

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES

MAPEAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

AVALIAÇÃO TÉCNICA

Volta Redonda, RJ

REALIZAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

DIVISÃO DE GEOLOGIA APLICADA

2024

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Inácio Melo

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

Chefe da Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação

Tiago Antonelli

Execução

Denilson de Jesus

Luiz Fernando dos Santos

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
I PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES I

MAPEAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

AVALIAÇÃO TÉCNICA

Volta Redonda, RJ

AUTORES

Denílson de Jesus

Luiz Fernando dos Santos



APRESENTAÇÃO

As ações promovidas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), no âmbito do Departamento de Gestão Territorial (DEGET), envolvem a coordenação, supervisão e execução de estudos do meio físico voltados à conservação ambiental, ordenamento territorial e prevenção de desastres.

Neste contexto, a Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP) tem papel fundamental na condução de estudos, projetos e programas, cujo foco principal é produzir instrumentos técnicos capazes de subsidiar os gestores públicos na formulação, aprimoramento e execução de políticas direcionadas à mitigação dos danos causados por eventos adversos de natureza geológica, como deslizamentos, quedas de blocos de rocha, erosões, inundações, dentre outros.

As atividades desenvolvidas pelo DEGET e pela DIGEAP incluem, ainda, ações de fomento à disseminação do conhecimento geocientífico, por meio da promoção de cursos de capacitação voltados aos agentes públicos e à sociedade em geral.

Assim, com esse espírito de inovação e com a responsabilidade de fomentar a ocupação segura e sustentável do território, o SGB-CPRM espera que as informações contidas no presente relatório possam ser empregadas em prol do bem-estar da sociedade brasileira.

Inácio Melo
Diretor-Presidente

Alice Silva de Castilho
Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de avaliação técnica realizada no município de Volta Redonda (RJ), entre os dias 28/02/2024 e 01/03/2024, em decorrência de solicitação (Ofício CDMA N 001/2024) da Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ) por meio de sua Comissão de Defesa do Meio Ambiente (ALERJ-CDMA) para avaliação geotécnica das pilhas de escória de aciaria sob responsabilidade da Harsco Metals LTDA e da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN).

Palavras-chave: risco geológico; prevenção de desastres; ordenamento territorial.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
3. APLICABILIDADES E LIMITAÇÕES DE USO	1
4. CARACTERIZAÇÃO	3
4.1. ESCÓRIA SIDERÚRGICA.....	3
5. RESULTADOS	5
5.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS.....	5
5.2. PERIGO A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	14
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	17
7. REFERÊNCIAS.....	18
8. ANEXOS.....	19

1. INTRODUÇÃO

Em atendimento à solicitação recebida para avaliação geotécnica via Ofício CDMA-ALERJ nº 001/2024, o Serviço Geológico do Brasil, apresenta neste trabalho os resultados da vistoria técnica realizada no entorno e no pátio de estocagem de escória siderúrgica da Harsco Metals LTDA / Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizado na Rodovia Lúcio Meira, nº 12.500, Brasilândia, Volta Redonda (RJ), entre os dias 28/02 e 01/03/2024.

Os levantamentos de campo foram realizados pelos profissionais listados no quadro 1.

Quadro 1 - Profissionais SGB que participaram dos levantamentos de campo.

Nome	Cargo ou função	Instituição
Denílson de Jesus	Analista em Geociências	Serviço Geológico do Brasil
Luiz Fernando dos Santos	Pesquisador em Geociências	Serviço Geológico do Brasil

Na data de 01/03/2024 foi realizada uma reunião pré-vistoria na sede da Harsco Metals LTDA e em conjunto com os representantes das instituições: Harsco, CSN, Comissão de Defesa do Meio Ambiente da ALERJ, Comissão de Saneamento Ambiental da ALERJ, Comando da Polícia Ambiental (CPAm), Delegacia de Proteção ao Meio Ambiente (DPMA) e do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), listados no **Anexo II**.

2. OBJETIVOS

Este estudo objetiva:

- Registrar e caracterizar a área dos depósitos de escória siderúrgica da CSN/Harsco Metals indicadas pela ALERJ;
- Subsidiar os administradores e órgãos públicos na tomada de decisões voltadas à prevenção, mitigação e resposta a potenciais desastres;

3. APLICABILIDADES E LIMITAÇÕES DE USO

Este trabalho pode ser utilizado para:

- Subsidiar o poder público na seleção das áreas prioritárias a serem contempladas por ações destinadas à prevenção dos desastres;
- Contribuir para a elaboração de projetos de intervenção estrutural;
- Embasar a elaboração de planos de contingência;
- Auxiliar a construção de sistemas de monitoramento e alerta de desastres;
- Direcionar as ações da Defesa Civil;
- Fomentar ações de fiscalização.

Este trabalho **não** deve ser aplicado para:

- Qualquer aplicação incompatível com a escala cartográfica de elaboração (1:10.000);
- Substituir análises de estabilidade de taludes e encostas;
- Substituir projetos de engenharia destinados à correta seleção, dimensionamento e implantação de obras estruturais;
- Avaliar a pertinência e eficácia de obras de engenharia de qualquer natureza;
- Indicar quando ocorrerão eventos adversos nas áreas cartografadas.

É importante ressaltar que os resultados expostos no presente relatório representam as condições observadas no momento da visita de campo, as quais podem se alterar ao longo do tempo.

4. CARACTERIZAÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) foi demandado pela Assembléia Legislativa do Rio de Janeiro (ALERJ) a realizar uma avaliação geotécnica nas pilhas de escória siderúrgica do pátio de estocagem da Harsco Metals LTDA (**Anexo I**).

As pilhas de escória de aciaria estão localizadas ao Nordeste da sede municipal de Volta Redonda (RJ), nas margens do Rio Paraíba do Sul, estando limitadas ao Norte pela estreita faixa de planície de inundação do rio ainda disponível, em terreno plano e de gênese provável vinculada à dinâmica hídrica do rio. Os depósitos tecnogênicos se estendem ao Sul sendo parcialmente limitados por um morro residual e pelas atividades desenvolvidas no manejo dos resíduos. O limite ao Oeste se dá com o bairro Volta Grande 4 e ao Leste pela BR-393, que também dá acesso ao empreendimento (**Figura 1**).

O Rio Paraíba do Sul tem importância por sua transposição, por uma série de barragens, para o manancial que abastece a região metropolitana do Rio de Janeiro. A proximidade do pátio de estocagem com o curso d'água do Rio Paraíba do Sul é o objeto de pedido de avaliação geotécnica das pilhas de escória.

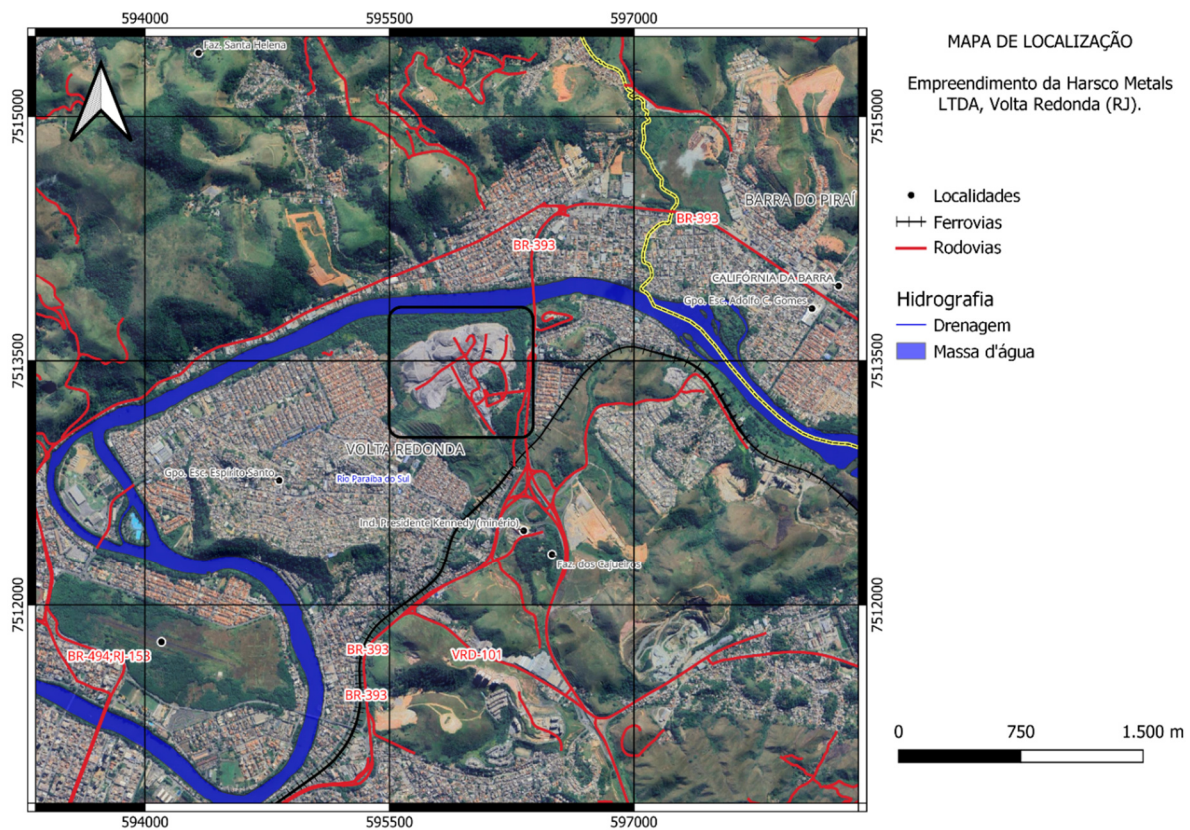


Figura 1 – Localização do empreendimento no contexto do município de Volta Redonda (RJ). Fonte: Rio de Janeiro (2024); Google Earth (2024).

4.1. ESCÓRIA SIDERÚRGICA

Parte inevitável do processo siderúrgico, as escórias são um tipo de resíduo sólido industrial altamente alcalino ($\text{pH} > 12$) proveniente da produção do aço nas usinas siderúrgicas, como a Usina de Presidente Vargas (UPV) de responsabilidade da CSN. São constituídas de elementos removidos do processamento do metal, tais como cal, sílica, fósforo, óxidos básicos e outros, durante a transformação do minério em ferro gusa e do refino deste em aço, geralmente combinado com sucata. São respectivamente denominadas de escória de alto-forno (ou, do gusa) e de escória de aciaria (Baltazar, 2001).

A composição das escórias e suas propriedades são dependentes da qualidade e composição do ferro, fundentes, quantidades, velocidade de produção, do processamento e sua eficiência. Em geral, as escórias de alto-forno têm 95% de sua composição formada de sílica, alumina, cálcio e magnésio e teores menores de fósforo e enxofre, com a fase mineralógica dependendo do tipo de resfriamento. Porém, quase a totalidade (93,3%) da escória de alto-forno é reciclada para aplicação nas indústrias cimenteiras (Baltazar, 2001).

De acordo com informações prestadas por funcionários da Harsco/CSN durante a vistoria, o pátio de estocagem tem licença para receber os 2 tipos de escória siderúrgica, porém, a totalidade da escória de alto-forno é direcionada à produção de cimentos e não é estocada no pátio da Harsco Metals LTDA.

A composição das escórias de aciaria dependem do tipo de forno (a oxigênio ou elétrico), da carga metálica (gusa e/ou sucata), dos fundentes (cal ou dolomita, por exemplo) e da oxidação das impurezas na fusão e refino do aço, tais como o silício, fósforo, enxofre e da redução do carbono (Baltazar, 2001).

De acordo com as informações prestadas pela Harsco/CSN existem dois tipos de aciaria na UPV: a de forno elétrico e a de LD (Linz-Donawitz), ou conversor a oxigênio. A maior parte da produção é relacionada ao conversor LD, sendo, portanto, considerado o principal tipo de escória recebido no pátio de estocagem.

A composição química da escória de aciaria de fornos LD é principalmente de óxidos de cálcio (CaO), magnésio (MgO) e ferro (FeO, Fe₂O₃), além de sílica (SiO₂), ferro metálico (Fe) e outros elementos em menor teor. Sua mineralogia é formada por B-silicato dicálcico (B-C₂S, larnita), ferrita dicálcica (2CaO.Fe₂O₃), wüstita (FeO), cal livre (CaO), periclásio (MgO), entre outras (Raposo, 2005; Polese et al., 2006).

As escórias de aciaria, quando expostas ao ar e à água, apresentam baixa estabilidade volumétrica (**Figura 2A, Figura 2B**) em decorrência da expansão promovida por reações de hidratação, carbonatação e/ou oxidação de seus compostos. A principal fonte de instabilidade ocorre pela hidratação dos óxidos CaO (óxido de cálcio, cal livre) em Ca(OH)₂ (hidróxido de cálcio, cal hidratada) e MgO (óxido de magnésio, cal dolomítica livre) em Mg(OH)₂, este último ocorrendo de forma mais lenta em relação à cal (Baltazar, 2001).

A hidratação destes óxidos depende das condições de umedecimento, temperatura e acesso da água às porções que contêm a cal, que pode estar inserida, por exemplo, em frações granulométricas mais grossas da escória e isoladas, mesmo mediante intempéries ou tratamento. Assim, a hidratação e expansão destes óxidos pode levar de alguns dias, como no caso do CaO, até meses ou anos, no caso do MgO.

O tratamento convencional é a exposição ao ar e à água, incluindo umedecimento induzido para acelerar o tempo de cura, para enquadramento às normas de utilização como agregado em diferentes aplicações comerciais. Baltazar (2001) indica um tempo mínimo de seis (06) meses para apassivação volumétrica das escórias quando expostas nos pátios de estocagem, enquanto Rohde (2002) indica um tempo entre três (03) meses e um (01) ano, dependendo das características do tratamento.

Assegurada sua estabilidade volumétrica, as escórias apresentam comportamento mecânico similar ao dos agregados minerais e, por sua composição, ainda podem sofrer autocimentação, ou concrecionamento, pela reação com a água, propiciando aumento de resistência e comportamento estrutural semelhante ao de estruturas rígidas ou semi-rígidas, com alta dureza. Um dos elementos cimentantes é o carbonato de cálcio precipitado, produto da reação da cal virgem com a água e o CO₂ da atmosfera (Rohde, 2002).



Figura 2 – A) Pavimento rompido: expansão da escória utilizada na construção de rodovia no ES. Fonte: Baltazar (2001). B) Deformações pela expansão da escória utilizada em pavimento. Fonte: Raposo (2005).

5. RESULTADOS

O trabalho desenvolvido entre os dias 28/02 e 01/03/2024 no município de Volta Redonda (RJ) consistiu no reconhecimento realizado no entorno do empreendimento da Harsco Metals LTDA, para uma avaliação geotécnica expedita (**Figura 3A**), culminando em uma visita interna ao pátio promovida pela ALERJ e demais órgãos públicos presentes ao empreendimento (**Figura 3B**). Adicionalmente, foram utilizadas aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) com sensores embarcados para identificação, caracterização e avaliação de condicionantes geológicos e geotécnicos pertinentes à caracterização dos depósitos e seu entorno (**Figura 3C**), incluindo a geração de modelo digitais e outros produtos para análise espacial do terreno (**Figura 3D**).

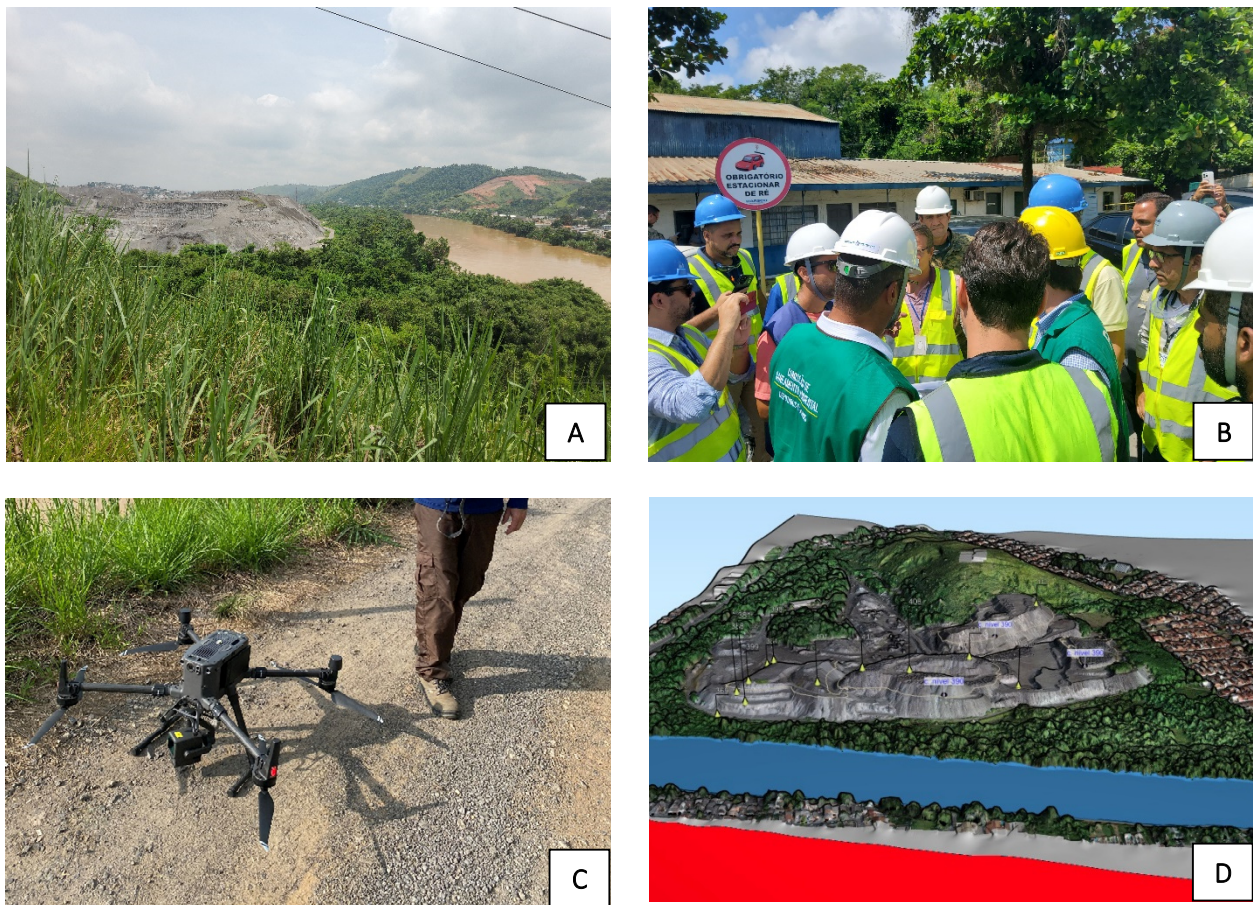


Figura 3 – A) Avaliação geotécnica expedita ao entorno das pilhas de escória. B) Vistoria interna ao pátio de estocagem. C) Utilização de drones de última geração para obtenção de produtos digitais de análise. D) Modelagem 3D a partir de dados obtidos em campo.

5.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

O município de Volta Redonda (RJ) está inserido no contexto de um embasamento formado por terrenos proterozóicos/eopaleozóicos da Faixa Ribeira, constituído por complexos ortoderivados paleoproterozoicos, complexos paragnáissicos neoproterozoicos e suítes intrusivas neoproterozoicas /eopaleozoicas em forma de corpos alongados de direção NE-SW, conforme *trend* regional (**Figura 4**). Ademais está situado sobre depósitos da bacia sedimentar de Volta Redonda, vinculada ao segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini, 1989) com deposição de sedimentos orientada na direção NE-SW, originada dos diferentes estágios do processo de rifteamento (Negrão et al., 2015).

Os sistemas de falhas normais controlam a geração, preenchimento sedimentar dos grábens e dos sistemas de drenagens. O evento distensivo NW-SE holocênico é atribuído como o gerador dos depocentros quaternários (graben da Usina, p. ex.) e demais ocorrências aluviais ao longo do trend NE-SW. Os depósitos aluviais quaternários, relacionados a este evento distensivo, são caracterizados por relevo plano relacionado a terraços e planícies de inundação, ocorrendo próximos às cotas topográficas do nível base local e constituído por areias, lamas e cascalhos originados a partir da dinâmica fluvial recente. (Negrão et al., 2015).

Os depósitos são configurados em um corpo principal de escória, de maior volume, paralelo ao longo do Rio Paraíba do Sul, colocado lindeiro à atual planície de inundação e outros empilhamentos de menor monta, com destaque para o corpo colocado nas proximidades da encosta de um morrote (**Figura 5A**). Apresenta diferentes amplitudes ao longo de seu eixo devido às operações de deposição e retirada de material e, em geral, apresenta taludes íngremes e declivosos. As maiores amplitudes chegam a cerca de 40,0 metros a partir da via de acesso na base do empilhamento nos trechos em que existe, da base ao topo, uma face contínua pela configuração de deposição dos empilhamentos (**Figura 5B**).

Na porção da pilha mais próxima ao Rio Paraíba do Sul foi identificada uma série de três cortes subverticais e execução de bermas subhorizontais de forma escalonada a partir do topo, um tipo de intervenção que geralmente objetiva um ganho na estabilização, ou no aumento da segurança frente à instabilizações, pela alteração do perfil e da geometria original do talude de escória (**Figura 6A e Figura 7B**).

Os cortes subverticais, por sua geometria, aceleram os processos intempéricos nestes taludes declivosos, ficando mais suscetíveis aos processos erosivos, assim como na área de interface entre a modificação/intervenção geométrica e os taludes originais formados pelas deposições seguidas no empilhamento.

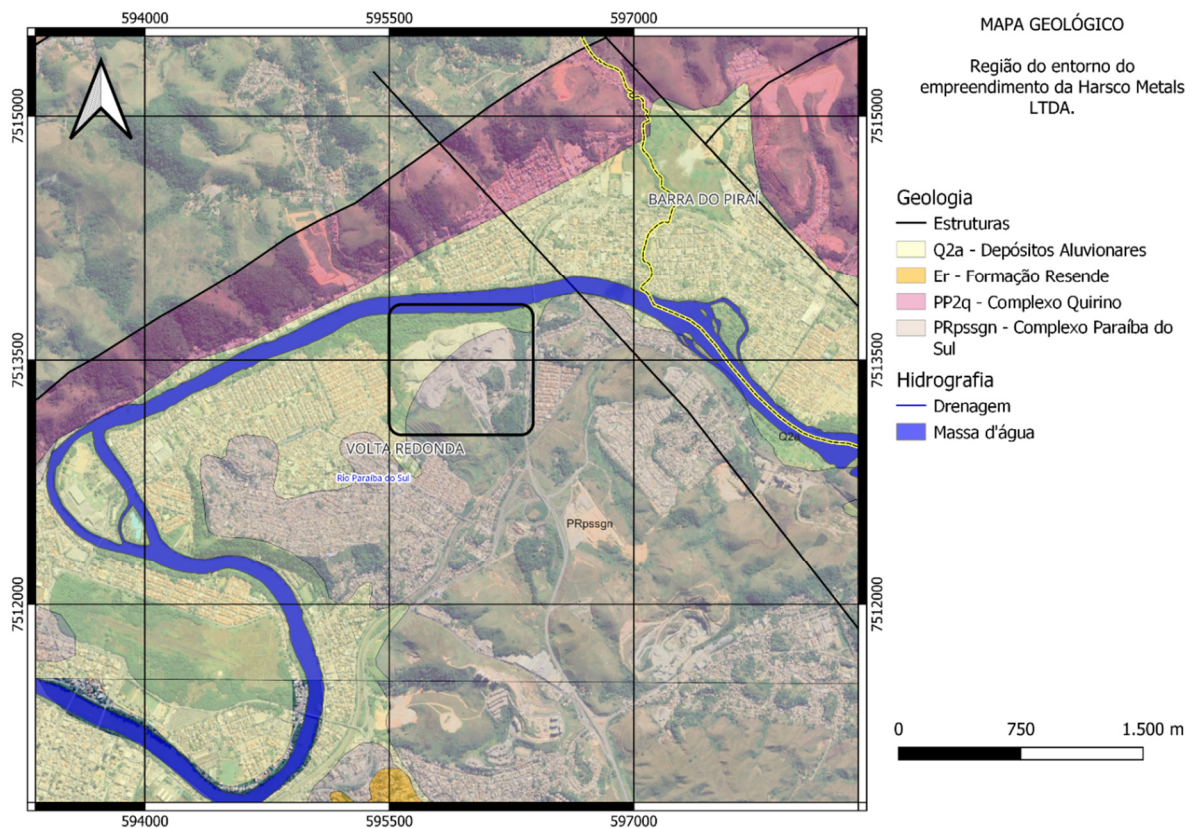


Figura 4 – Geologia do entorno do empreendimento. Fonte: Heilbron et al. (2007a, b).

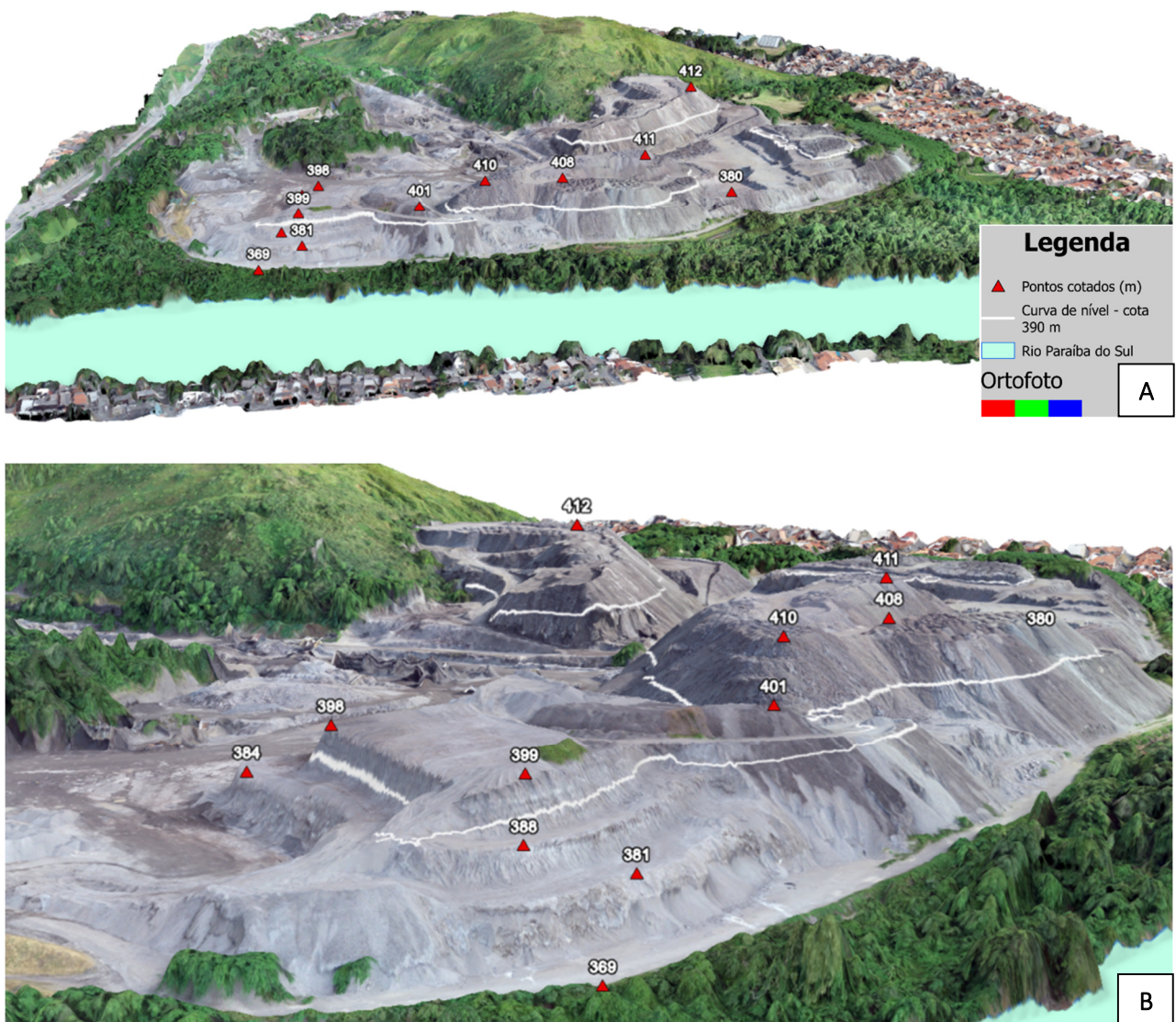


Figura 5 – A) Modelo digital de terreno com sobreposição de ortofoto para caracterização geral dos depósitos de escória, com principais pontos cotados e curva de nível de referência (390,0m). B) Detalhe em primeiro plano da região mais próxima ao curso do Rio Paraíba do Sul

Em comunicação verbal por parte da Harsco/CSN, na data de 01/03/2024 foi apresentado que houve recuo em relação à distância da margem do rio para adequação da área de preservação permanente (APP), conforme requisição feita pelo órgão ambiental competente. Aparentemente, este recuo foi realizado no trecho em que houve o retaludamento.

Seguindo o talude, a SW, estão localizadas as maiores amplitudes em relação à via de acesso lindeira à base do empilhamento e à planície de inundação do Rio Paraíba do Sul, chegando a cerca de 40,0 metros (**Figura 5B**, **Figura 6B** e **Figura 7C**). Esta porção do talude apresenta alta inclinação (inclinação média de 39,7 graus, chegando a mais de 45 graus em alguns trechos) e em alguns trechos existem cortes na base do talude (**Figura 7C**).

A continuidade do talude sentido ao bairro Volta Grande apresenta outra geometria com amplitude em cerca de 15,0 metros (**Figura 6C**, **Figura 7D**). Existe, portanto, uma diversidade de geometrias do talude voltado ao Rio Paraíba do Sul (**Figura 6**, **Figura 7**) que devem ser consideradas em uma análise integrada de avaliação geotécnica.



Figura 6 – A) Fotografia aérea oblíqua tomada por RPA da porção da pilha de escória siderúrgica que se localiza mais próxima da margem direita do Rio Paraíba do Sul. Observar o escalonamento em bermas realizado no trecho destacado. B) Trecho intermediário dos taludes voltados ao Rio Paraíba do Sul: maior amplitude identificada (~40,0m). C) Trecho nas proximidades do bairro Volta Grande de menor amplitude.

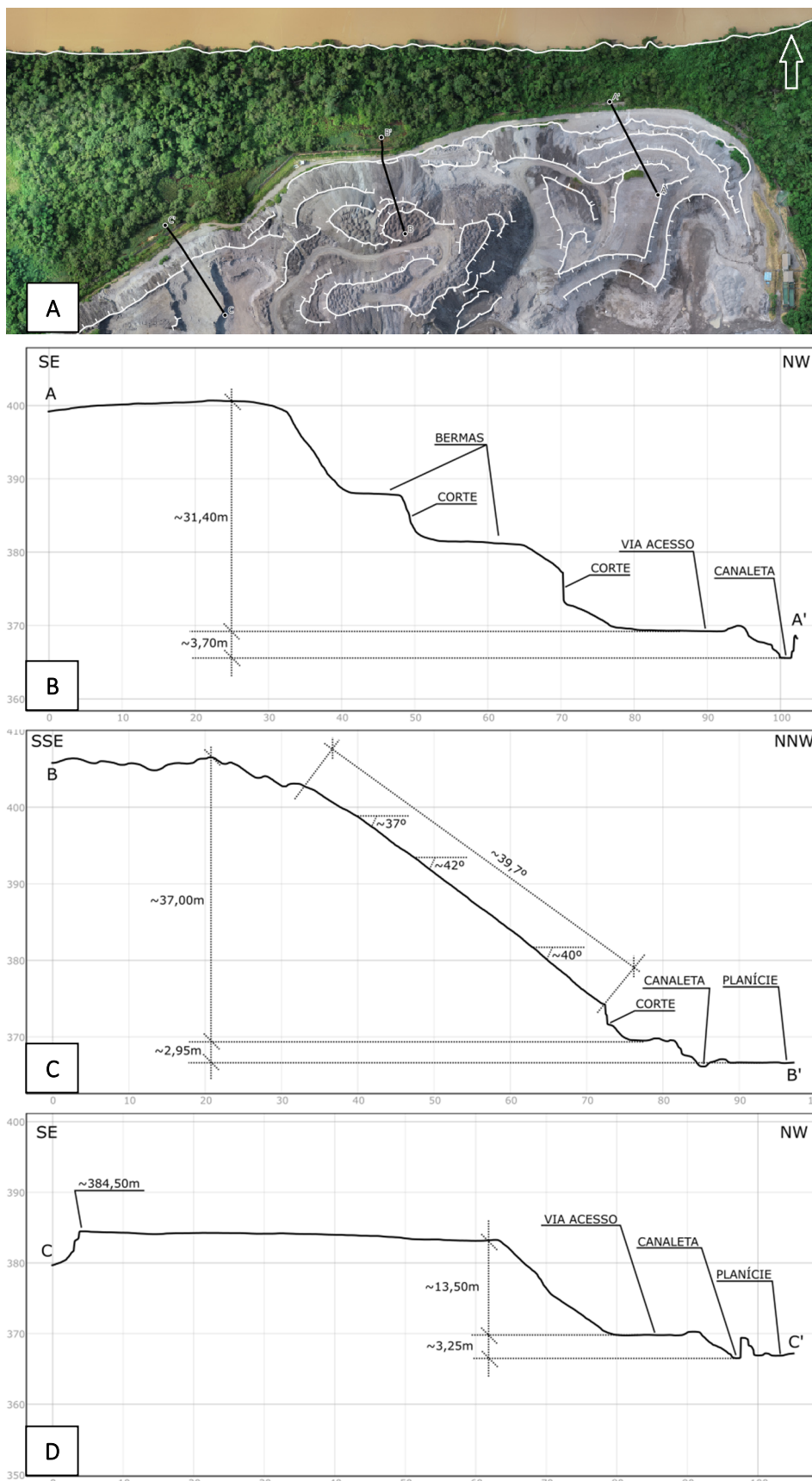


Figura 7 – Perfis topográficos do talude voltado ao Rio Paraíba do Sul (sentido N-NW): A) Localização dos perfis; B) Perfil A-A', área do retaludamento; C) Perfil B-B', maior amplitude identificada; D) Perfil C-C'.

O material aparente no talude tem distribuição irregular, com granulometria geral grossa, heterogêneo, de coloração cinza a cinza escuro, depositado ao longo de anos de operação do pátio de estocagem, formando o corpo principal do depósito de escória (**Figura 8A**). A superfície do talude apresenta alta resistência à escarificação (mediante escarificação utilizando faca) e à desagregação manuais, estando concrecionada ou cimentada e, sendo uma das características de comportamento mecânico esperado para a escória exposta às intempéries (**Figura 8B**).

Alguns cortes subverticais, na base dos taludes, ao longo da via de acesso paralela ao Rio Paraíba do Sul, apresentam feições quimiogênicas, como a precipitação de feições tubulares, como as estalactites (**Figura 8C**). Considerando a composição química da escória, é provável que estas feições precipitadas sejam provenientes de reações internas ao maciço, podendo indicar também a composição do conteúdo cimentante identificado na superfície endurecida dos taludes (**Figura 8D**.)

Esta característica pode diminuir a infiltração e a percolação das águas pluviais no maciço e, portanto, ocorrer a diminuição da interação da água e do ar com os elementos em seu interior, e ainda considerando a fração granulométrica grossa, é possível ter frações ainda com capacidade de expansão volumétrica.

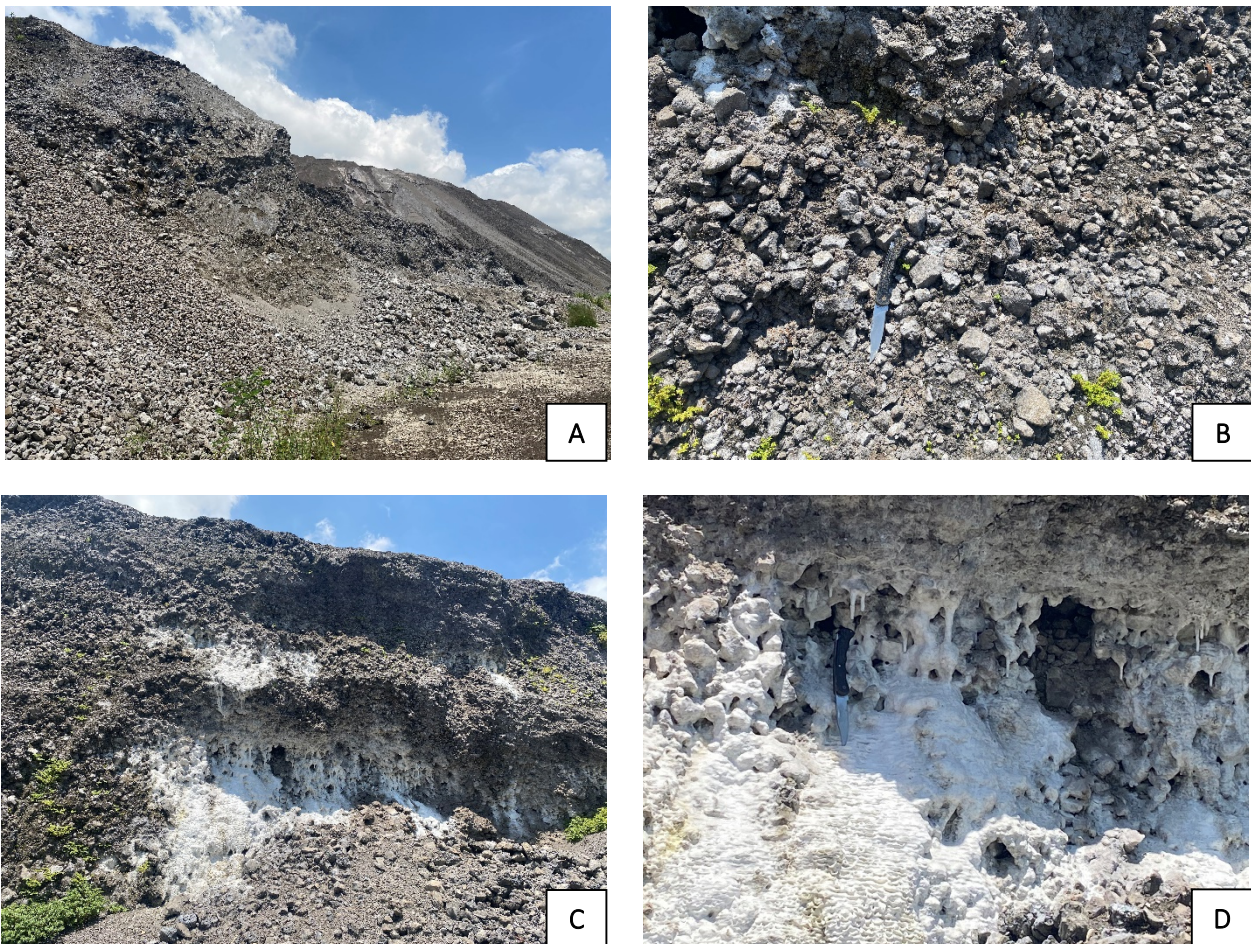


Figura 8 – A) Aspecto geral da escória siderúrgica acumulada no pátio; talude voltado ao Rio Paraíba do Sul; b) Detalhe do aspecto da escória: fração grosseira; c) Corte na base do talude de escória: acumulações de precipitados de coloração branca; D) Detalhe dos precipitados cimentando o talude de corte. Notar a formação de feições tubulares a partir do topo.

Algumas feições de instabilidade foram observadas em campo e também por fotointerpretação das imagens aéreas obtidas por RPAs: estas incluem trincas de tração, cicatrizes de rupturas rasas e sulcos erosivos promovidos pelas águas pluviais. As evidências observadas indicam que as instabilizações são induzidas, especialmente, por cortes na região do sopé dos taludes. Os cortes são parte das operações de desmonte, retaludamento e execução de acessos ao interior dos depósitos. As **Figuras 9 a 11** ilustram as principais feições identificadas no corpo principal da escória.

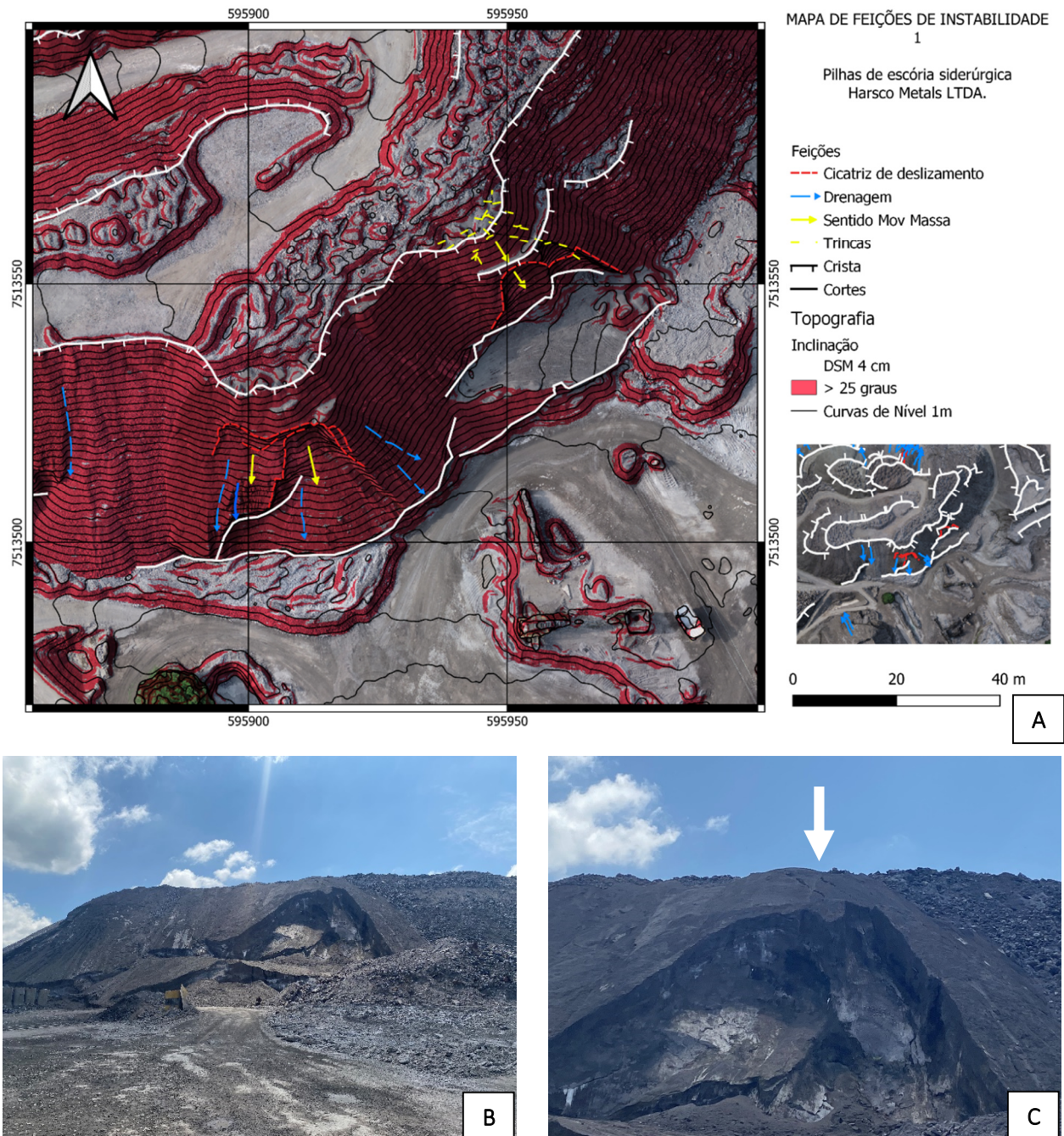


Figura 9 – Feições em talude voltado para o interior do pátio de estocagem. A) Mapa de feições de instabilidade #1: feições de rupturas translacionais condicionadas por cortes no talude de escória siderúrgica. B) Vista do chão da feição direita do mapa: trincas de tração a montante indicando instabilidade no topo do talude; por conta das operações existe a execução de uma berma na base coincidente com um corte. C) Vista do chão: detalhe das trincas (em destaque) no topo.

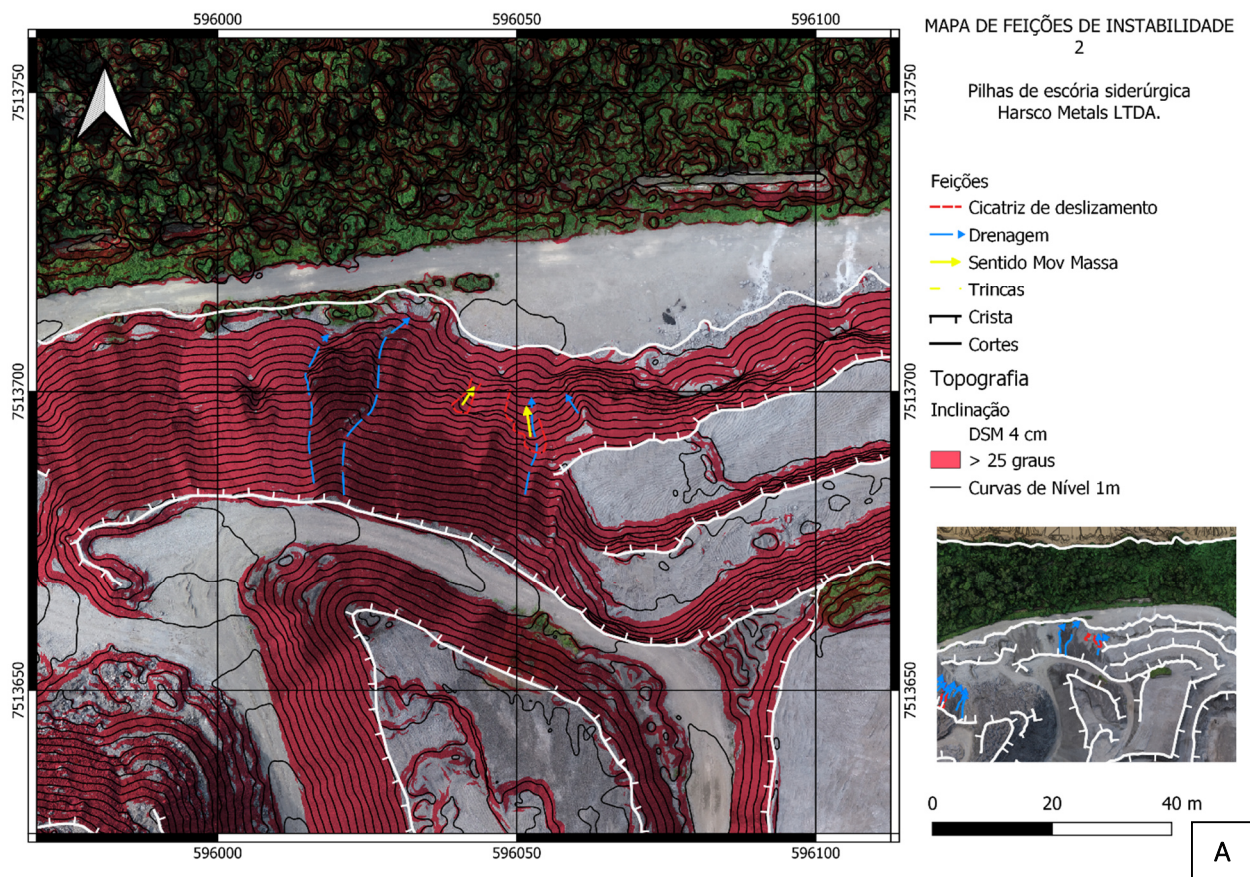


Figura 10 – Feições em talude voltado para o Rio Paraíba do Sul. A) Mapa de feições de instabilidade #2: taludes voltados ao Rio Paraíba do Sul. B) Vista do chão: movimentos rasos com acumulações lindeiras ao sopé do talude de escória. C) Vista aérea por RPA: destaque (seta amarela) dos deslizamentos translacionais rasos na interface da intervenção por bermas com talude.

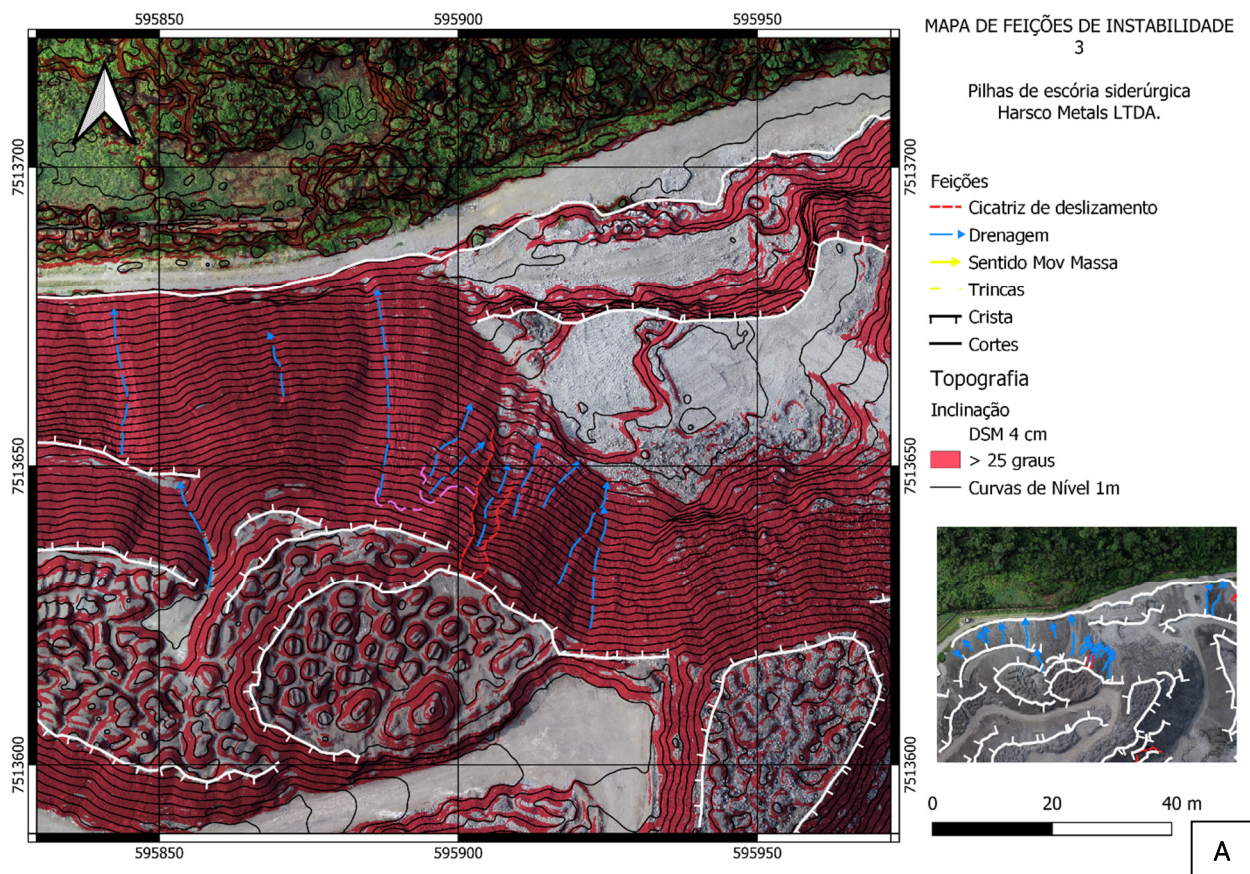


Figura 11 – Feições em talude voltado para o Rio Paraíba do Sul. A) Mapa de feições de instabilidade #3: taludes voltados ao Rio Paraíba do Sul. B) Vista aérea por RPA: movimento translacional raso associado a feições erosivas. C) Vista aérea por RPA: destaque (seta amarela) das feições erosivas e do deslizamento translacional raso na interface de um corte no terço inferior do talude.

A presença de feições de instabilização do maciço, sua natureza e colocação nas interfaces com taludes de corte e áreas de manejo da operação dos depósitos, evidencia que cuidados devem ser tomados no manejo das pilhas estocadas para evitar rupturas induzidas, mesmo que de pequena monta ou volume.

5.2. PERIGO A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

A elaboração das áreas de perigo a movimentos gravitacionais de massa se baseia no método apresentado em detalhes por Pimentel et al. (2018), o qual, de maneira sintética, envolve as seguintes atividades:

- Obtenção e geração de modelo digital de terreno com alta resolução;
- Análise do limite de abrangência dos processos;
- Aplicação de critérios topográficos para definição das áreas de perigo em ambiente SIG;
- Correção e validação geométrica das áreas resultantes do processo de modelagem.

A modelagem de perigo foi realizada considerando as principais feições de instabilidade observadas em campo e no modelo digital de terreno obtido, entendendo o processo de ruptura presente e possível de ocorrer nas escórias como o do tipo deslizamento planar, ou translacional. Ademais, correções na modelagem espacial de perigo foram realizadas manualmente para abranger a configuração das bermas e taludes de corte dos depósitos de escória siderúrgica, especialmente para os taludes voltados ao Rio Paraíba do Sul, e gerar as áreas de perigo aos deslizamentos. Assim, a análise das diferentes geometrias apresentadas pelos taludes pôde ser observada e contemplada por esta metodologia. As áreas são apresentadas nas **Figuras 12 e 13**.

Notadamente o alcance de eventuais rupturas é influenciado pela configuração geométrica das bermas executadas, pois reduzem a amplitude dos taludes (**Figura 12**). Para a face voltada ao Rio Paraíba do Sul, do corpo principal de escória, o modelo da área de dispersão fica restrita à planície de inundação do rio, não alcançando o corpo d'água, mesmo no trecho do talude de maior amplitude e com face contínua (da base ao topo).

Apesar de não ser objetivo desta avaliação técnica, ressalta-se que o morrote inserido na propriedade da Harsco Metals LTDA, por suas configurações, também apresenta-se englobado na área de perigo (**Figura 13**). Os limites inferiores incluem parcialmente a primeira fileira de edificações ao longo da Rua 1021 no bairro Volta Grande 2 (**Figura 14**). Como agravante existe uma feição de instabilidade, de pequena monta, na face do talude (**Figura 15**), indicativo do tipo de processo atuante na face da encosta.

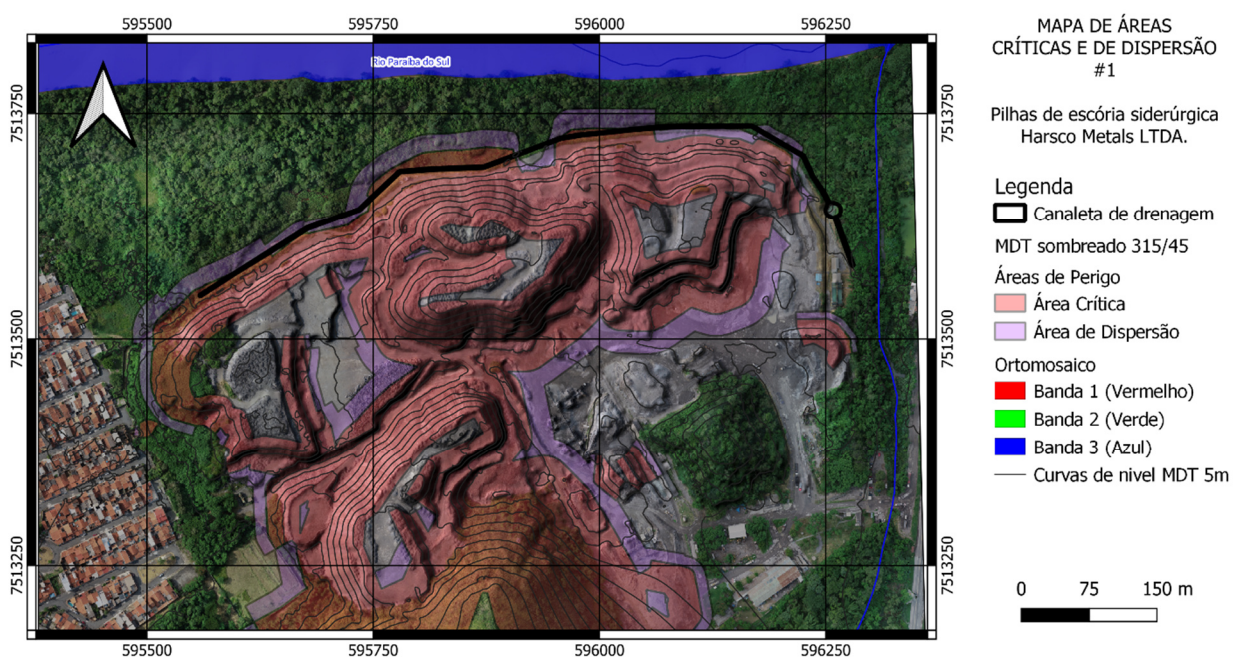


Figura 12 – Caracterização geral das áreas críticas e de dispersão para as escórias siderúrgicas do pátio da Harsco Metals LTDA, em Volta Redonda (RJ). Pode ser conferido no **Anexo III**.

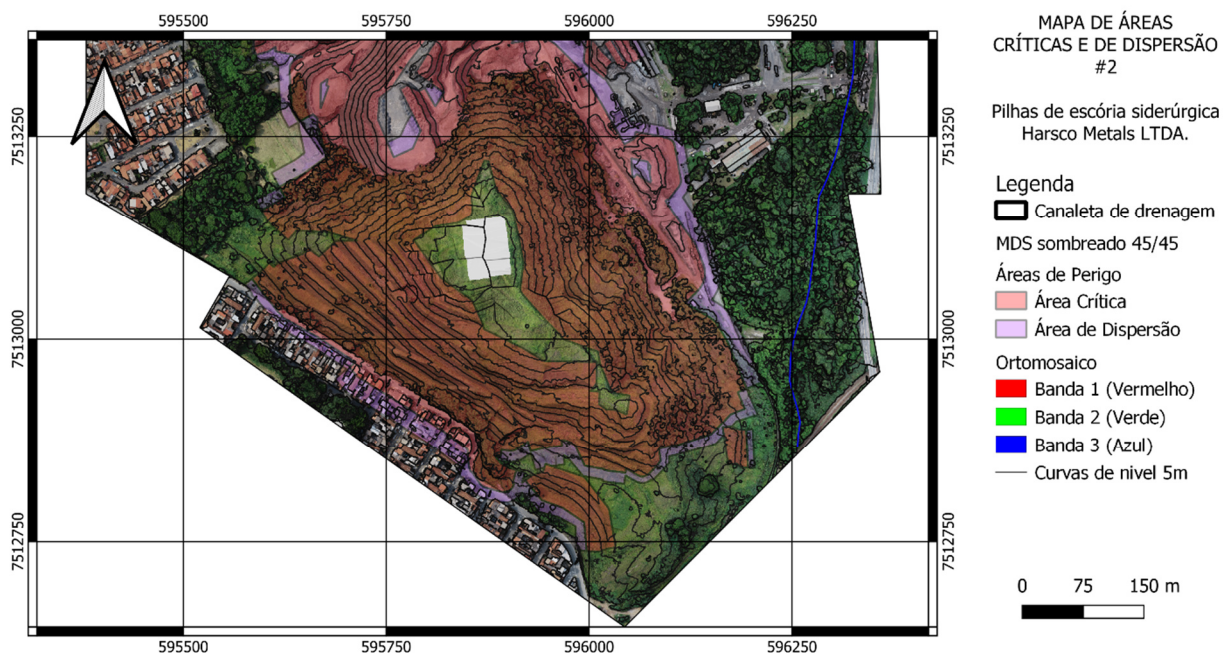


Figura 13 – Caracterização geral das áreas críticas e de dispersão para as escórias siderúrgicas do pátio da Harsco Metals LTDA, em Volta Redonda (RJ). Pode ser conferido no Anexo III.

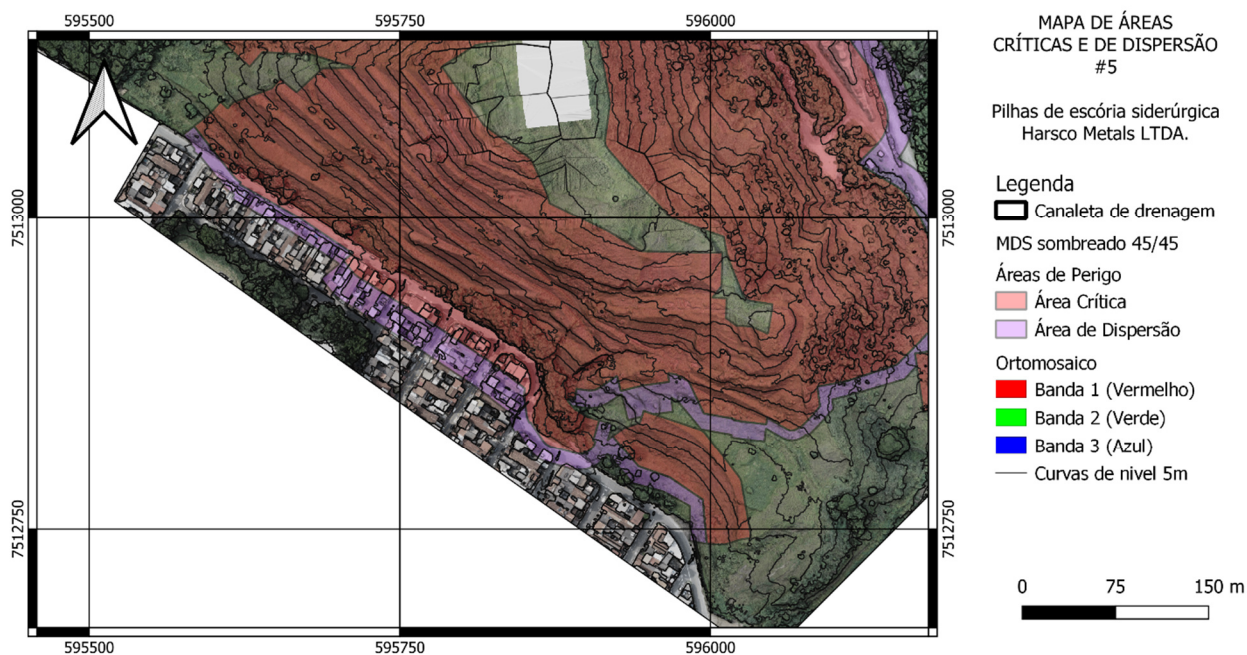


Figura 14 – Detalhe da região do bairro Volta Grande 2



Figura 15 – A) Vista do chão do morrote localizado no interior da propriedade da Harsco Metals LTDA. B) Cicatriz de deslizamento identificada em imagem aérea obtida por RPA

Cabe ainda ressaltar que, por não ser objeto deste estudo, não foi realizada a qualificação do perigo, deixando apenas a delimitação das áreas críticas e de dispersão para referência e manejo do constatado pelos órgãos responsáveis e pelo empreendimento.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Foram realizados levantamentos por RPAs e geração de produtos digitais de alta resolução (DSM, DTM, ortomosaico, etc.), validados na vistoria física, do pátio de estocagem da Harsco Metals LTDA / CSN para modelagem digital do terreno e análise espacial de terreno. Os taludes de escória, em geral, apresentam inclinação média superior a 25° (com máximas podendo chegar a 45°); nos taludes de corte a inclinação é superior a 45°, até subvertical;
- As amplitudes chegam a cerca de 40 m em determinados trechos do empilhamento; No trecho em que foi adotado o escalonamento em bermas (coincidente com o trecho mais próximo ao Rio Paraíba do Sul), as amplitudes, a partir da base na via de acesso lindeira ao rio, ficam em torno de 12 metros para a primeira berma, de 19 metros para a segunda berma e de 30 metros para a terceira;
- Foram identificadas feições de instabilidade, aferidas em campo, que referenciam a modelagem de perigo elaborada, com base nos produtos de alta resolução gerados, para os taludes de escória voltados ao Rio Paraíba do Sul; As maiores feições identificadas foram induzidas por cortes na base dos respectivos taludes;
- Foi realizada análise de perigo para o morrote inserido no contexto do pátio de estocagem e os resultados apontam para o alcance de eventuais instabilizações até o bairro situado na base;
- As escórias siderúrgicas apresentam instabilidade volumétrica, inerente à sua composição, pela interação com o ar e água (proveniente do umedecimento controlado ou das chuvas), característica relevante do ponto de vista geotécnico; Deve ser respeitado o tempo de cura do material considerando sua disposição no empilhamento;
- Pela metodologia empregada para análise, o alcance de eventuais rupturas nos taludes voltados ao Rio Paraíba do Sul podem atingir a planície de inundação, em especial nas porções de maior amplitude; no entanto, o modelo não indica o atingimento direto do curso d'água do rio. Uma canaleta de drenagem situada no entorno do empilhamento e do empreendimento, para coleta de efluentes alcalinos, em conjunto com o muro de divisa ajuda a dissipar a energia de eventuais massas rompidas;
- Os resultados expostos no presente relatório representam as condições observadas no momento da visita de campo, as quais podem se alterar ao longo do tempo

Seguem abaixo recomendações:


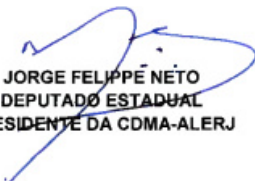
- S.m.j., recomenda-se respeitar o tempo de cura da escória, para minimizar sua expansão – característica geotécnica desfavorável, antes de sua disposição/empilhamento final, especialmente nas adjacências do Rio Paraíba do Sul;
- Recomenda-se a contratação de profissionais e/ou empresas habilitados para elaboração de estudos específicos e complementares sobre a reologia da escória depositada e da análise da estabilidade dos taludes formados pela escória siderúrgica, especialmente dos taludes voltados para o Rio Paraíba do Sul, objeto de presente foco de investigação do poder público;
- Recomenda-se a adoção de técnicas adequadas para desmonte dos empilhamentos e/ou recuperação de escória, considerando as boas práticas de engenharia, para evitar e/ou minimizar instabilização dos taludes e possíveis rupturas que possam ocorrer;
- Recomenda-se a adoção de barragens verdes com maior alteamento para minimização dos impactos ambientais e visuais que o empilhamento produz ou possa produzir (p. ex., a constituição de uma barreira de espécies vegetais apropriadas e de porte arbóreo);
- Recomenda-se o contínuo estudo de alternativas de aplicações comerciais para a escória siderúrgica evitando o acúmulo no pátio de estocagem, possibilitando os manejos que se fizerem necessários, e até mesmo reduzindo as pilhas existentes;
- Por fim, considerando as implicações ambientais da atividade, deve-se garantir as determinações do órgão ambiental competente no tocante à atividade instalada, sua operação e a disposição de resíduos siderúrgicos, inclusive aquelas relacionadas à proximidade da área de preservação permanente (APP) do Rio Paraíba do Sul, adequando as operações de manejo e recuperação de escória estocada de forma escalonada e segura, para seu atendimento na integralidade.

7. REFERÊNCIAS

- BALTAZAR, R. P. Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 93 p. 2001.
- HEILBRON, M. Et al. Geologia da folha Santa Rita do Jacutinga SF.23-Z-A-II. Escala 1:100.000. CPRM, UERJ, 2007a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10519>. Acesso em: 08/03/2024.
- HEILBRON, M. Et al. Geologia da folha Volta Redonda SF.23-Z-A-V. Escala 1:100.000. CPRM, UERJ, 2007b. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10306>. Acesso em: 08/03/2024.
- NEGRÃO, A.P.; RAMOS, R.R.C.; MELLO, C.L.; SANSON, M.S.R. Mapa geológico do cenozoico da região da bacia de Volta Redonda (RJ), segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil): identificação de novos grabens e ocorrências descontínuas, e caracterização de estágios tectonossedimentares. *Brazilian Journal of Geology*, 45(2): pp. 273-291. 2015. DOI: 10.1590/23174889201500020007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjgeo/a/js7bNDXf9xYxVmY6KXFTKqj/?lang=pt#>. Acesso em: 08/03/2024.
- PIMENTEL, J. Et al. Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa. CPRM, 2018. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20452>. Acesso em: 08/03/2024.
- POLESE, M.O.; CARREIRO, G.L.; SILVA, M.G.; SILVA, M.R. Caracterização microestrutural da escória de aciaria. *Revista Matéria*, v.11, n.4, pp.444-456. 2006. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10814>. Acesso em: 07/03/2024.
- RAPOSO, C.O. Estudo experimental de compactação e expansão de uma escória de aciaria LD para uso em pavimentação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 164p. 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/6ea45a93-da9c-4cc0-b954-9297e14e6fd6/content>. Acesso em 20/03/2024.
- RICCOMINI, C. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 256p. 1989.
- RIO DE JANEIRO, Portal GeoINEA. Informações Geoespaciais do Estado Rio de Janeiro. Dados espaciais, shapefile SHP (rodovias, ferrovias, hidrografia). 2024. Disponível em: <https://geoportal.inea.rj.gov.br/>. Acesso em: 08/03/2024.
- ROHDE, L. Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos – estudo laboratorial. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre, 118op. 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3878/000345108.pdf>. Acesso em 08/03/2024.

8. ANEXOS

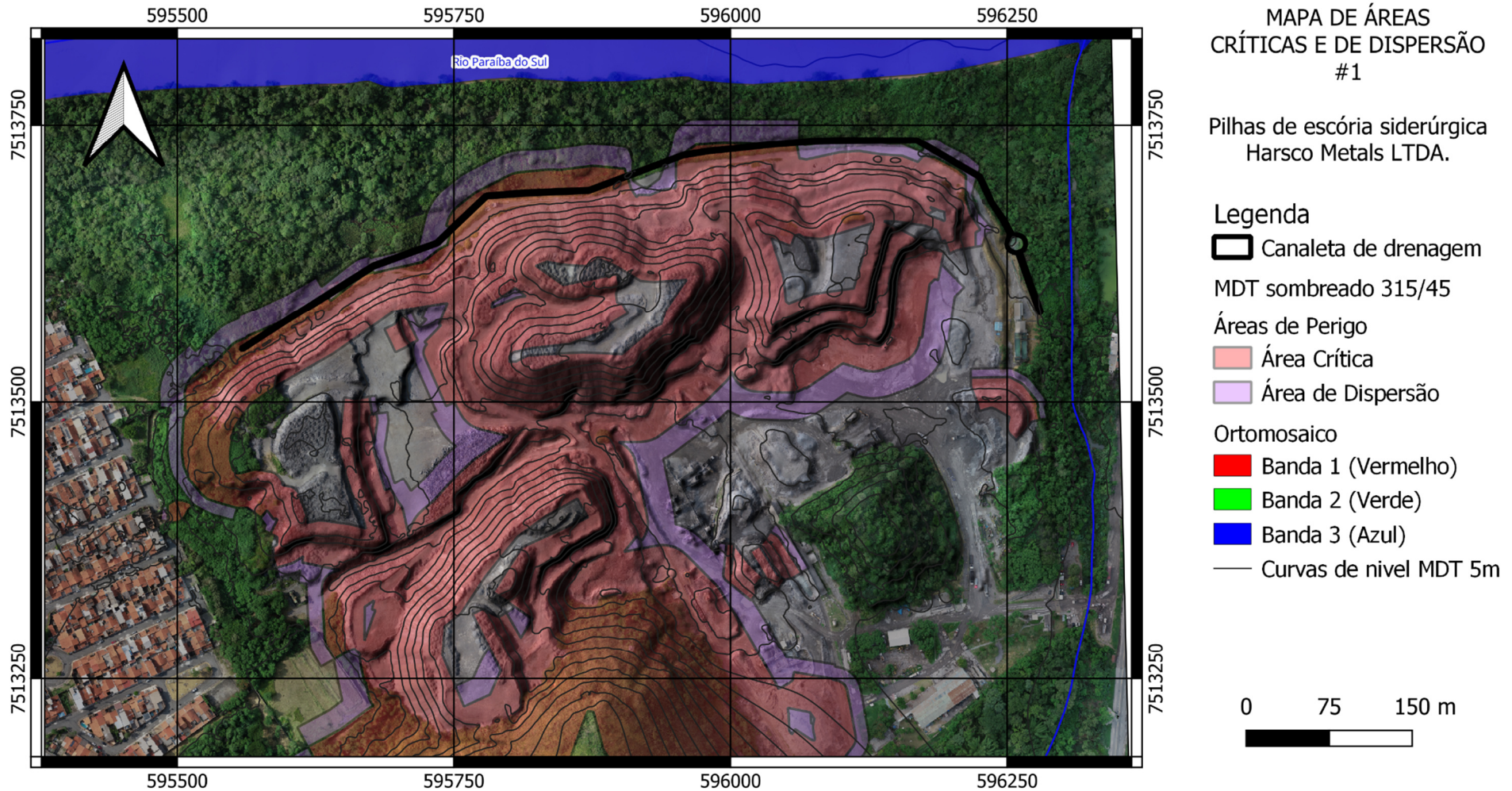
Anexo I – Ofício ALERJ CDMA nº 001/2024

	Comissão de Defesa do Meio Ambiente
Ofício CDMA Nº 001/2024	Rio de Janeiro, 09 de janeiro de 2024
 AO ILMO.SR. INÁCIO MELO M.D. DIRETOR-PRESIDENTE DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - SGB	
 Ref.: Laudo de estabilidade de talude do Rio Paraíba do Sul	
 Prezado Diretor-Presidente,	
<p>Na qualidade de presidente da Comissão de Defesa do Meio Ambiente da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, com base nas atribuições conferidas pela Constituição do Estado do Rio de Janeiro em seu artigo 99, inciso X, e pela Resolução ALERJ Nº 810/1997 em seu artigo 26, incisos IV, V e VI e Parágrafo 18 em suas alíneas "a", "b" e "c", venho, por meio deste, solicitar laudo técnico de estabilidade do Rio Paraíba do Sul, sobre o qual se encontram montes de escória de aciaria em pátio sob responsabilidade da Harsco Metals S.A., situada na Rodovia Lúcio Meira, 12500 - Brasilândia, Volta Redonda - RJ em condição de altíssimo risco de ocorrência de desmoronamento ao longo da margem ocupada, onde a estimativa de eventual deslocamento do volume do material pode vir a ocasionar o solapamento, obstrução e poluição do referido corpo hídrico.</p>	
<p>Na expectativa do acolhimento deste, despeço-me com elevada estimada e consideração.</p>	
 Atenciosamente,	
	
JORGE FELIPPE NETO DEPUTADO ESTADUAL PRESIDENTE DA CDMA-ALERJ	
 <small>Comissão de Defesa do Meio Ambiente da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. ALERJÃO - Rua da Ajuda, nº 5 – Centro - Rio de Janeiro. E-mail: meioambiente.denuncias@alerj.rj.gov.br</small>	

Anexo II – Lista de presença da reunião pré-vistoria 01/03/2024 na sede da Harsco Metals LTDA.

HARSCO ENVIRONMENTAL		LISTA DE PRESENÇA	
CURSO / TREINAMENTO / REUNIÃO			
TÍTULO: Visita ALERJ			
DATA: 01/03/2024			
INSTRUTOR			
N/A			
NOME	EMPRESA/ÓRGÃO	ASSINATURA	
1- LEONARDO MARTINS SENA	INEA/SUPMED		
2- MAURICIO C. MACEDO	JUCA/SUPMED		
3- SÉRGIO 99961 ANSCMO	CPAM/UPAM		
4- CB 7M 109045 EUSTON SOUZA	CPAM/UPAM		
5- FELIPE ANDRÉ OLIVEIRA P. BONDAS	CSN		
6- Giulio Nabuco Taddeucci	CSN		
7- DENILSON DE JESUS	SGB		
8- JOSE ARIMATHEA OLIVEIRA	ALERJ		
9- Gisele Lopes Klingler	ALERJ		
10- Thiago S. Paulino	Alcom.		
11- Carlos Augusto de Lillo	ALERJ		
12- Ana Paula Domingues	ALERJ		
13- MAGNO ROBERTO DE F. FERREIRA	ALERJ		
14- THIAGO DRAELO PEREIRA	PERRS		
15- Gustavo Meira da Costa	PERRS/OPMA		
16- Alcomex Vieira D'Alva	CPAM		
17- NUNO ROUIZ ANTONIO	ALERS		
18- RODRIGUES SILVA ALEXANDRE	ALERS		
19- GERHARD SARDO	CDMA-ALERS		
20- AGO SANTANA	CSN		
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
Data:	Assinatura do Responsável:		

ANEXO III – Mapas de áreas críticas e dispersão – Entorno do pátio de estocagem Harsco Metals LTDA – Volta Redonda (RJ)



ANEXO III – Mapas de áreas críticas e dispersão – Entorno do pátio de estocagem Harsco Metals LTDA – Volta Redonda (RJ)

