátio.

4.4 ETAPA 4

Após o restabelecimento dos sistemas de drenagens existentes e implantado as rotinas de monitoramento, manutenção e funcionamento, partimos para um comparativo dos dois tipos de drenagem encontrados nos pátios de produto de Carajás: drenagem de funcho e drenagem superficial. Os pátios escolhidos para esse comparativo foram os Pátio C e A.

⁵ A Calha Parshall é um dispositivo tradicional para medição de vazão em canais abertos de líquidos fluindo por gravidade. Basicamente, o medidor de vazão Calha Parshall consiste numa seção convergente, numa seção estrangulada “garganta” e uma seção divergente, dispostas em planta.

No Quadro 6 podemos observar o resumo do pátio e as drenagens, antes e depois dos trabalhos realizados.

Quadro 6 – Pátios x Drenagem x Simulação antes e depois

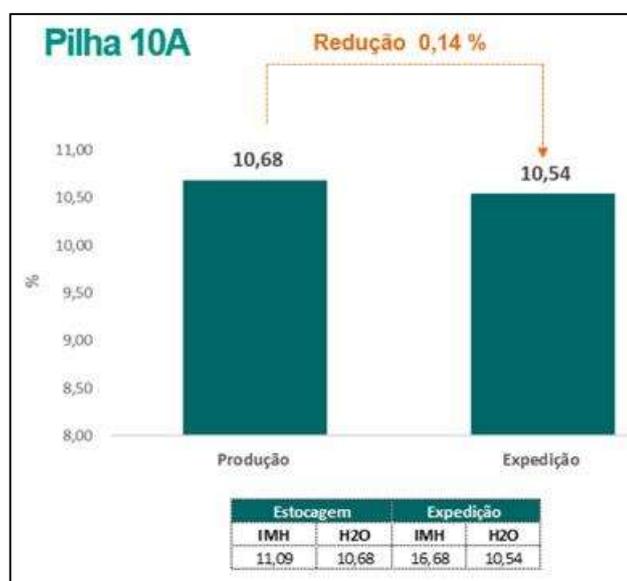
Pátio	Drenagem de Projeto do Pátio	Antes	Depois
A/B	Fundo e Superficial	Sistema de drenagem existente pelo projeto, porém com material colmatado e ineficiente	Drenagem superficial funcionando
C/D	Fundo	Sistema de drenagem existente pelo projeto, porém material colmatado - ineficiente	Drenagem de fundo funcionando
G/H	Superficial	Ineficiente	Drenagem superficial funcionando

Fonte: Elaboração própria (2018).

O objetivo era observar a eficiência das drenagens: superficial e de fundo após tempo de residência nas pilhas e amostras na expedição. Fizemos o comparativo entre uma pilha do pátio A (drenagem superficial) e uma pilha do pátio C (drenagem de fundo) comparando os resultados de umidade na produção e umidade na expedição (após a drenagem da pilha pelo tempo de residência).

Os resultados da pilha do Pátio A estão demonstrados no Gráfico 2.

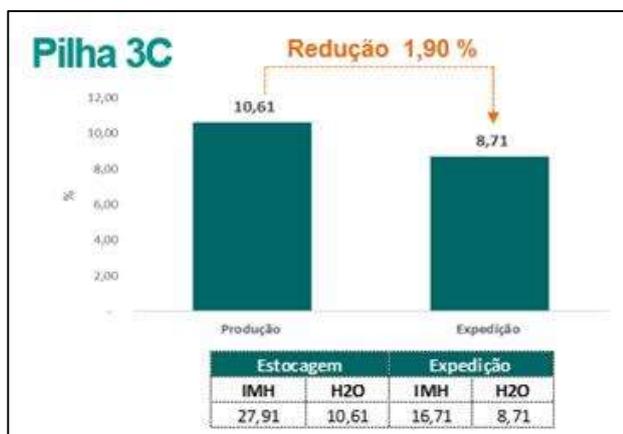
Gráfico 2 – Pilha 10A



Fonte: Elaboração própria (2018).

O Gráfico 3 apresenta os resultados na pilha do Pátio C.

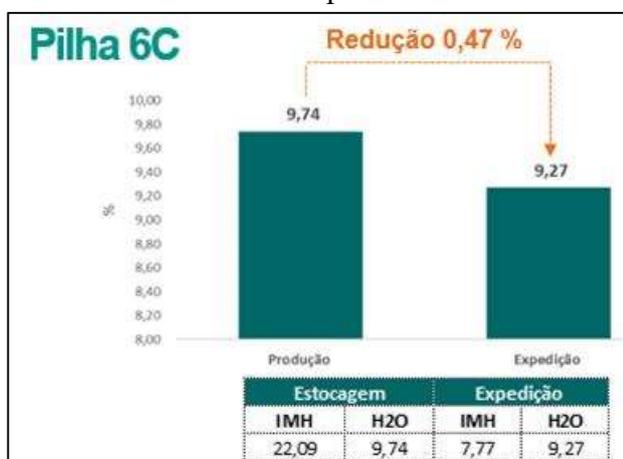
Gráfico 3 – Pilha 3C



Fonte: Elaboração própria (2018).

Foi feita uma contraprova com outra pilha do Pátio C. O resultado é apresentado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Contraprova Pilha 6C



Fonte: Elaboração própria (2018).

Foi concluído após os testes que o sistema de drenagem de fundo do pátio C apresenta maior eficiência de drenagem, considerando o tipo de drenagem se comparado ao sistema de drenagem do pátio B. Os ganhos comparativos variam de 0,33 a 1,76 p.p nos testes realizados.

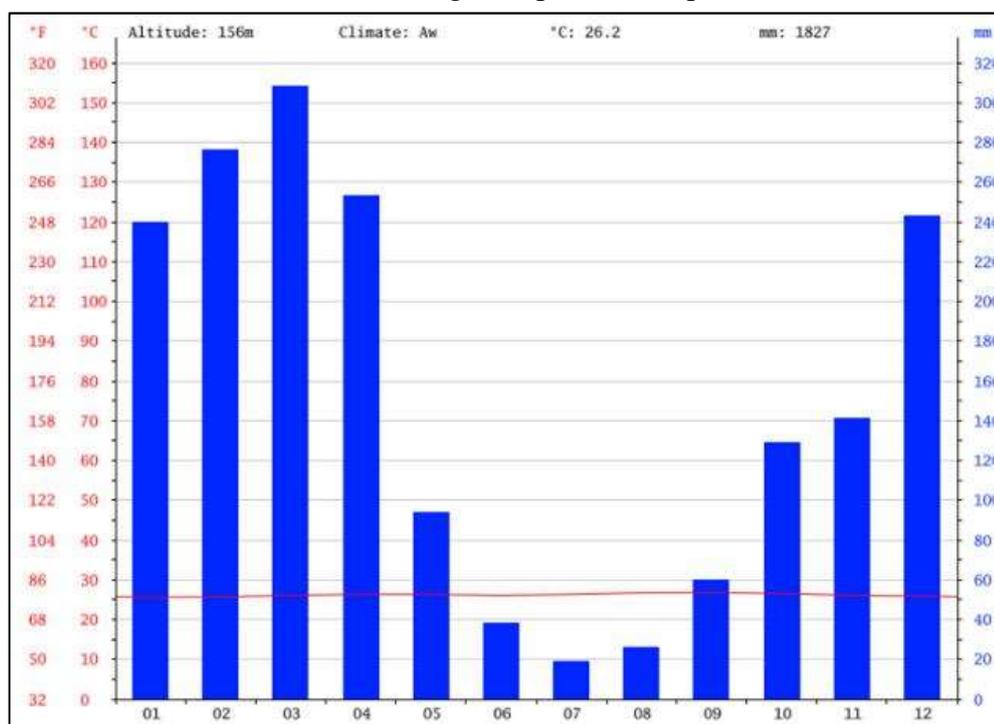
É importante considerar que as variações podem depender do percentual de Índice de Minério Hidratado (IMH), como também da umidade na produção. Porém, os dados foram de comparações semelhantes, considerando os parâmetros de tempo de residência e que não houve precipitação nos dias de testes.

4.5 ETAPA 5

A partir da etapa 4 que nos trouxe que a drenagem de fundo é um sistema mais eficiente, e para buscar evoluir na eficácia de drenagem no pátio de produto de Carajás, para melhor atuação dos produtos expedidos com menor teor de umidade, atendendo à necessidade de TML dos embarques e reduzindo problemas de manuseio no corredor norte, houve a necessidade de desenvolver projeto de engenharia a fim de instalar drenagem de fundo dos Pátios A, B, G e H, sendo o pátio B escolhido como pátio piloto. Para isso foram convidados os times de implantação e desenvolvimento de projetos e, junto com a área de pátio, área de engenharia e geotecnia, foi iniciado o desenvolvimento para solução e projeto.

Um ponto importante é a questão das chuvas, clima e chuva de Carajás e Parauapebas. O clima em Parauapebas é tropical. Há muito mais pluviosidade no verão do que no inverno. Segundo a Köppen e Geiger, o clima é classificado como Aw. Em Parauapebas a temperatura média é 26,2 °C. Pluviosidade média anual de 1.827 mm (Climate-data.org). Julho é o mês mais seco com 19 mm. O mês de março é o mês com maior precipitação, apresentando média de 308 mm

Gráfico 5 – Climograma para Parauapebas



Fonte: Drenagem de Fundo de Pátios. climate-data.org – ET ET-1510KN-B-00001

Além do desenvolvimento de uma drenagem de fundo também foi solicitada uma

solução para a drenagem superficial, por considerar a forte precipitação que acontece na região e nos pátios de produto, ou seja, a solução partiria para atendimento a uma drenagem de fundo somada à solução de drenagem superficial, com a finalidade de captar e retirar, de forma rápida, esta água de dentro do pátio.

O projeto foi desenvolvido durante o ano de 2019, e considerou o objetivo de realizar a drenagem da água pluvial e da água de drenabilidade do material empilhado, a fim de permitir uma rápida infiltração e escoamento das águas e evitar o empoçamento na saída das pilhas. Ou seja, um projeto de drenagem de fundo em conjunto com drenagem superficial (criação de caixas-ralos), com objetivo de drenar de forma mais rápida as águas provenientes de chuvas torrenciais.

Partimos para buscar recurso de investimento para desenvolver projetos de engenharia contratando empresa com know-how em projetos de drenagem e defender o investimento e ganhos para a companhia, baseado em segurança e produtividade.

Na Tabela 10 podemos observar os valores aproximados para o desenvolvimento de projeto e de obra de drenagem de fundo do pátio de produto B de Carajás.

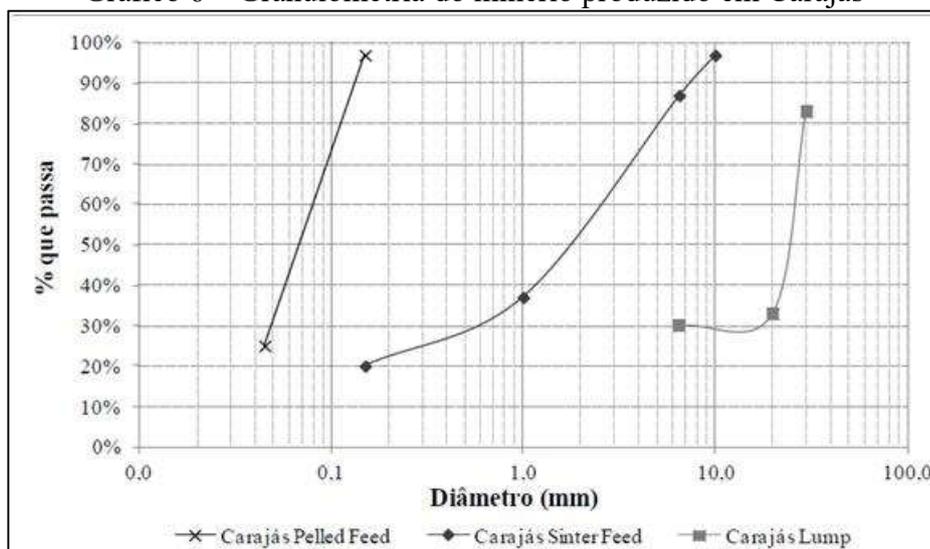
Tabela 9 - Valores gerais para desenvolvimento de projeto e execução de obra de drenagem no Pátio B

			USINA							INDICADOR MACRO	
			Unidade	Quantidade	XXX	XXX	XXX	Total Geral	Total Homem Hora	INDICADOR MACRO	
					0000KS	1000KS	0430KS			HH/Quantidade	R\$/Quantidade
Item	Descrição	Ít Nivel do Código de Análise		R\$	R\$	R\$	R\$	HH			
Investimentos Diretos											
1	INVESTIMENTOS DIRETOS - GRUPO A										
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES										
1.1.1	INFRAESTRUTURA (MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE CANTEIRO)	C	m2	-	3.205.487,80		3.205.487,80				
1.2.1	TERRAPLENAGEM	C	m3	39.600,00	461.128,58		461.128,58			11,64	
1.2.2	DRENAGEM	C	m	7.800,00	10.774.828,81		10.774.828,81			1.381,29	
SUBTOTAL - GRUPO A (Fornecimento e Serviços)					14.441.445,19	-	14.441.445,19				
TOTAL INVESTIMENTO DIRETO (GRUPO A + GRUPO B)					14.441.445,19	-	14.441.445,19				
TOTAL GERAL					14.441.445,19	-	14.441.445,19				

Fonte: Elaboração própria (2019).

O pátio de estocagem B é designado para empilhamento de minério de ferro em três diferentes granulometrias: *Pellet feed*, *Sinter feed* e o *Lump* (NPCJ – granulado), conforme especificado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Granulometria do minério produzido em Carajás



Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B - Vale S.A.

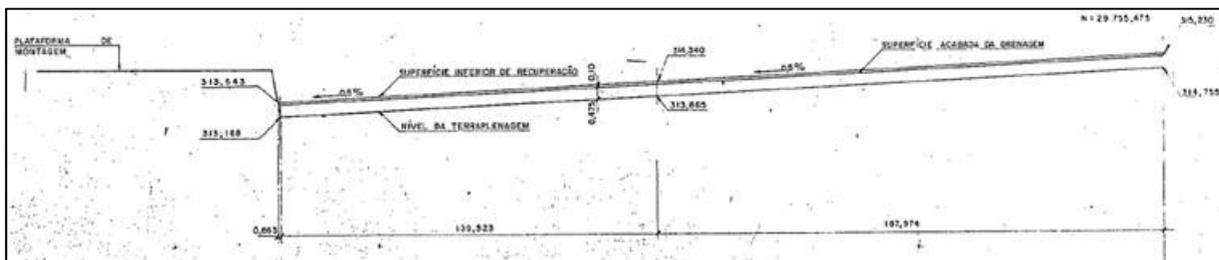
Tais produtos apresentam como característica particular uma alta umidade, agravada pelo processo de beneficiamento por via úmida; além disto, a região é tropical, lançando altos volumes de chuva do período do verão. Independente do tipo de material estocado, a metodologia de projeto de drenagem de fundo foi a mesma para toda a extensão do pátio, aproximadamente 800 m X 50 m.

O pátio foi projetado inicialmente em 1980. A implantação do projeto para o pátio de estocagem em questão era a de utilização de um colchão drenante composto de camadas de brita, sobre um plano inclinado que direcionaria o fluxo para as cabeceiras dos pátios. Não apresentava instalação de tubos dreno, e o eflúvio escoaria por percolação induzida pelo plano inclinado. Tal situação tornava-se desfavorável ao fluxo, pela necessidade do eflúvio percolar através da camada de brita no sentido horizontal, o que reduziria a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, aumentando a quantidade de líquido livre retido na pilha.

A documentação VALE para o projeto da drenagem de fundo dos pátios indica que este sistema é constituído de uma camada de mistura a 50% Seixo + 50% pó de pedra, uma segunda camada de brita 1 e uma terceira camada de brita 2, sem a utilização de tubos perfurados. Estava previsto em projeto uma camada de volume morto de minério com a espessura de 10 cm.

A superfície de assentamento das camadas drenantes tem inclinação de 0,5% em direção às cabeceiras dos pátios.

Figura 82 – Ilustração da Drenagem de Fundo – Pátios A/B
Seção Longitudinal típica

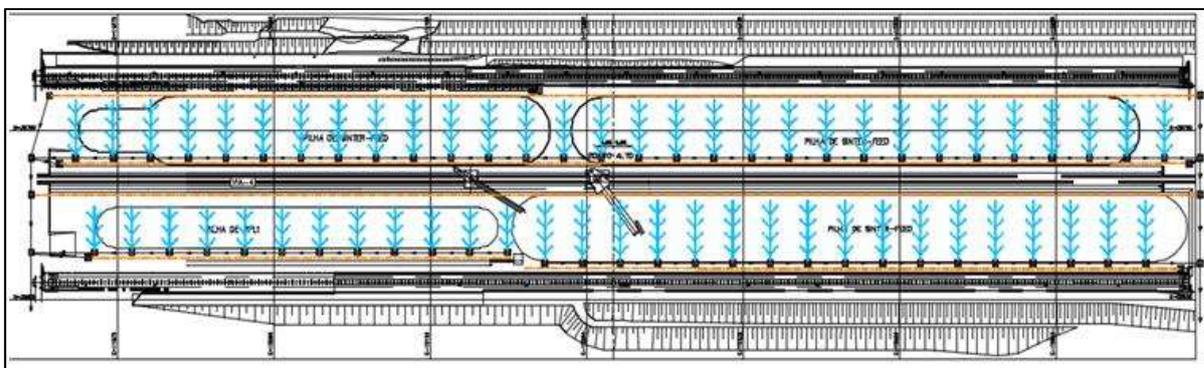


Fonte: CVRD 1510-19-200.

O processo de colmatação pela presença dos finos e passagem de equipamentos pesados também prejudicam o fluxo, pois cria uma camada que bloqueia o caminho do fluido. Esta condição ocorre notadamente na camada de volume lastro.

Assim, foi necessário recomendar uma nova proposta de drenagem mais eficiente para a área. A Figura 83 representa o projeto proposto.

Figura 83 – Ilustração da drenagem transversal em arranjo espinha de peixe

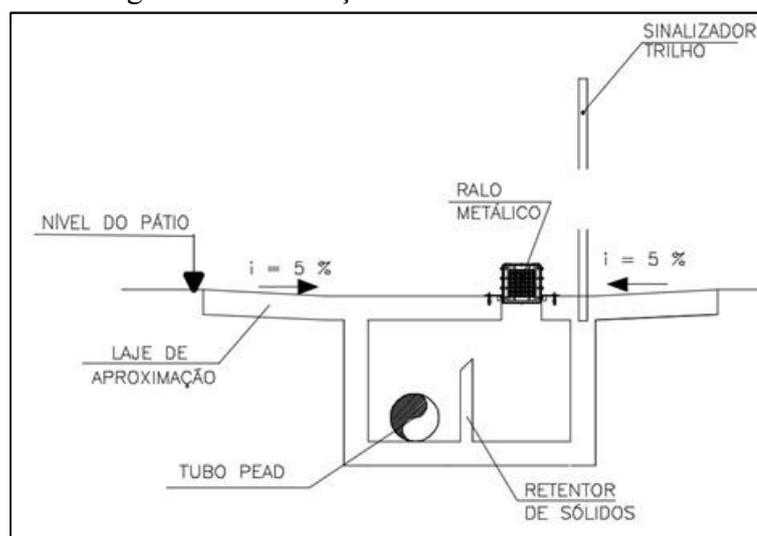


Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91244.

Este projeto contou com a utilização de um colchão drenante composto de três camadas de brita, sobre um plano inclinado que direciona o fluxo para as laterais dos pátios. Prevê a instalação de tubos-dreno, e o eflúvio escoa por percolação induzida pelo plano inclinado. Os tubos-dreno (PEAD perfurado) serão dispostos em geometria tipo espinha de peixe, e descarregarão em caixas de inspeção que conecta ao coletor longitudinal (Tubos PEAD). Para evitar a entrada de finos na tubulação, a tubulação deverá ser protegida por geotêxtil.

Além das caixas de inspeção e de passagem, o projeto prevê a instalação de caixas tipo "ralo", que se prestarão à captação da drenagem superficial dos pátios.

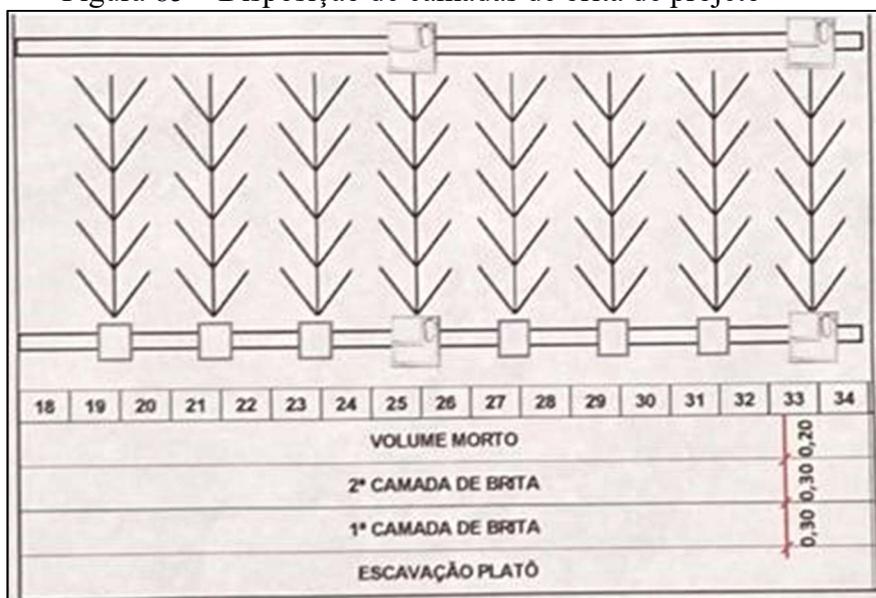
Figura 84 – Ilustração em corte da Caixa-ralo



Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B - Vale S.A.

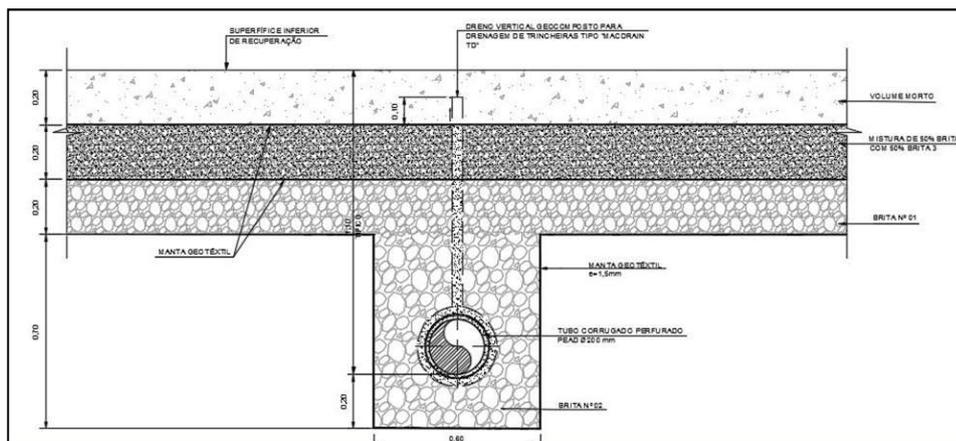
Propõe-se manter o conceito das camadas drenantes, pois as granulometrias propostas apresentam um alto coeficiente de permeabilidade, e têm disposição para projeto de acordo com Figura 85.

Figura 85 – Disposição de camadas de brita de projeto



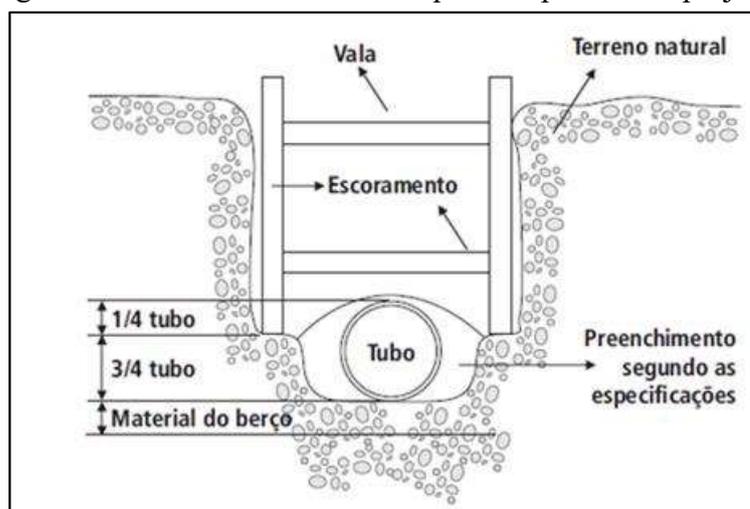
Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B - Vale S.A

Figura 86 – Ilustração parcial da trincheira drenante



Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B - Vale S.A.

Figura 87 – Modelo escoramento quando aplicado ao projeto



Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B RL-1510KN-H-40004 - VALE S.A.

O comprimento do sistema de escoramento deve ser ajustado com o comprimento da tubulação. Dos materiais, propõe-se a utilização de tubos-dreno perfurados em PEAD. De custo competitivo quando comparado com as tubulações de concreto armado, são vantajosos por seu peso leve, o que facilita seu transporte, encaixe das juntas e manutenção. De durabilidade maior, são mais resilientes aos esforços característicos em pátios de minério.

Para evitar a entrada de finos, a tubulação deverá ser protegida por manta geotêxtil tecida em poliéster.

Figura 88 – Tubo-dreno perfurado PEAD



Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B - RL-1510KN-H-40004.

Foram analisadas as sondagens apresentadas no documento MC-1510KN-C-91205 (Projeto Detalhado, Pátio de Estocagem, Dimensionamento das Vias de Rolamento - Memória de Cálculo).

A camada superficial sobre as vias de rolamento é constituída por um lastro britado com espessura de 1,0 m. Sob as pilhas de estocagem é dedutível que se encontre a camada de colchão drenante com aproximadamente 1,0 m.

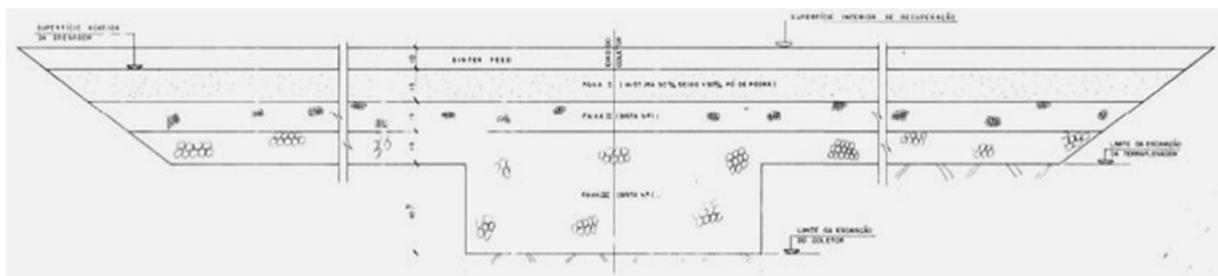
O solo residual de Saprolito é constituído por argila siltosa e silte argiloso, pouco arenoso com pedregulhos, consistência rija a dura, cor vermelho escuro e marrom. Esta camada ocorre a partir de 3,0 m até 12,5 m de profundidade. A resistência à penetração ao amostrados da sondagem à percussão é maior que 20 golpes/30 cm e atinge valores até 62 golpes/30 cm.

Embasando as camadas anteriores, encontra-se a camada de Rocha Metabásica, inicialmente fragmentada, chegando a maciça a partir de 6,0 m de espessura, recortada por veios de quartzo, extremamente fraturada a pouco fraturada, pouco alterada. Cor predominante: cinza.

O nível d'água foi encontrado a 16,2 m de profundidade em apenas uma sondagem (SM-B3), executada no pátio B.

A composição da camada de solo residual, argilo-siltosa e silto-argilosa, de consistência rija a dura, apresenta permeabilidade muito inferior à camada granular acima desta, que pode ser considerada uma camada praticamente impermeável. Ou seja, as infiltrações no solo abaixo do nível das camadas de drenagem serão desprezíveis.

Figura 89 – Ilustração da Drenagem de Fundo - Pátios A/B



Fonte: Projeto de Drenagem de Fundo Pátio B – Vale S/A.

O Minério de ferro de Carajás possui um alto teor de ferro e baixo teor de contaminantes, dispensando a etapa de concentração. O produto é gerado apenas pelas etapas de britagem, classificação, desaguamento, moagem e filtragem. Os três produtos da planta são o *pellet-feed*, *sinter-feed* e granulado (*lump*).

O *pellet feed* é o mais fino dos produtos. Matéria prima adicionada a outros produtos para aglomeração e posterior queima em fornos a altas temperaturas, é o que tem menor preço de mercado.

O projeto para os pátios A/B indica a utilização de um colchão drenante composto de camadas de brita, sobre um plano inclinado que direciona o fluxo para as cabeceiras dos pátios. Não apresenta instalação de tubos-dreno, e o eflúvio escoar por percolação induzida pelo plano inclinado.

Tal situação torna-se desfavorável ao fluxo, pela necessidade do eflúvio percolar através da camada de brita no sentido horizontal, o que reduz a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, aumentando a quantidade de líquido livre retido na pilha.

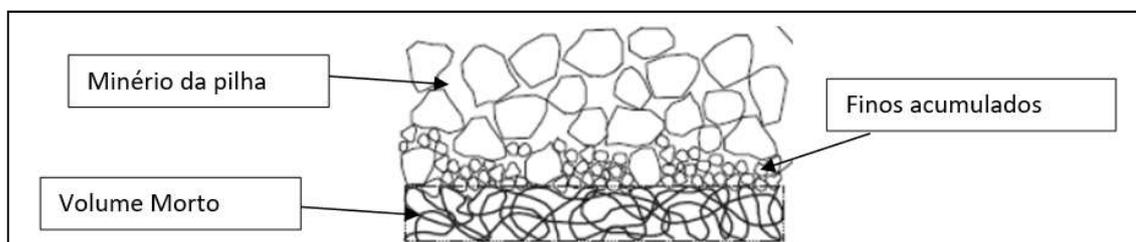
O processo de colmatação, pela presença dos finos, também prejudica o fluxo, pois cria uma camada que bloqueia o caminho do fluído. Esta condição ocorre notadamente na camada de volume morto.

A condição de colmatação ocorre quando os poros ou aberturas da camada filtrante encontram-se de tal forma obstruídos que a passagem de água é impedida ou severamente limitada. Os mecanismos que podem ocorrer são: colmatação física, química ou biológica. Pelas características do minério, notadamente estéril, tanto química quanto biologicamente, a causa provável é a física.

O processo de colmatação física pode ocorrer das seguintes formas: Preenchimento de uma grande porção dos vazios por partículas de solo. Situação extrema muito improvável, pois seria uma combinação muito desfavorável de condições de fronteira, relação entre

dimensões dos grãos e elevados níveis de tensões. Cegamento do filtro ou *blinding*, que consiste no acúmulo excessivo de finos nos limites entre a camada do volume morto e a pilha de minério.

Figura 90 – Minério, volume morto e finos acumulados



Fonte: Elaboração própria (2020).

Esta situação ocorre quando o material utilizado na camada de volume morto apresenta granulometria inadequada, ou quando atinge espessura excessiva. Esta acumulação tende a formar uma camada de baixa permeabilidade denominada *cake*, a qual pode levar à uma redução significativa da permeabilidade global do sistema solo/filtro.

A utilização de pó de pedra na primeira camada do filtro também propicia o surgimento do *cake* entre esta camada e a camada de volume morto, pois é característica deste tipo de material um alto índice de finos, o que dificulta a percolação do efluente.

Um fator de grande importância para o funcionamento do sistema drenante é evitar a interrupção do fluxo do eflúvio. A presença de finos no minério pode causar colmatação na camada de volume morto, criando uma barreira ao fluxo. Outra preocupação é a espessura da camada de volume morto que, se atingir espessuras excessivas, pode se tornar uma barreira para o fluxo de drenagem.

Para se mitigar esta condição, propõe-se a utilização de drenos verticais que atravessariam as camadas, encaminhando o fluxo para as camadas inferiores. Este sistema também cumpre a função de proteger o sistema dos finos, pois envolve a tubulação, dispensando a aplicação de geotêxtil.

Propõe-se manter o conceito das camadas drenantes conforme projeto original, pois as granulometrias propostas apresentam um alto coeficiente de permeabilidade, substituindo o pó de pedra por areia grossa:

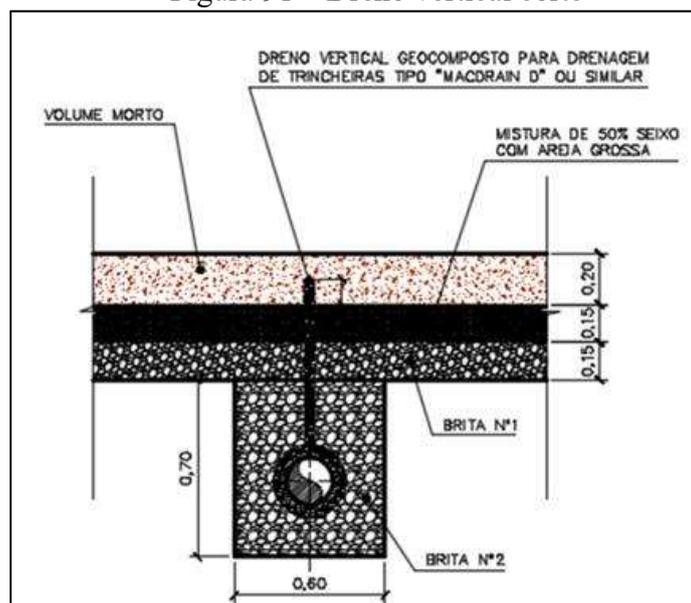
Tabela 10 – Coeficiente de Permeabilidade por Material

Material	Coeficiente de permeabilidade (cm/s)
“Morto” de Minério	0,49 a 56,25
Seixos + Areia Grossa	0,36 a 4,0
Brita	0,81 a 2,56

Fonte: Elaboração própria, 2020.

- Camada de volume morto de minério – para a proteção das camadas drenantes, é a superfície de apoio das pilhas e seu nível é definido pela cota de operação das retomadoras. No projeto original esta camada tem 10 cm de espessura, porém, propõe-se para o projeto uma camada de 20 cm, mais realística.
- Camada de transição em seixo e areia grossa – primeira camada do filtro do dreno, propõe-se uma camada de 15 cm.
- Camada de filtro em brita 1 – segunda camada do filtro do dreno, de espessura 15 cm
- Colchão drenante em brita 2 – camada onde é assentada a tubulação perfurada. Sua camada deve ter espessura suficiente para acomodar a tubulação. Seção proposta 60 x 70 cm.

Figura 91 – Dreno vertical corte

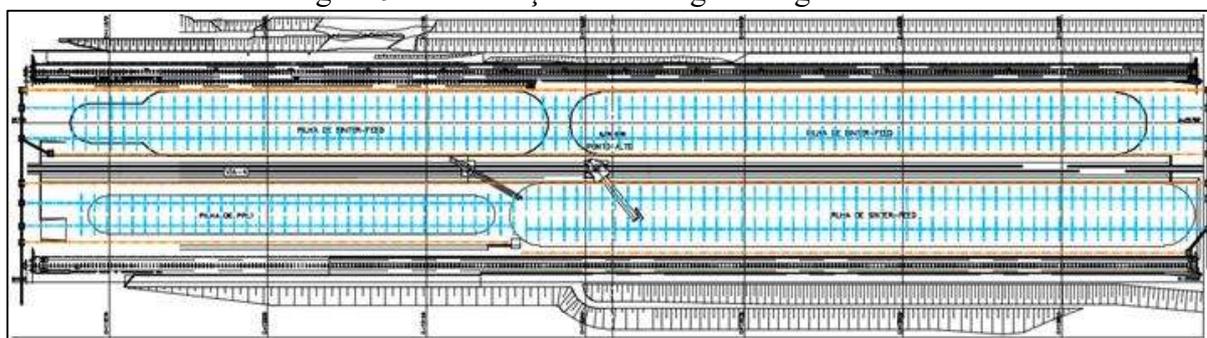


Fonte: Elaboração própria, 2020.

A tubulação pode ser disposta de várias formas. A seguir serão apresentadas algumas alternativas.

Tubulação na direção longitudinal dos pátios: esta alternativa computa as menores quantidades de tubulação. Porém, necessita de maiores profundidades para seu assentamento, a fim de manter uma inclinação mínima na tubulação, pois percorre uma distância maior ao longo da pilha. Outra desvantagem é a maior dificuldade de monitoramento e de manutenção, pois torna difícil a detecção do local com problemas e exige a paralisação do uso do pátio em longas extensões.

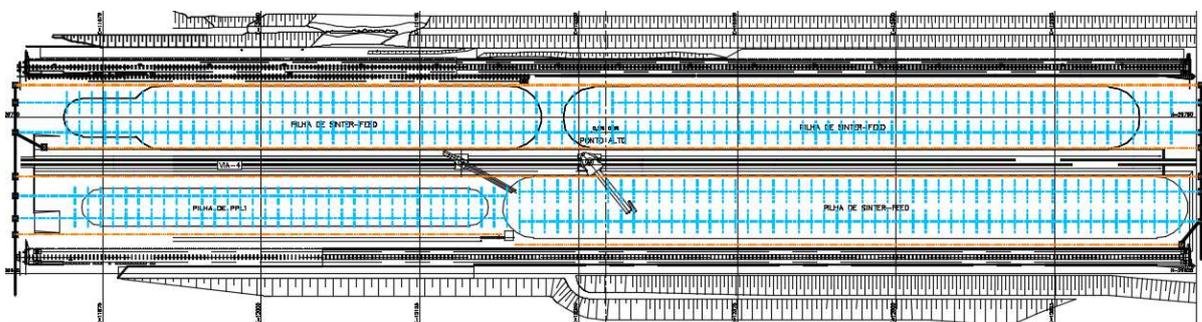
Figura 92 – Ilustração da drenagem longitudinal



Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91242.

Variação da alternativa anterior promove um cobrimento de área melhor, com uma distância maior entre as linhas principais. Porém, mantém as desvantagens da alternativa anterior: maiores profundidades para seu assentamento e a maior dificuldade de monitoramento e de manutenção, com difícil a detecção do local com problemas e com a paralisação do uso do pátio em longas extensões quando sua manutenção for necessária.

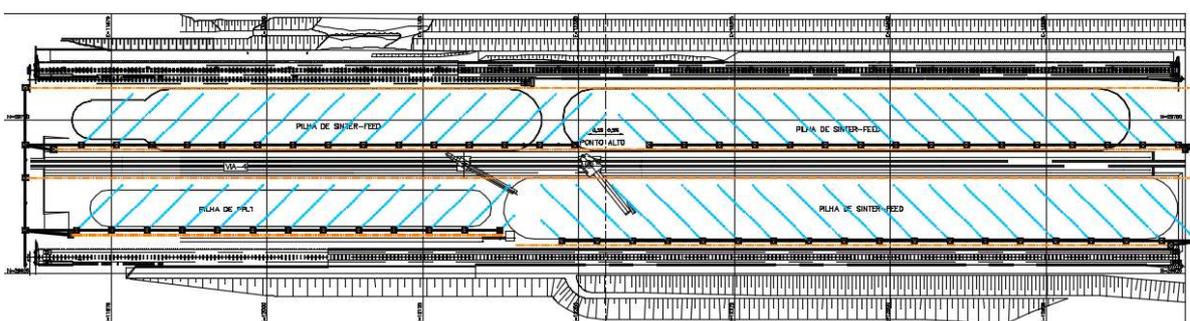
Figura 93 – Ilustração da drenagem longitudinal em arranjo de cruz



Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91242.

Outra variação utilizando-se tubulação longitudinal é o arranjo em espinha de peixe. Este arranjo promove um encaminhamento de escoamento mais eficiente, associado a uma quantidade menor de linhas principais. Porém, mantém as desvantagens de profundidades para seu assentamento, a dificuldade no monitoramento e na manutenção, e a necessidade de paralização do uso do pátio em longas extensões.

Figura 94 – Ilustração da drenagem longitudinal em arranjo espinha de peixe

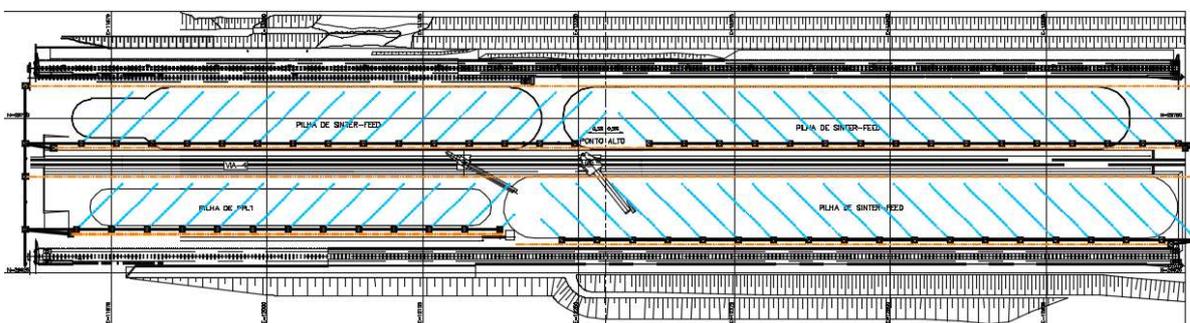


Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91243.

Semelhante à disposição transversal, permite um fluxo mais orientado.

Tem como vantagens sobre as alternativas anteriores: um menor desnível na base de assentamento do pátio, menores profundidades para o assentamento e a maior facilidade de monitoramento e de manutenção, pois a detecção do local com problemas fica mais restrito, com a paralisação de áreas menores do pátio para a manutenção.

Figura 95 – Ilustração da drenagem transversal em arranjo diagonal

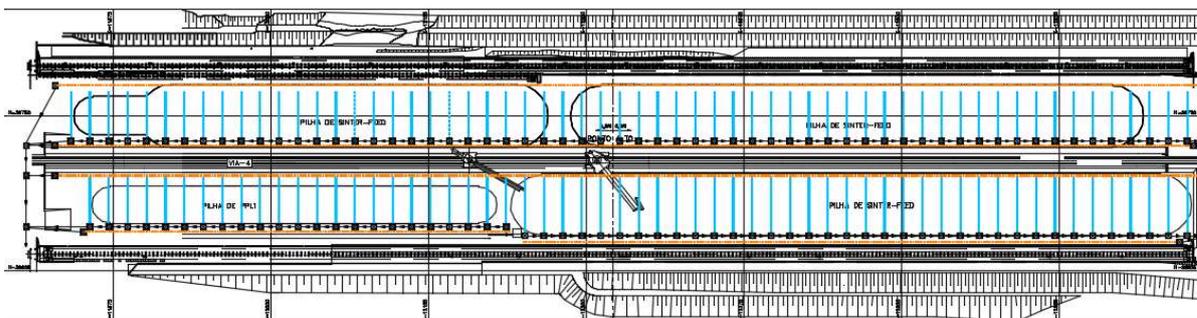


Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91243.

Tem como vantagens sobre as alternativas anteriores: um menor desnível na base de assentamento do pátio, menores profundidades para o assentamento e a maior facilidade de

monitoramento e de manutenção, pois a detecção do local com problemas fica mais restrito, com a paralisação de áreas menores do pátio para a manutenção.

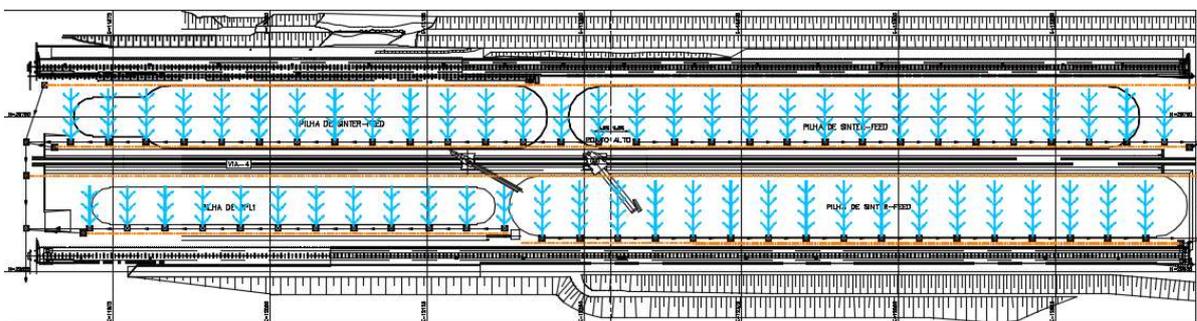
Figura 96 – Ilustração da drenagem transversal



Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91244.

Varição da alternativa anterior, tem maior eficiência na captação e uma menor quantidade de linhas principais.

Figura 97 - Ilustração da drenagem transversal em arranjo espinha de peixe



Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91244.

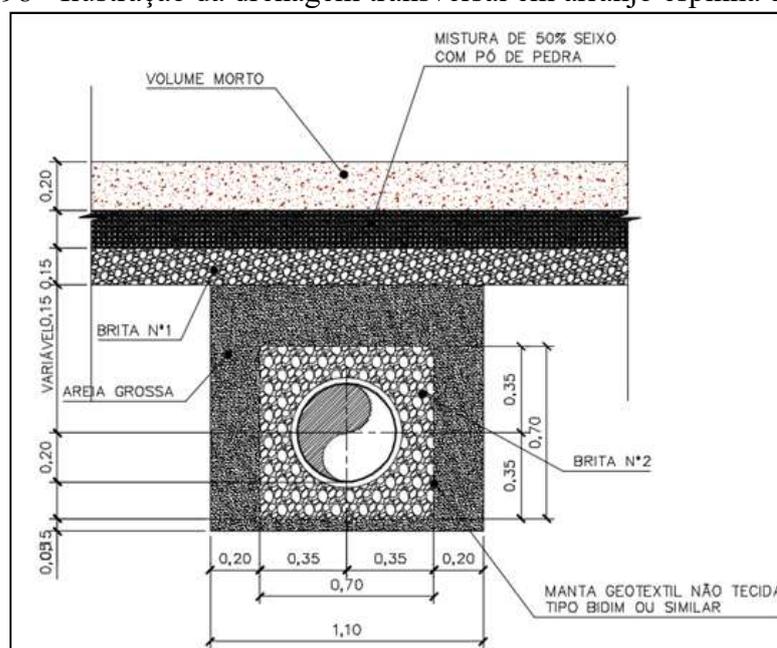
Nem toda a precipitação pluvial percola através da pilha. Uma parcela importante escorre superficialmente (aproximadamente 30%) que, se não retirado do pátio, pode gerar áreas de alagamento. A documentação fornecida não apresenta sistema de drenagem destinado para o escoamento superficial.

O maior desafio para este tipo de drenagem é a presença do material da própria pilha que, devido às operações de manuseio, esparramam material por todo o pátio, inviabilizando sistemas convencionais como canaletas ou calhas, que seriam rapidamente soterradas.

Para resolver este problema, propõe-se um sistema de coleta de drenagem ao longo das bordas dos pátios, através de vala drenante, provido de tubulação dreno perfurado protegido por brita, instalado no próprio corpo do colchão drenante.

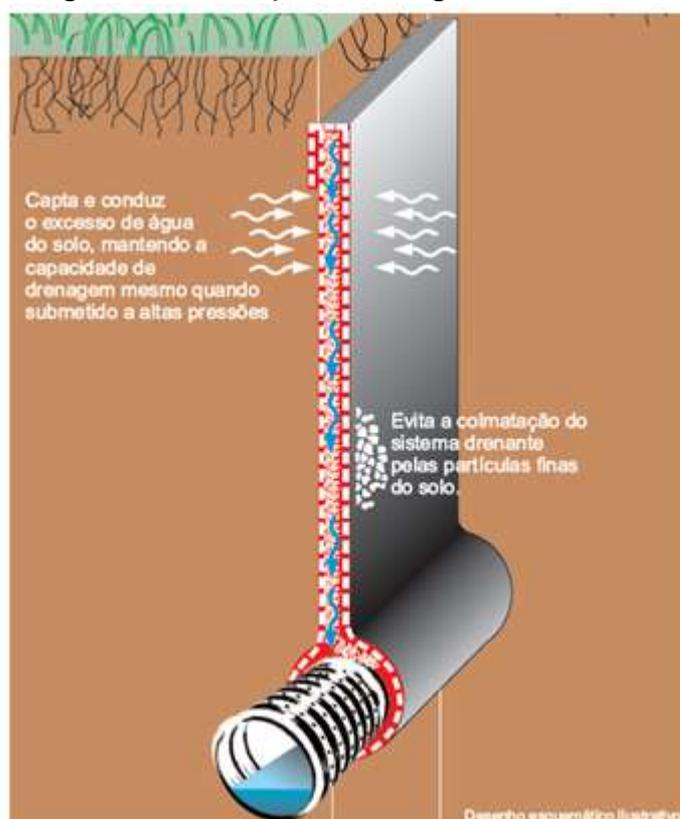
Na ocorrência de alagamento, abre-se caminho para as águas com escavadeira até atingir a primeira camada drenante, permitindo o escoamento das águas superficiais. Após o esgotamento do local, recobre-se novamente a vala com areia ou outro material granular para permitir a operação sem o comprometimento do sistema drenante.

Figura 98 - Ilustração da drenagem transversal em arranjo espinha de peixe



Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91244.

Figura 99 - Ilustração da drenagem transversal



Fonte: Desenho PROGEN 1510KN-B-91244.

A execução teve início em junho de 2020, com o desafio de não impactar a produção anual e garantir processos de estocagem e expedição, mesmo com capacidade reduzida. Um grande desafio conduzir esta obra com pátios em operação. O sistema existente de drenagem de fundo dos pátios A/B encontra-se ineficiente, o que compromete a qualidade do minério ali depositado. Foi proposto sistema de drenagem de fundo constituído de camadas filtrantes, colchão drenante e tubulações PEAD perfurados. Dentre as alternativas geométricas, foi recomendada a adoção do sistema de tubulação transversal em espinha de peixe. Para mitigar os efeitos de colmatção da camada de volume morto, propôs-se a utilização de drenos verticais.

Para aliviar o acúmulo de água devido ao escoamento superficial, foi proposta a utilização de valas drenantes ao longo da borda dos pátios. Como procedimento para a operação, deve-se estabelecer rotina de monitoramento para a verificação do funcionamento do sistema drenante. Para tal, foi prevista a instalação de caixas de inspeção ao longo do tronco coletor, o que irá permitir a verificação setorial.

Uma espessura excessiva do volume morto também prejudicaria sensivelmente a drenagem. Os procedimentos de operação deverão se atentar a este ponto, e estabelecer rotinas de monitoramento dos níveis efetivos do fundo de pilha para tomadas de ações corretivas.

A implementação do projeto iniciou-se com a escavação de lastro de minério com cerca de 1 m de altura, conforme a Figura 100.

Figura 100 – Escavação da área de pátio, até a cota de projeto



Fonte: Autoria própria (2020).

Após o nível de rebaixamento até a cota ser atingido, foram realizadas cerca de 40 espinhas de peixe, conforme a Figura 101.

Figura 101 – Escavação de espinha de peixe



Fonte: Autoria própria (2020).

O geotêxtil foi colocado a cada lançamento de camada de brita como podemos observar nas Figuras 102 e 103, para atuar como mais uma barreira de finos, evitando que passem para tubulações da drenagem.

Figura 102 – Colocação de geotêxtil de 1ª camada de brita para os drenos



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 103 – Aplicação da 2ª cada de brita e geotêxtil



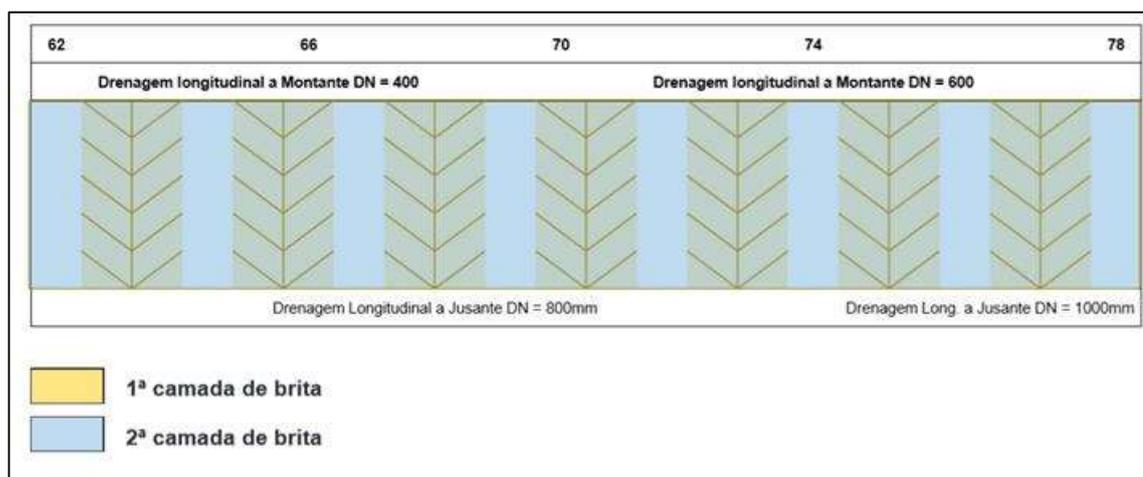
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 104 - Obra Drenagem Pátio Pátio B – Aplicação de Brita Pilha 7 e 8 B



Fonte: Arquivo da Gerência de Operação e Manutenção - Imagens de drone.

Figura 105 – Layout aplicação de brita no projeto de drenagem



Fonte: Arquivo da Gerência de Operação e Manutenção (2020).

A Figura 106 representa o sistema de coleta de drenagem ao longo das bordas dos pátios, através de vala drenante, provido de tubulação dreno perfurado protegido por brita, instalado no próprio corpo do colchão drenante. Já que nem toda a precipitação pluvial percola através da pilha. Uma parcela importante escorre superficialmente (aproximadamente 30%) que, se não retirado do pátio, pode gerar áreas de alagamento

Figura 106 – Aplicação de tubo dreno 400 mm vazado



Fonte: Autoria própria (2020).

Pela mesma razão da colocação de drenagem ao longo das bordas, foram confeccionadas também caixas drenantes, que fazem a conexão entre a drenagem superficial e a drenagem de fundo, reforçando toda a drenagem e evitando que ocorram focos de água.

Figura 107 – Forma e armadura para caixa de passagem ralo



Fonte: Autoria própria (2020).

Para finalização de todo o sistema de drenagem é realizada a aplicação de lastro, do próprio minério, para evitar contaminação na operação de recuperação das pilhas, conforme Figura 108.

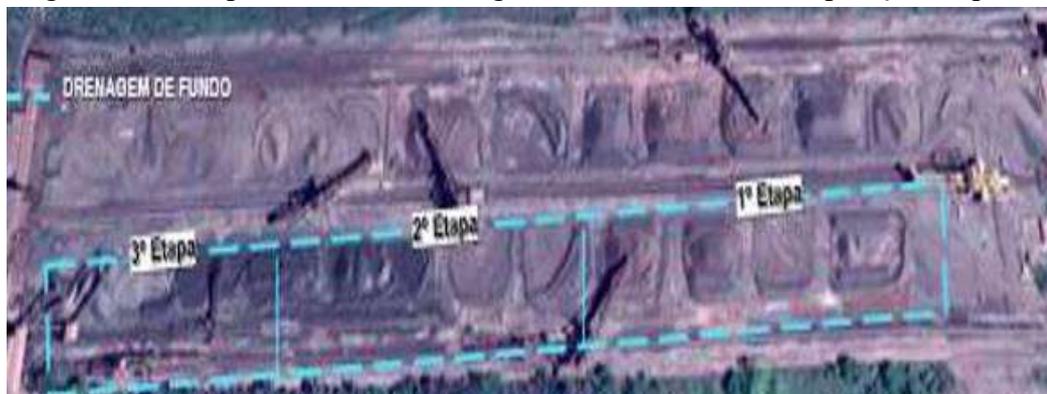
Figura 108 – Aplicação de lastro



Fonte: Autoria própria (2020).

A seguir detalhes gerais do projeto e etapas de execução. Como o pátio ficou em funcionamento – parte dele na obra e parte dele nas operações de estocagem e recuperação – foi necessário fracionar o projeto de drenagem conforme ilustração na Figura 109 – etapas da obra de drenagem de fundo.

Figura 109 - Etapas da obra de drenagem viabilizando obra e operação de pátio



Fonte: Autoria própria (2020).

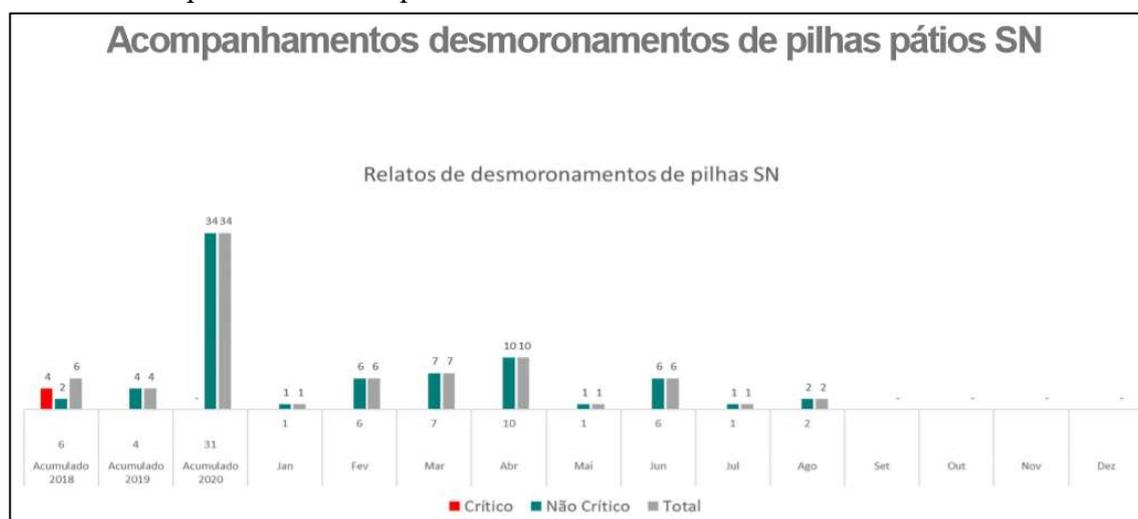
Conforme cronograma de execução, foram realizadas as drenagens nas pilhas 8B e 7B e as mesmas entregues à operação de pátio no dia primeiro de outubro de 2020 e, até o momento, apresentam escoamento dentro do esperado. O prazo para término da obra é trinta de novembro de 2020.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RESULTADOS

Os trabalhos de restabelecimento das condições normais de drenagem e criação de rotinas estruturadas diárias, semanais e anuais garantiram ao Pátio de produto Carajás zerar eventos críticos de desmoronamentos de pilhas. O único evento citado foi anterior a toda a metodologia implantada. Há registros de desmoronamentos pontuais ligados à questão de material úmido advindo da produção, porém não foram encontrados eventos de rompimento de base de pilhas crítico ou catastrófico. Apenas eventos leves.

Os critérios adotados para registros de eventos de desmoronamentos criados pelo grupo comitê de pátios (grupo que nasceu após o evento crítico da pilha 3C em 20 de março de 2018) indicaram critérios mais rigorosos registrando qualquer tipo de evento de desmoronamentos de pilhas. Percebe-se, assim, um aumento na quantidade de eventos, porém quando se observa a classificação destes eventos, a criticidade é leve, não considerando risco a vida e nem ao negócio Vale. Podemos observar os números através do Gráfico 7 – Acompanhamento de quantidade e criticidade de eventos de desmoronamento - resumo quantitativo de eventos ao longo de 2018, 2019 e 2020 e as gravidades dos mesmos.

Gráfico 7 – Acompanhamento de quantidade e criticidade de eventos de desmoronamento

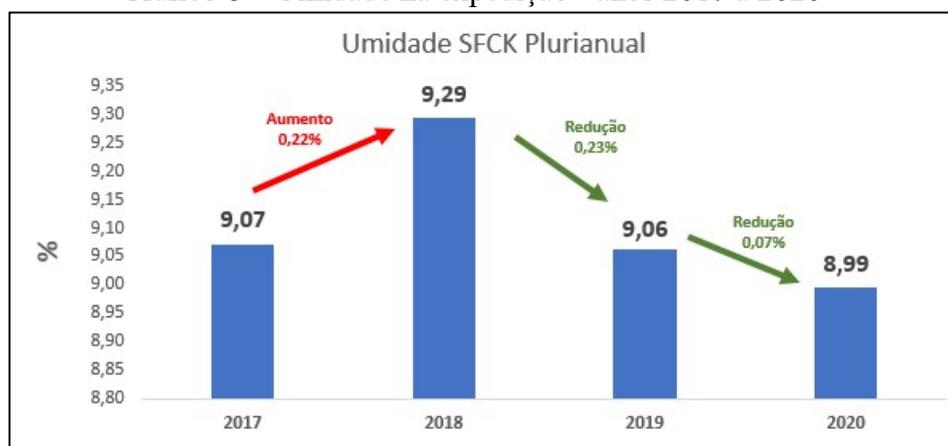


Fonte: Autoria própria (2020).

Observados também ganhos de redução de umidade direto na expedição após os anos, quando foram implantadas as rotinas de drenagem nos anos 2019 e 2020. O ano de 2018 foi o ano do evento crítico de desmoronamento e, também, ano de registro de alta pluviometria. Os trabalhos de rebaixamento de pilha, correção de drenagem, definição de altura de pilha,

definição e revisão dos ângulos de estocagem e recuperação, controle de umidade, revisão de procedimentos, implantação de rotina de separação de pilha, tombamento de morto e execução de drenagem superficial, e manutenção da drenagem de fundo. Observamos no primeiro ano uma redução 0,23% após os trabalhos e, no ano de 2020, redução de 0,07%, o que mostra que se manteve e continuamos perdendo umidade. A expectativa para 2021 é reduzir ainda mais, com a maior eficiência de drenagem fundo já considerado no uso do pátio B, que já estará com a drenagem em funcionamento no inverno de 2021.

Gráfico 8 – Umidade na expedição - anos 2017 a 2020



Fonte: Autoria própria (2020).

No Gráfico 9 podemos observar o comparativo de umidade nos anos de 2017 e 2018, e verificamos que em 2018 houve umidade bem a maior. Neste ano foi registrado alta incidência de chuvas acima de médias praticadas nos demais anos e, mesmo com os trabalhos de drenagens que foram iniciados, não houve ganho de redução.

Gráfico 9 – Comparativo 2017 e 2018 (umidade na expedição)



Fonte: Autoria própria (2020).

O Gráfico 10, que apresenta o comparativo entre 2018 e 2019, podemos observar redução da umidade. Os trabalhos de drenagem realizados no pátio de produto contribuíram positivamente para esta redução, ajudando toda a cadeia do corredor norte. Além de outros trabalhos realizados na mina, usina, ferrovia e porto.

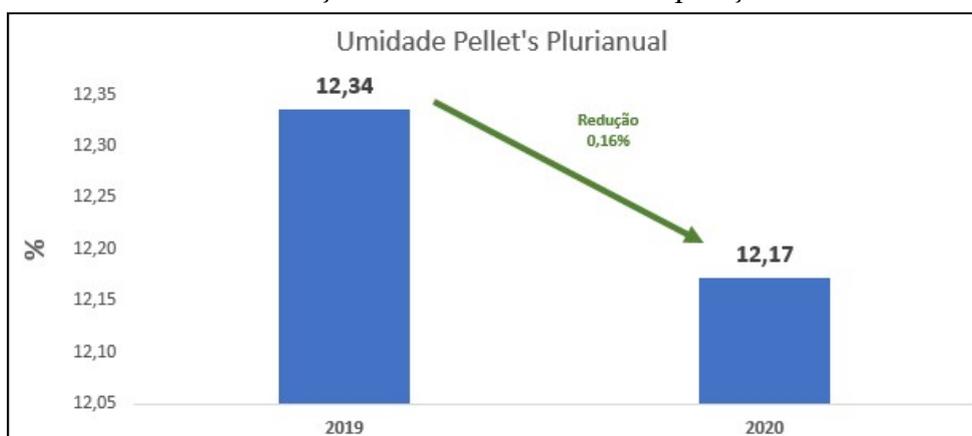
Gráfico 10 – Comparativo 2019 e 2020 umidade na expedição



Fonte: Autoria própria (2020).

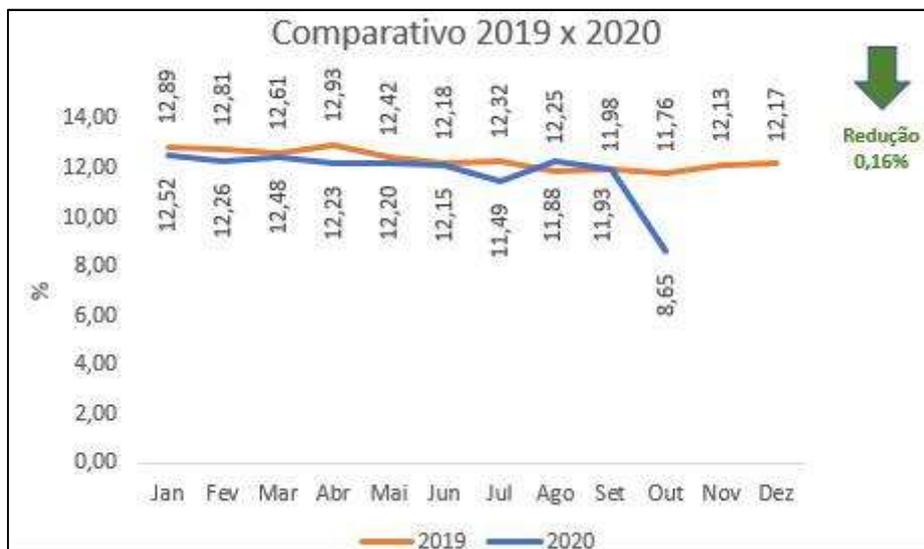
Os ganhos de redução de umidade também podem ser observados no produto de *pellet feed*. Os Gráficos 11 e 12 apresentam o antes e depois dos trabalhos realizados e o resultado da umidade, com uma redução de 0,16%.

Gráfico 11 – Redução anual de umidade na expedição do PFCJ



Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 12 - Comparativo de redução de umidade no produto
PFCJ mensalizado nos anos 2019 e 2020



Fonte: Autoria própria (2020).

Para os anos seguintes estão previstos: implantação de drenagem de fundo no pátio A em 2021, no pátio G em 2022 e no pátio H em 2023. Isto já considerando o projeto desenvolvido com pequenas adequações de espaço e layout, porém a essência do projeto é a mesma da solução desenvolvida na etapa 5 e implantada no pátio B.

Com o desenvolvimento deste trabalho, observa-se que a drenagem nos pátios de produto de minério de ferro é de suma importância para a manutenção da qualidade do produto, principalmente no quesito umidade. Como também para a segurança das operações de pátio, evitando ocorrência de desmoronamento de pilhas, que podem causar acidentes pessoais e materiais de grandes proporções.

Observa-se redução de umidade e diferença de umidade nos pátios com drenagem de fundo, com os pátios que usam drenagem superficial comprovado na etapa 4 deste trabalho.

É de fundamental importância a manutenção dos layouts e padrões de pilha e pátios, a fim de garantir a drenagem superficial entre pilhas, altura, largura, delimitação, bermas e ângulos de inclinação. Além de acompanhamento do material a ser estocado, o que é de fundamental importância. O controle de umidade na produção e na estocagem garante as pilhas com maior fator de segurança, ou seja, mais estáveis.

Os sistemas de drenagem em pátios de estocagem exigem rotina de monitoramento e manutenção dos mesmos, com equipamentos móveis realizando a manutenção deste sistema e acompanhamento com separação de pilhas, limpezas de canaletas, manutenção das drenagens superficial e de fundo. Outro ponto importante é o recolhimento de morto ou recheio nas pilhas,

periodicamente. E também a realização de um rebaixamento de pilha anual.

Recomenda-se a implantação das demais drenagens de fundo nos demais pátios. Importante também criar mecanismos para medir a água drenada e o tempo de drenagem em comparativo com a pluviometria. Outra recomendação é o reaproveitamento dessa água para processos de limpeza de equipamentos.

O objetivo geral avaliar o sistema de drenagem do pátio de estocagem de Carajás foi alcançado quando na etapa 2 e 3 deste trabalho. Em resumo temos a tabela abaixo que mostra que mesmo estando sem todos os pátios com drenagem de fundo implantadas, mas com rotinas bem estruturadas na drenagem superficial conseguem dá um resultado positivo.

Quadro 7 – Resumo - Antes e Depois das ações de rotina de drenagem e implantação de projeto de melhoria

Pátio	Drenagem de Projeto do Pátio	Antes	Depois
A/B	Fundo e Superficial	Sistema de drenagem fundo existente pelo projeto, porém com material colmatado e ineficiente	Drenagem superficial funcionando
C/D	Fundo	Sistema de drenagem existente pelo projeto porém material colmatado - ineficiente	Drenagem de fundo funcionando
G/H	Superficial	Ineficiente	Drenagem superficial funcionando

Fonte: Autoria própria (2020).

O objetivo específico avaliar os tipos de drenagens encontradas, principais atividades e premissas para uma drenagem eficiente na etapa 03, quando são definidas as rotinas necessárias para funcionamento, práticas, adequações e rotinas de atividades chaves.

O objetivo específico avaliar a importância e contribuição da drenagem no manuseio dos produtos e impactos na cadeia mineral pode ser observado na etapa 1 quando é apresentado um evento crítico de desmoronamento de pilha, provando a correlação de eventos críticos que podem causar mortes, acidentes e perdas de equipamentos.

Na etapa 4, onde comprovou-se que a maior eficiência da drenagem de fundo em relação à drenagem superficial e na etapa 5 quando definiu-se a solução mais adequada e sugeriu-se que é necessário obras de drenagem de fundo para que se consiga evoluir ainda mais no sistema de drenagem. Um dos principais desafios atuais para sistema de drenagem em

Carajás é gerir as obras futuras, mantendo a operação dos pátios sem prejudicar a operação de usina e operação da expedição com falta de área de estocagem e impactos a produção.

Em resumo, as hipóteses levantadas na introdução são respondidas e comprovadas quando:

- a. Existe sistema de drenagem nos pátios de estocagem de Carajás e quais os tipos de situações encontradas? *Resposta na Etapa 2 do método.*
- b. Quais são as práticas e rotinas fundamentais para manter o sistema drenagem operacional? *Resposta na Etapa 3 do método*
- c. Qual tipo de drenagem é mais eficiente nos pátios de Carajás? *Resposta na Etapa 4 do método.*
- d. Quais melhorias e projeto estão andamentos nos Pátios de Carajás? *Resposta na Etapa 5 do método.*
- e. Quais resultados alcançados no último ano com início e sustentabilidade das atividades drenagem implantadas? Quais desafios? *Resposta nos comentários do último capítulo conclusão e resultados.*

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11.682/2009 – Estabilidade de Taludes**. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wpcontent/uploads/2015/01/NBR-11.682-Estabilidade-de-Taludes.pdf>> Acesso em: 06 jun. 2020.

ABRANTES, B. **Aspectos geotécnicos a serem considerados nas reformas de pilhas, Gestão de Pátio**. Relatório Técnico VALE S.A, São Luis –MA, 2019a.

ABRANTES, B. **Projeção do material de pilhas de produto rompidas nos pátios de estocagem, Gestão de Pátio**. Relatório Técnico VALE S.A, São Luis –MA, 2019b.

CHAVES, A. P. **Teoria e Tratamento de Minérios**. Volume 5 – Manuseio de Sólidos e Granulados, São Paulo, Ed. Oficina de Textos e Signus, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT (BRASIL). **Manual de drenagem de Rodovias**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006. 333p. (IPR. Publ., 724).

DNIT BRASIL. **NORMA 018/2004 – ES**. Drenagem - Sarjetas e valetas - Especificação de serviço Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-330

DNIT (BRASIL), 2002. **Drenagem - Sarjetas e valetas - Especificação de serviço**.

Disponível em:

<http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/dnit018_2004_es.pdf>

Acesso em: 06 ago. 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOES, F. **Relação da altura da pilha x Umidade do Minério - Gerência de Engenharia MF e Carajás 2019** – Relatório Técnico VALE AS.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

OLIVEIRA, A. **Especificação EPS-002918 Diretrizes Geotécnicas para o Processo de Empilhamento de Produto – Serra Norte, Parauapebas Carajás**, 2020.

ROSSI, F. **Drenagem de Campo de Futebol, Passo a Passo!** (2019). Disponível em: <<https://cursos.unisantabr/civil/arquivos/drena-gramado.pdf>> Acesso em: 14 set. 2020.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005.

SLACK, D. N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**, 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

VALE S/A. **Projeto de Drenagem de Fundo Pátio A/B -Vale S/A.**, 2020.

VERTEMATTI, J.C. **Drenagem subterrânea**: Aspectos Teóricos, Construtivos e Econômicos. Curitiba, CASA DOS TENISTAS, 1998. In: ROSSI, F., 2019, p. 17. Disponível em: <<https://cursos.unisanta.br/civil/arquivos/drena-gramado.pdf>> Acesso em: 14 set. 2020).