



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MATHEUS CABRAL ALVES MOREIRA

Análise de Viabilidade Técnica, Econômica, Ambiental e Social do
Projeto S11D da Vale S.A. em Canaã dos Carajás -PA

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2017

MATHEUS CABRAL ALVES MOREIRA

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Monografia apresentado ao curso de geologia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Geólogo.

Orientador: Prof. Ph.D.Regis da Rocha Motta

Rio de Janeiro
2017

MOREIRA, Matheus Cabral Alves.

Análise de Viabilidade Técnica, Econômica, Ambiental e Social do Projeto S11D da Vale S.A. em Canaã dos Carajás – PA/Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ / Matheus Cabral Alves Moreira – Rio de Janeiro, 09 de novembro de 2017.

56 p. : il.; 30 cm.

Orientador: Prof. Ph.D. Regis da Rocha Motta.

Trabalho apresentado como requisito para a conclusão do curso Geologia, ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – 2017.

Referências Bibliográficas: f. 48 a 52.

1. projeto S11D 2. Carajás. 3. Minério de ferro I. Motta, Regis da Rocha. II. UFRJ, Departamento de Geologia do Instituto de Geociências. III. Título.

Matheus Cabral Alves Moreira

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Trabalho apresentado, como requisito para a conclusão do curso geologia, ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Trabalho aprovado. Rio de Janeiro, 09 de Novembro de 2017

Prof. Ph.D. Regis da Rocha Motta
Orientador

Prof. Ph.D. Cláudio Gerheim Porto

Prof. MSc. Marcelo Klusza

Rio de Janeiro
2017

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ e todo o seu corpo docente que contribuíram para minha formação, em especial para o Professor Ph.D. Regis da Rocha Motta, que me orientou durante esse trabalho com toda paciência e dedicação fez com que esse sonho se tornasse realidade; e ao Professor MSc. Marcelo Klujsza que teve grande importância na escolha do meu tema e na confecção do trabalho de conclusão de curso. Aqui vai um agradecimento especial à banca que teve disponibilidade em aceitar o convite para me avaliar.

Agradeço também ao Professor Ph.D. Cláudio Gerheim Porto que sempre me deu atenção e disponibilizou a sua sala para que eu pudesse realizar o trabalho com todo o apoio e ferramentas que estiveram ao seu alcance.

Agradeço aos meus familiares, que deram o apoio psicológico necessário para que eu realizasse esse sonho; minha mãe Soraia Corrêa, meu pai Edalmo Corrêa e minha irmã Camila Cabral; e também às minhas avós Cidinéia e Cirene, que mesmo de longe, sempre me deram o apoio e conforto nas horas mais difíceis durante essa jornada.

Não poderia deixar de agradecer aos meus irmãos de graduação que tive o prazer de conhecer nessa longa jornada e, em especial, ao meu melhor amigo Bernardo Rolim Rangel e também a Anna Carolina Arantes Peres, que foram de grande importância na minha formação, os amigos Rodrigo Freitas, João Benfeita, Victor Menezes, Tais Cidade, Carla Félix, Salomão Alencar, Pedro Duarte e Lucas Adriano que me acompanharam na maior parte da graduação.

Por último agradeço aos meus irmãos de coração Victor Mansur, Daniel Carneiro, Maurício Andrade, Louis Madeira e Wesley Lira, que mesmo distantes estiveram sempre na minha caminhada e me apoiaram nos momentos difíceis.

Resumo

Moreira, Matheus Cabral Alves. **Análise de Viabilidade Econômica e Geológica do Projeto S11D da Vale S.A. em Canaã dos Carajás - PA.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Este trabalho tem por finalidade apresentar a importância da exploração das jazidas de minério de ferro no Brasil, em especial o projeto S11D, na província mineral de Carajás, localizada no Estado do Pará, e os impactos desta exploração para a composição da economia estadual, além dos avanços tecnológicos e sociais. O Brasil possui uma das maiores jazidas de minério de ferro do mundo e exporta esse produto para diversos países, destacando-se Estados Unidos e a China como principais compradores, que impacta diretamente na composição do PIB brasileiro. A associação de tecnologias de lavra no estado da arte em jazidas de minério de ferro de alta qualidade foi determinante para esclarecer a importância da sua exploração. Cabe destacar que o Projeto S11D tem como ponto alto a baixa ou nenhuma produção de rejeitos, que deixam de impactar negativamente o meio ambiente da região do sul do Pará. O trabalho consistirá numa pesquisa bibliográfica sobre o tema junto a trabalhos de dissertação, leitura de livros e pesquisas em revistas especializadas e de autores renomados, que visam apresentar ao leitor a dinâmica utilizada no intuito de esclarecer a importância do assunto, tanto do ponto de vista geológico quanto econômico. Ao final do trabalho buscar-se-á concluir sobre a importância econômica do Projeto e suas implicações na economia do Estado do Pará, bem como esclarecer a viabilidade de um projeto desta monta sem provocar danos significativos ao ecossistema local.

Palavras chaves: Projeto S11D, Carajás, Minério de ferro.

Abstract

Moreira, Matheus Cabral Alves. **Análise de Viabilidade Econômica e Geológica do Projeto S11D da Vale S.A. em Canaã dos Carajás - PA.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The purpose of this paper is to present the importance of the exploration of iron ore deposits in Brazil, especially the S11D project in the Carajás mineral province, located in the State of Pará, and the impacts of this exploration on the composition of the state economy. of technological and social advances. Brazil has one of the largest iron ore deposits in the world and exports this product to several countries, highlighting the United States and China as main buyers, which has a direct impact on the Brazilian GDP. The association of state-of-the-art exploratory technologies in high-quality iron ore deposits was instrumental in clarifying the importance of exploration. It should be noted that Project S11D has as a high point the low or no production of tailings, which no longer have an adverse impact on the environment of the southern region of Pará. The work will consist of a bibliographical research on the subject along with dissertation, books and researches in specialized journals and renowned authors, which aim to present the reader with the dynamics used to clarify the importance of the subject, both geologically and economically. At the end of the work, we will conclude about the economic importance of the Project and its implications for the economy of the State of Pará, as well as clarifying the viability of a project of this nature without causing significant damage to the local ecosystem.

Keywords: Project S11D, Carajás, Iron ore.

Lista de ilustrações

Figura 1: Localização do Projeto S11D (fonte: Google Earth 2017)	16
Figura 2: Localização da Província Mineral de Carajás no Cráton Amazonas (Hasui,2012)	17
Figura 3: Província Mineral de Carajás formada pelo Cinturão Itacaiúnas e pelo terreno granito- greestone Rio Maria (Modificado de Holdsworth & Pinheiro 2000)	19
Figura 4: Mapa Geológico da Província Mineral Carajás (Rosiere et al. 2006 e Costa 2007)	22
Figura 5: Imagem aérea da mina de Ferro do Projeto S11D (Revista Vale)	24
Figura 6: Operação detalhada do Projeto S11D (Revista Vale 2016	26
Figura 7: Imagem do Sistema Truckless (Vale.com.br)	27
Figura 8: Hospital reformado e equipado através da parceria da Vale com a Secretaria de Saúde (Revista Vale)	29
Figura 9: Canaã dos Carajás iluminada resultado da nova linha de transmissão de energia (Revista Vale)	30
Figura 10: IFDM do município de Canaã dos Carajás (Revista Vale)	32

Lista de Planilhas

Planilha 1: Perfil de produção do S11D, com sua totalidade de <i>Sinter Feed</i> (entre 6,3 a 0,15 mm)	33
Planilha 2: <i>Ramp Up</i> inicial e produção estimada do projeto a partir do ano 4 de sua operação	33
Planilha 3: Preço do <i>Sinter Feed</i> sendo ajustado anualmente com uma taxa de 3,0%	34
Planilha 4: Receitas obtidas com a venda do <i>Sinter Feed</i> até o ano 11 de operação	34
Planilha 5: Planilha mostrando o teor elevado do Minério de Ferro do S11D	34
Planilha 6: Planilha indicando alguns parâmetros utilizados na construção do fluxo de caixa descontado	35
Planilha 7: Planilha mostrando a disponibilidade do caixa e também a parcela do investimento financiada já com a taxa de juros	35
Planilha 8: Cálculo de todo o investimento, contendo os parâmetros dos custos de saídas de caixa	35
Planilha 9: Cálculo de viabilidade considerando o investimento de 35% financiado e 65% de capital próprio	36
Planilha 10: Cálculo de viabilidade considerando o investimento de 100% de capital próprio	36
Planilha 11: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até o ano 10 de operação	37

Planilha 12: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até o ano 20 de operação	37
Planilha 13; Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até o ano 30 de operação	37
Planilha 14: Planilha indicando os cenários com financiamento e com capital próprio.....	39
Planilha 15: Estrutura ótima de capital para o cenário 2.....	40

Lista de tabelas

Tabela 1: Produção Mineral no Estado do Pará – 2015 e 2016	43
Tabela 2: Volume da Comercialização de Bens Minerais no Estado do Pará – 2015 e 2016.....	44
Tabela 3: Valor da Comercialização de Bens Minerais no Estado do Pará – 2015 e 2016	45
Tabela 4: Exportações Paraenses de Bens Minerais Volume da Comercialização (Mercado Externo) – 2015 e 2016	46
Tabela 5: Volume da Comercialização - Mercado Interno – 2015 e 2016	46
Tabela 6: Valor da Comercialização – Mercado Externo – 2015 e 2016	47
Tabela 7: Valor da Comercialização – Mercado Interno – 2015 e 2016	47
Tabela 8: Valor da Receita Tributária por Substância Mineral no Estado do Pará – 2015 e 2016	48
Tabela 9: Valor da Receita Tributária por Substância Mineral no Estado do Pará – 2015 e 2016	49

Lista de Gráficos

- Gráfico 1: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até o ano 30 de operação junto com o custo operacional37
- Gráfico 2: Evolução do valor presente líquido do projeto financiado e com capital próprio para os três cenários.....39
- Gráfico 3: Evolução da taxa interna de retorno do projeto financiado e com capital próprio para os três cenários.....40
- Gráfico 4: Evolução do valor presente líquido de acordo com o percentual financiado.....41
- Gráfico 5: Evolução da taxa interna de retorno de acordo com o percentual financiado.....41

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVO.....	16
3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	16
4 PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.....	17
4.1 Domínio Carajás.....	19
4.2 Formação do Minério de Ferro.....	22
5 DESCRIÇÃO DO PROJETO S11D ELIÉZER BATISTA.....	24
5.1 Avanço tecnológico e Ambiental do Projeto S11D.....	26
5.2 Desenvolvimento Social do Projeto S11D.....	28
6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO S11D.....	33
6.1 Isenção de Responsabilidade (Disclaimer).....	38
6.2 Análise de sensibilidade.....	39
6.3 Estrutura ótima de capital.....	40
6.3.1 Isenção de Responsabilidade (Disclaimer).....	42
7 O IMPACTO DA MINERAÇÃO NA ECONOMIA DO ESTADO DO PARÁ.....	43
8 CONCLUSÕES, SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	50
9 LISTA DE REFERÊNCIAS.....	52

7 Introdução

O setor de mineração brasileiro é uma das maiores fontes de recursos para a economia brasileira, exercendo grande atratividade para negócios, tanto para empresas nacionais de capital aberto quanto para multinacionais no setor de prospecção mineral. Esta geração de riquezas e dividendos vem numa curva ascendente nos últimos anos valendo-se da valorização das *commodities* no mercado mundial a partir dos anos 2000.

Tal fato tornou-se de grande relevância para economia brasileira focada na exportação de produtos minerais primários, item que tem participação significativa na balança comercial, na estabilidade cambial, no incremento do PIB nacional, na criação de novos empregos no setor, além de contribuir no aumento de arrecadação de impostos. Entretanto, a atividade mineradora e extrativista necessita de uma regulação e acompanhamento perenes, tendo em vista as externalidades provocadas no meio ambiente quando do seu manuseio.

Logo, a solução ideal na atividade mineradora seria uma exploração econômica viável de uma determinada jazida sem provocar danos e passivos ao meio ambiente e às populações que orbitam aquele ecossistema. Esta proposta pode, num primeiro momento, parecer audaciosa e até certo ponto improvável, tendo em vista o montante de recursos financeiros, materiais e humanos necessários para sua consolidação.

Diante desta problemática vem a proposta de exploração da jazida de minério de ferro na província mineral de Carajás promovida pela maior empresa brasileira de exploração mineral e uma das maiores do mundo: Companhia Vale S.A. O Projeto S11D significa um desafio de explorar a jazida de minério de ferro em Carajás associada a uma diversificação produtiva que contempla o desenvolvimento social das comunidades abrangidas pelo projeto, além de estabelecer um sistema de preservação do ecossistema local gerando pouco passivo, se comparado a outros projetos de mineração desencadeados no passado na mesma região.

É do conhecimento que as empresas do setor de mineração no Brasil têm se tornado protagonistas em controvérsias fiscais, ambientais e sociais, que

despertam por parte da sociedade e da opinião pública brasileira questionamentos sobre qual o papel social e econômico dessas empresas na exploração dos recursos minerais de nosso riquíssimo subsolo e qual retorno será gerado e celebrado entre essas empresas e a sociedade brasileira.

Assim sendo, o Projeto S11D traz à luz novas reflexões sobre os riscos e as oportunidades geradas sob o enfoque da exploração econômica das jazidas. Cabe ressaltar que a falta de uma fiscalização eficiente em relação aos danos causados pela atividade mineradora e a não observância de boas práticas de sustentabilidade ajudam a demonizar a exploração/atividade mineradora no Brasil, levando a tragédias e crimes ambientais de proporções inimagináveis como observado nos diversos garimpos ilegais da Amazônia Legal e mais recentemente no caso da Mineradora Samarco S.A.

Logo, cresce de importância o assunto no atual cenário econômico e ambiental no Brasil, e ter oportunidades de pesquisar a respeito foram os atrativos que motivaram este trabalho, que não busca encerrar o assunto e sim apresentar novas possibilidades e comprovar o sucesso de uma exploração mineral responsável, que gera lucro e sem provocar danos significativos ao meio ambiente, além de integrar a sociedade local ao projeto, por meio da criação de novos postos de trabalho e geração de renda na região do município de Canaã dos Carajás, no sul do Estado do Pará.

O trabalho está dividido em introdução, em desenvolvimento, onde será explorado em seu referencial teórico os aspectos macroeconômicos do Estado do Pará e as implicações do projeto S11D para economia local, a concepção estratégica do projeto S11D e suas implicações sociais, econômicas e ambientais para a região da jazida de minério de ferro. Serão também apresentados dados estatísticos levantados de periódicos e relatórios gerenciais da empresa Vale que citam os impactos gerados pelo Projeto S11D. Por fim, na conclusão do trabalho, serão apresentadas críticas e recomendações ao Projeto S11D que visam unicamente elencar oportunidades de melhoria, que poderiam ser estudadas pela empresa, ou ainda servir de subsídio para pesquisas futuras em outras áreas do conhecimento associadas à exploração mineral de jazidas.

Por fim, o setor de mineração no Brasil é um grande gerador de dividendos para o país e mitigar eventuais impactos e passivos gerados para o meio ambiente e ecossistema local é um grande desafio para as empresas mineradoras. Neste tópico,

a Companhia Vale propõe uma alternativa bem sucedida de exploração e que vale a pena ser melhor estudada, para que no futuro possa viabilizar outros projetos de mesma envergadura da mineração nacional e em áreas sensíveis e estrategicamente importantes como observado na Amazônia Legal.

A mineração não pode ser sinônimo de destruição. Projetos bem sucedidos e que respeitam o meio ambiente são viáveis economicamente e devem ser estudados, analisados e celebrados, para que possam servir de *benchmarking* em projetos futuros, quando se tratar de redução de custos para sua efetivação associado ao respeito ao meio ambiente e à sociedade local.

O economista polonês Ignacy Sachs (1986) ensina que “um estilo de desenvolvimento que, em cada ecoregião, insiste nas soluções específicas de seus problemas particulares, levando em conta os dados ecológicos da mesma forma que os culturais, as necessidades imediatas como também aquelas de longo prazo”.

8 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade e o desenvolvimento do projeto S11D da companhia Vale, mostrar os avanços tecnológicos na mineração associado à preservação ambiental e os impactos positivos causados na economia do estado do Pará e também na produção de minério de Ferro.

9 Localização e Acesso

A Província Mineral de Carajás está presente no sudeste do Estado do Pará, distante 670 km da capital Belém e próximo das cidades de Marabá, Parauapebas e Canaã dos Carajás. O projeto S11D Eliézer Batista, está localizado na porção sul da Serra de Carajás, na cidade de Canaã dos Carajás (figura 1), que segundo dados do IBGE/2016 possui 34.853 habitantes. Seu acesso é realizado pela rodovia que liga Belém a Marabá e Cuiabá – MT (PA – 150), seguindo a Trans-Carajás (PA – 275) até o núcleo urbano de Carajás.

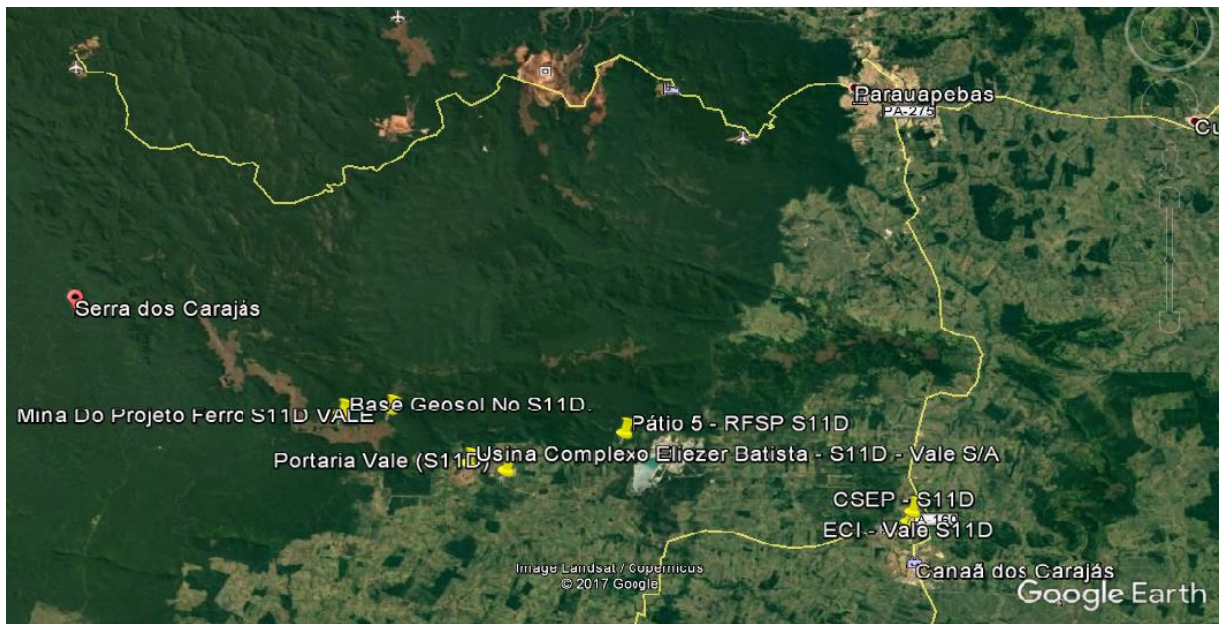


Figura 1: Localização do Projeto S11D (fonte: Google Earth 2017)

10 Província Mineral de Carajás

A Província Mineral de Carajás é a maior e mais importante província mineral do Brasil, além de ser uma das principais do mundo. É composta por rochas datadas em sua maioria do Arqueano e possui vários depósitos de ferro, cobre, ouro, níquel, zinco e manganês. Está situada na região sudeste do estado do Pará, porção Leste-sudeste do Cráton Amazonas. É a região arqueana mais bem conhecida do Cráton Amazonas (Pereira 2009).

O depósito foi descoberto em 1695, e então o Projeto Carajás teve início em 1978, pela até então Companhia Vale do Rio Doce, tendo a primeira mina entrado em operação oficialmente em 1985, com a inauguração das instalações de transporte e embarque de minério. Segundo Santos (2003), no âmbito geocronológico, a Província Mineral de Carajás compreende uma região que pertence tanto ao Domínio Carajás, setentrional, quanto ao Domínio Rio Maria, meridional. Juntos, esses domínios formam a Província Carajás, uma das sete províncias geocronológicas do Cráton Amazonas. (figura 2).

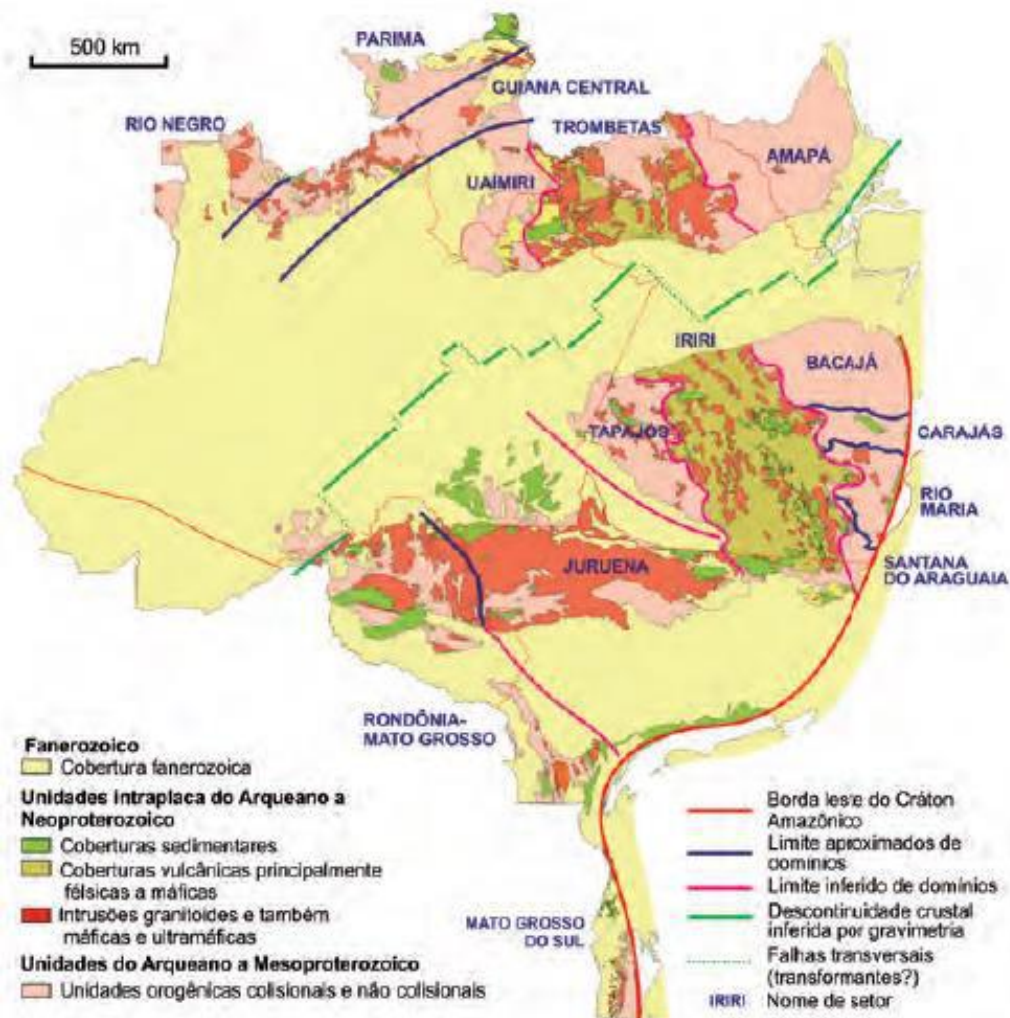


Figura 2: Localização da Província Mineral de Carajás no Cráton Amazonas (Hasui 2012).

As unidades crustais mais antigas do Cráton Amazonas estão presentes dentro da Província Mineral de Carajás, que foi formada e estabilizada durante o Arqueano. Por volta de 1.8 Ga, no Paleoproterozóico, a Província foi afetada por um evento extensional que foi responsável por gerar intrusões graníticas e diques máficos (Tassinari & Macambira 2004).

O Domínio Rio Maria pode ser caracterizado por conter sequências vulcanossedimentares do tipo greenstone e granitoide tipo TTG, apresentando idades de formação entre 3.0 a 2.86 Ga (DOCEGEO 1988). As sequências vulcanossedimentares são formadas, da base para o topo, por rochas metavulcânicas e ultramáficas (incluindo metakomatitos) contendo intercalação de metapelito, BIF e metachert, que vão mudando para metavulcânicas félsicas a intermediárias intercaladas com metapelitos e metapsamitos. Rochas vulcânicas félsicas apresentam idades entre 2.9 e 3.0 Ga (Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995). Os granodioritos, tonalitos e trondhjemitos do Domínio Rio Maria apresentam idades variando de 2.96 a 2.97 Ga (Macambira & Lafon 1995).

O Domínio Carajás engloba a Serra de Carajás e regiões próximas, sendo marcado a leste pela Faixa Araguaia e a oeste por rochas vulcânicas e sedimentares pertencentes ao Supergrupo Uatumã e da Formação Gorotire. Unidades ultramáficas são raras nas sequências metavulcano-sedimentares e o magmatismo mesoarqueano, predominantemente granítico não revela caráter juvenil. O Domínio Carajás revela um importante evento de granitogênese por volta de 2.76 – 2.74 Ga (Huhn et al. 1999b, Avelar et al. 1999, Barros et al. 2009, Feio et al 2012) e um retrabalhamento crustal extensivo durante o Neoarqueano.

O limite norte do Domínio Carajás ainda não foi bem esclarecido, e é definido por granitoides paleoproterozóicos (2,01 – 2.06 Ga) pertencentes ao Domínio Bacajá, que está inserida na porção meridional da Província Transamazonas (Santos et al. 2000) ou Maroni-Itacaiúnas (Tassinari & Macambira 2004). Na concepção geotectônica, a Província Mineral de Carajás é formada pelo cinturão Itacaiúnas (Araújo et al. 1988), e pelo terreno Granito-Greenstone Rio Maria (Huhn et al. 1988), onde o cinturão Itacaiúnas é formado pelos sistemas transcorrente Cinzento no norte e Carajás a sul (Figura 3).

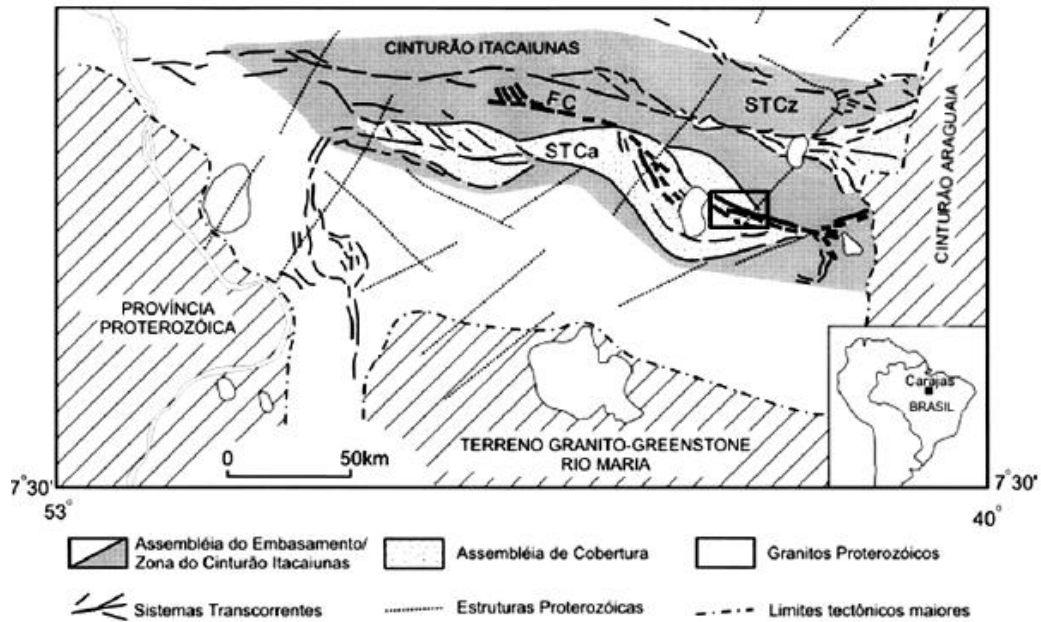


Figura 3: Província Mineral de Carajás formada pelo Cinturão Itacaiúnas e pelo terreno granito-greenstone Rio Maria (Modificado de Holdsworth & Pinheiro 2000)

10.1 Domínio Carajás

O trabalho dará enfoque principal no Domínio Carajás, pois é onde o Projeto S11D Eliézer Batista está inserido no contexto geológico. Este domínio apresenta uma rica diversidade e potencial metalogenético bem notáveis, e destaca-se por apresentar gigantes depósitos de minério de Ferro de alto teor, possuindo a maior quantidade conhecida no planeta de depósitos de óxido de Ferro-Cobre-Ouro de classe mundial, e um dos poucos casos de depósito de Ouro-EGP associado a rochas metassedimentares, que pode ser encontrado em Serra Pelada. As unidades litoestratigráficas do Domínio Carajás são (Figura 4):

Complexo Pium

Unidade mais antiga localizada ao norte da Província Mineral de Carajás, possui rochas com elevado grau metamórfico, como granulitos máficos e félsicos, charnockitos e enderbitos, que tiveram origem magmática e/ou vulcanossedimentar (Araújo & Maia 1991). Esta unidade possui corpos alongados na direção E-W, paralelos a foliação regional (DOCEGEO 1988).

Complexo Xingu

Unidade com rochas granito-gnáissicas tipo TTG que dominam grande parte da área sul do Cráton Amazonas (Silva et al. 1974), é o embasamento regional das

sequências metavulcanossedimentares, segundo Costa et al. 1995. Através de datação tipo U-PB em zircão, foi possível determinar idades de aproximadamente 2.85 Ga para essa unidade, e pode ser interpretada como relacionadas ao último evento de migmatização que afetou a região (Machado et al. 1991), mais tarde, Costa et al. 1995 sugeriu que parte do Complexo Xingu é resultado de retrabalhamento de granitoides similares aos preservados na região de Rio Maria.

Grupo Rio Novo

É uma sequência vulcanossedimentar do tipo greenstone belt, formada por xisto, formação ferrífera bandada, rocha máfica e ultramáfica, chert e anfibólito. A idade designada para essa sequência é marcada pela intrusão do Complexo Máfico Ultramáfico Luanga 2.763 Ga (Machado et al. 1991), pelo qual é truncado.

Supergrupo Itacaiúnas

Este supergrupo abriga os depósitos mais importantes da Província Carajás, é formado por sequências metavulcanossedimentares do neoarqueano, que são representadas pelos grupos Igarapé Salobo, Grão-Pará, Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca, Aquiri e Buritirama (DOCEGEO 1988). As sequências que formam o supergrupo apresentam litoestratigrafia contemporânea, e algumas ainda são mal compreendidas, o que levou a denominação de depósito mineral homônimo. Segundo DOCEGEO (1988), as sequências sofreram diversos processos geológicos (deformação, alteração hidrotermal, metamorfismo regional e/ou de contato), que gera dificuldade na compreensão da evolução geológica das mesmas.

Grupo Grão-Pará

O Grupo Grão-Pará (Beisiegel et al. 1973) é formado por rochas vulcânicas máficas a félsicas com intercalações de formações ferríferas e rochas clásticas (DOCEGEO 1988). Datações indicam idade de formação entre 2.8 e 2.7 Ga (Gibbs et al. 1986, Santos 2003). Segundo Olszewsky et al. 1989 as rochas vulcânicas desta unidade são consideradas oriundas de vulcanismo basáltico continental, porém, alternativamente foram interpretadas como shoshonitos de arco magmático (Meirelles & Dardenne 1991). Zucchetti (2007) diz que os metabasaltos apresentam afinidade magmática cálcio-alcalina, geoquímica típica de arco continental e assinatura de zona de subducção. Indica também evidências de contaminação crustal, o que pode sugerir que as rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará podem ter extravasado sobre crosta continental atenuada, num ambiente de retro-arco. O Grupo Grão-Pará é subdividido em quatro formações:

- Formação Parauapebas (Meireles et al. 1984): São basaltos, dacitos e, subordinadamente, riolitos, por vezes metamorfisados na fácies xisto verde;
- Formação Carajás (Beisiegel et al. 1973): São formações ferríferas bandadas, tais como jaspelitos (Meireles et al. 1984) e corpos ricos de hematita;

- Formação Igarapé Cigarra (Macambira et al. 1990): São Basaltos com lentes de BIF, Siltito, arenito e chert.

- Formação Águas Claras (Araújo et al. 1988): É subdividida no membro inferior, composto por pelitos, siltitos e arenitos, apresentando características de plataforma marinha, e no membro superior, é composta predominantemente por arenito e de características de ambiente litorâneo fluvial (Nogueira et al. 1995)

O grupo Igarapé Salobo é formado por anfibolito, paragneisse, quartzito, metarcósio e formação ferrífera, já o grupo Igarapé Pojuca é formado por metavulcânica básica, xisto pelítico, anfibolito e formação ferrífera. Esses grupos são sequências metavulcanossedimentares metamorfisadas na fácies cisto verde a anfibolito, e são interpretadas por alguns autores como sendo variações laterais do Grupo Grão-Pará (Lindenmayer & Fyfe 1991, 1992).

Granitos Sintectônicos

São corpos graníticos alcalinos e foliados, sintectônicos, que recebem o nome de granito Estrela, Planalto, Serra do Rabo e Geladinho. Há ocorrência também de granitos peraluminosos e monzonitos da Suíte Plaqué (Araújo et al. 1988). São corpos intrusivos nas sequências metavulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiúnas, onde gerou intensas auréolas de metamorfismo de contato (Barros et al. 2001, Huhn et al. 1999).

Complexo Máfico – Ultramáfico Luanga

O Complexo Luanga (DOCEGEO 1988), está localizado próximo a Serra Pelada, é constituído por rochas máficas-ultramáficas que truncam as rochas supracrustais do Supergrupo Itacaiúnas. Formado por dunitos, peridotitos, noritos e gabros, deformados e metamorfisados em baixo grau. Apresenta datação de 2.76 Ga, realizada por Machado et al. (1991) em cristais de zircão.

Formação Gorotire

Trata-se de uma cobertura clástica imatura, não deformada, que se aloja sobre as unidades arqueanas. É formada por arenitos, arcósios e conglomerados polimíticos (Barbosa et al. 1966, Hirata et al. 1982 e Lima & Pinheiro 2001). Seus afloramentos estão sempre localizados em locais restritos, sendo mais comum na região a leste do Rio Parauapebas. É datada supostamente do proterozóico médio ou mais jovem (Pinheiro & Holdsworth 2000). Segundo Lima (2001), esta unidade foi depositada em um graben formado por reativação extensional ou transtensiva dextral da Falha de Carajás.

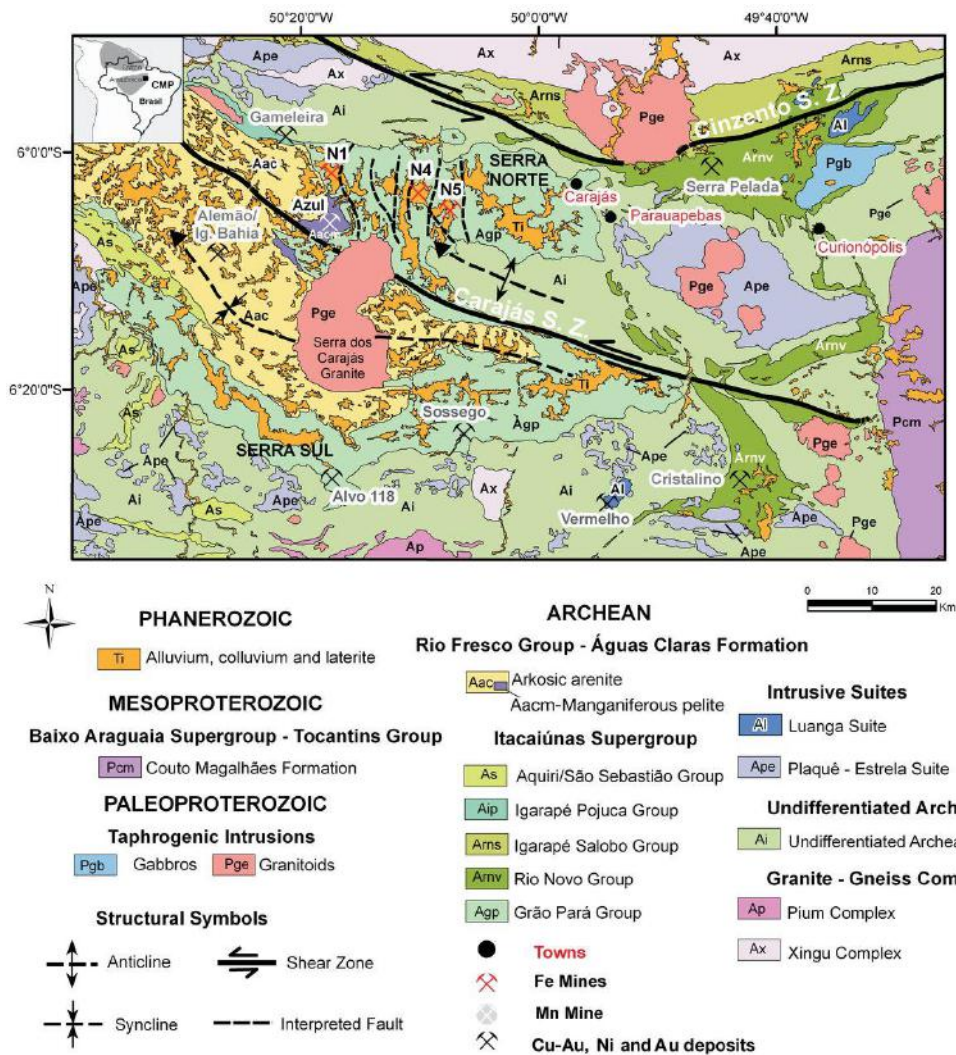


Figura 4: Mapa Geológico da Província Mineral Carajás (Rosiere et al. 2006 e Costa 2007)

10.2 Formação do Minério de Ferro

A formação do minério de ferro a partir dos jaspilitos foi atribuída por Tolbert et al. (1971), à lixiviação da sílica das formações ferríferas por águas superficiais, resultando no enriquecimento residual dos óxidos de ferro e na formação dos atuais corpos de minério. O enriquecimento supergênico foi considerado por outros autores como sendo responsável pela lixiviação da sílica e formação do minério friável (Beisiegel et al. 1973, Dardenne & Schobbenhaus 2001).

Beisiegel et al (1973) levaram a proposta que houve uma origem hipogênica para a geração de hematita compacta com substituição metassomática do quartzo, resultado do calor associado à colocação de diques básicos e/ou deformação tectônica.

Guedes et al. (2002) e Dalstra & Guedes (2004), consideram que as rochas ricas em minerais carbonáticos seriam protominérios carbonáticos (até 45% de Fe) que são formados em condições rasas e frias (< 300°C) influenciado por fluidos hidrotermais descendentes e oxidados, possivelmente meteóricos. O modelo de Dalstra & Guedes (2004) indica alteração hidrotermal no início, gerando diminuição de sílica da formação ferrífera e formando carbonatos hidrotermais, seguido por lixiviação intempérica dos carbonatos para formação do minério de ferro de alto teor. O mesmo sistema hidrotermal seria responsável por metassomatismo intenso das rochas máficas adjacentes ao protominério.

Figueiredo e Silva et al. (2008, 2011) realizaram estudos que indicaram que os processos hidrotermais teriam sido a causa principal pela substituição dos jaspilitos e formação do minério compacto. O processo envolveu interação com fluidos iniciais magmáticos de alta salinidade e relativamente reduzidos, responsáveis pela formação inicial de magnetita e lixiviação de sílica, ocorrendo predominantemente nas zonas distais. O fluido pode ter se tornado mais oxidante, devido a mistura com fluidos meteóricos, sendo associado ao avanço da martitização e formação de hematitas em veios nas zonas de alteração intermediárias. Muitas fases oxidadas, como a hematita tabular e euhedral, associadas com fluidos de mais baixas salinidades, mostram grande aporte de fluidos meteóricos nos estágios de alteração mais avançada nas zonas proximais.

Lobato et al. (2005) e Figueiredo e Silva et al. (2008), indicaram que a mineralização de ferro teria sido relacionada a um sistema magmático-hidro-termal relativamente raso e que representaria um membro de baixa temperatura dos depósitos de óxidos de Ferro-Cobre-Ouro (IOCG) conhecidos em Carajás ou seria associada aos depósitos de Au - Cu relacionados à colocação dos granitos anorogênicos paleoproterozóicos. De acordo com Santos et al. (2010), no entanto, a atividade hidrotermal na Bacia de Carajás pode ter sido um caso episódico, relacionada a pelo menos dois pulsos (1,7 e 1,6 Ga) associadas à fluidos bacinais durante o Stateriano, após a granitogênese paleoproterozóica.

Os depósitos de Ferro de Carajás apresentam consideráveis diferenças nos três distritos, Serra Norte, Serra Sul e Serra Leste, sendo que segundo Lindenmayer et al. (2001), nos depósitos da Serra Sul há evidências de metamorfismo ao longo de zonas de cisalhamento de alto ângulo, que resultaram em recristalização das formações ferríferas bandadas, constituídas principalmente por magnetita e quartzo.

11 Descrição do Projeto S11D Eliézer Batista

O Projeto S11D recebeu esse nome em referência à sua localização na Serra Sul da província mineral de Carajás, corpo 11, bloco D e é o maior complexo minerador da história da Vale. O empreendimento teve início com a licença prévia (LP) expedida pelo IBAMA em 27 de junho de 2012, seguido pela licença de instalação (LI) expedida em 03 de julho de 2013; a operação apenas deu início após a licença de operação (LO) expedida no dia 09 de dezembro de 2016. O potencial do S11 é de 10 bilhões de toneladas de minério de ferro, sendo que o bloco D, isoladamente, possui reservas de 4,24 bilhões de toneladas métricas, com o S11D, a empresa poderá fornecer mais de 90 milhões de toneladas métricas de minério de ferro por ano, elevando a capacidade de produção no estado para 230 Mtpa e possui vida útil estimada para 30 anos (Figura 5).



Figura 5: Imagem aérea da mina de Ferro do Projeto S11D (Revista Vale)

O empreendimento inclui abertura de mina, instalação de usina de processamento e construção de ramal ferroviário no Pará, além de obras de expansão da ferrovia principal e do porto. A estrutura mina-usina conta com quatro sistemas de lavra e três plantas de peneiramento e britagem, interligados por mais de 50 quilômetros de transportadores de correia. Depois de processado, o minério será transportado pelo novo ramal ferroviário com 101 quilômetros de extensão, até a estrada de ferro Carajás, que teve 578 quilômetros duplicados e outros 220

remodelados, para escoar a produção de S11D até o terminal marítimo de Ponta da Madeira, em São Luís.

A operação do S11D tem início no Pará com a extração na mina, o processamento na usina e o embarque na estrada de ferro Carajás, que transporta o minério até o Maranhão. Ao chegar no terminal marítimo de Ponta da Madeira, o Minério é depositado em navios e segue em direção aos clientes. Toda a operação pode ser descrita brevemente em 11 etapas, mostradas a seguir (Figura 6):

1. **Mina** – O minério é retirado do solo pelas máquinas escavadeiras, em seguida sofre uma britagem primária (fragmentação em pedaços menores) e é depositado numa correia transportadora.
2. **Correia de Longa Distância** – Transporta o minério da mina até a usina de processamento.
3. **Britagem Secundária** – O minério passa por uma nova fragmentação e é reduzido em pedaços de aproximadamente 120 mm.
4. **Pátio de Regularização** – Tem a função de equilibrar o ritmo de processamento da usina com o de extração na mina para um melhor rendimento operacional. Pode estocar até 1 milhão de toneladas de minério.
5. **Peneiramento Secundário** – Separa o *sinter feed* e os minérios de granulometria maior, que são encaminhados para a britagem terciária.
6. **Britagem Terciária** – Se houver necessidade, o minério é fragmentado mais uma vez e depois peneirado.
7. **Pátio de Produto** – Possui capacidade de estocar até 3,6 milhões de toneladas de *sinter feed*, produto pronto para venda aos clientes.
8. **Estação de Carregamento** – Recebe o minério do pátio de produto e o deposita nos vagões.
9. **Ramal Ferroviário** – O trem segue pelos 101 km do ramal até chegar a estrada de ferro Carajás.
10. **Estrada de Ferro Carajás** – O trem viaja por 892 km pela estrada de ferro Carajás, chegando até o terminal marítimo de Ponta da Madeira, em São Luís.
11. **Terminal Marítimo de Ponta da Madeira** – O minério de ferro é embarcado nos navios para seguir rumo aos clientes.



Figura 6: Operação detalhada do Projeto S11D (Revista Vale)

11.1 Avanço tecnológico e ambiental do Projeto S11D

A tecnologia aplicada no projeto S11D está fortemente ligada à redução de custos, alta produtividade e preocupação com impactos ambientais gerados. Desde sua origem, o empreendimento teve por princípio causar o menor impacto possível ao meio ambiente e às comunidades. Para isso, a empresa buscou implementar tecnologia de ponta na raiz do projeto, desde a fase de planejamento.

Novas tecnologias vão aumentar a segurança e garantir a produtividade da operação, tudo isso gerando a redução de consumo de água, energia elétrica e combustíveis, com a consequente diminuição da emissão de gases do efeito estufa (GEEs).

Uma das principais soluções tecnológicas aplicadas no projeto S11D em termos ambientais é o sistema *truckless*. No qual um conjunto de estruturas contendo escavadeiras e britadores móveis, interligados por correias transportadoras, que somam cerca de 30 quilômetros de extensão (Figura 7). O sistema opera entre a mina, a usina e as pilhas de canga e estéril, substituindo os tradicionais caminhões fora de estrada comuns na mineração, gerando uma redução de cerca de 70% o consumo de diesel. O Sistema só pode ser utilizado devido as características naturais do corpo mineral, que é relativamente homogêneo, longilíneo e possui 9,5 quilômetros de

extensão por 1,5 quilômetros de largura e profundidade de 300 metros. Foi necessário montar uma estratégia de lavra bem definida e um conhecimento geológico profundo para atingir o sucesso nesta forma de operação.



Figura 7: Imagem do Sistema Truckless. 1 – Britador Móvel, 2 – PMC recebe e transporta até as correias, 3 – Correias transportadoras (Fonte: Vale.com.br).

Para a usina, foi desenvolvida uma rota de processamento que reduz 93% o consumo de água, o que equivale ao abastecimento de uma cidade com 400 mil habitantes. O beneficiamento à umidade natural ou a seco tem o objetivo de diminuir o consumo mensal de água para 110 mil metros cúbicos de uma planta a úmido. A tecnologia aplicada evita a necessidade da construção de barragens de rejeito, o que garante um menor impacto ambiental.

O sistema *truckless* e o processamento a seco permite que a empresa possa reduzir, no mínimo, 50% de emissões de GEEs, o que significa cerca de 130 mil toneladas de CO₂ a menos por ano no ambiente. Haverá também uma redução de 18 mil MWh/ano de energia elétrica, que corresponde ao consumo anual de 10 mil residências médias. Em todo o processo do S11D podem ser destacados:

- Alto teor de ferro, não sendo necessário o processo de lavagem e concentração.
- Corpo de Minério altamente homogêneo, permitindo o processamento a seco do minério.
- 18.000 MWh de eletricidade poupada, todo ano.
- Processo mais simples, reduzindo investimento de capital e de sustentação, principalmente nas barragens de rejeito.

- Menor impacto ambiental (consumo de água, desmatamento e barragens de rejeito)
- Utilização de tecnologia conhecida (mesmo processo de peneiramento utilizado na planta 2, em Carajás).

11.2 Desenvolvimento social do Projeto S11D

A Vale teve com prioridades nesse projeto a preocupação com as questões ambientais e sociais, que foram planejadas de acordo com a necessidade da região. Essas prioridades foram mapeadas a partir do diálogo com a comunidade e o governo. Com esse modelo de trabalho, a população e o poder público são convidados a participar ativamente do processo de desenvolvimento do município e as parcerias são essenciais para viabilizar o crescimento da região. A empresa firmou convênios e iniciativas conjuntas em diversas áreas com o objetivo de desenvolver a vida da população e do município, o que segundo a Vale é um compromisso da com o bem-estar social e o progresso econômico da região do S11D.

A Vale se preocupou com a saúde pública da região e firmou um convênio com a prefeitura de Canaã dos Carajás, reformou e ampliou o Hospital Municipal Daniel Gonçalves, contribuindo com novos consultórios, laboratórios, salas de parto, sala de cirurgia e recepção. A Vale prestou apoio a prefeitura na construção de quatro postos de atendimento e doou 384 equipamentos para 10 unidades básicas de saúde, o que gerou um conforto e melhoria para a população ter acesso aos serviços básicos de saúde. Através do convênio com a Secretaria Municipal de Saúde, foi criado o Projeto de Atenção à Saúde Básica (PASB), que tem o objetivo de prevenir a mortalidade e morbidade infantil, cuidando da saúde de famílias em situação de extrema pobreza. O projeto capacita e forma agentes de saúde, gerando ações de fortalecimento da gestão municipal e campanhas junto à comunidade, relacionadas a temas como aleitamento materno, imunização e prevenção de hipertensão e diabetes (Figura 8).



Figura 8: Hospital reformado e equipado através da parceria da Vale com a Secretaria de Saúde (Revista Vale)

Semelhante a área da saúde, a Vale colocou o investimento na educação como uma das prioridades para a região, apoiando na reforma e construção de escolas em Canaã dos Carajás, além da capacitação dos profissionais de educação. O investimento em infraestrutura incluiu ainda a construção de duas escolas, uma no centro da cidade e outra na Vila Ouro Verde, com capacidade para 600 estudantes e reformas ou adequações em outras 20 instituições como parte do acordo pela melhoria da educação pública do município. A partir da interlocução junto ao Ministério da Educação, com o apoio da empresa, foi possível captar recursos do Governo Federal para a manutenção e construção de creches para a cidade.

Segurança pública para o município também teve apoio e compromisso da empresa junto à cidade para tornar Canaã dos Carajás um local mais seguro para os moradores e visitantes, além do fortalecimento das instituições públicas. A partir de um convênio com a Secretaria de Estado de Segurança Pública, foi construído um complexo para atendimento para o cidadão, formado pela Unidade Integrada Pró Paz, que agrega num único espaço a Polícia Militar, a Polícia Civil, Cartório e serviço de apoio psicossocial à população - um novo modelo de gestão de segurança pública adotado pelo governo estadual, além de um posto avançado do Corpo de Bombeiros.

A Vale firmou um convênio com a prefeitura municipal de Canaã dos Carajás e o tribunal de justiça do Estado do Pará (TJPA), com o objetivo de aproximar a justiça junto ao município e a população, o que possibilitou a construção de um amplo e moderno Fórum com duas varas de justiça, numa área cedida pela prefeitura, onde a empresa construiu o prédio e teve o apoio do TJPA para realizar o acabamento e estruturação do empreendimento.

Um problema comum na cidade durante anos foi o fornecimento de energia, que sofria oscilações e interrupções quase diárias, o que prejudicava os investimentos para o desenvolvimento da região. A Vale firmou parceria com as concessionárias de energia do Pará e também com a prefeitura, gerando na construção de 69 quilômetros de linhas de transmissão e também duas subestações, que estão localizadas em Parauapébas e Canaã do Carajás. No início do S11D foi possível compartilhar a energia do empreendimento com a cidade até que a linha de transmissão ficasse pronta, o que permitiu que os períodos de apagões ficassem apenas no passado da região (Figura 9).



Figura 9: Canaã dos Carajás iluminada resultado da nova linha de transmissão de energia (Revista Vale).

A Vale contribuiu com a gestão municipal na estruturação e implantação do plano de saneamento básico de Canaã dos Carajás. A empresa forneceu apoio técnico especializado e colaborou com a capacitação de aproximadamente 150 servidores municipais e 50 lideranças comunitárias. A partir desse plano de saneamento pronto, o município conseguiu captar recursos públicos para a realização de obras de ampliação e melhoria do sistema de abastecimento de água da cidade, além do tratamento de resíduos sólidos, proporcionando a melhoria da qualidade da água fornecida a cerca de 29 mil pessoas.

Antigamente uma das primeiras visões logo na chegada a Canaã dos Carajás era um lixão a céu aberto, que através de uma parceria da empresa, com a prefeitura, foi transformado num aterro sanitário controlado. O local hoje funciona de acordo com um programa de gerenciamento que permite que os resíduos sejam acondicionados de forma adequada, em áreas definidas para cada tipo de material e que passam por um processo de revestimento, evitando a contaminação do solo e o risco de proliferação de doenças, além de contribuir para um melhor impacto visual da localização.

O impulso ao empreendedorismo através da agência de desenvolvimento local de Canaã do Carajás é um ponto positivo que deve ser destacado, como resultado da parceria entre a Vale, o poder público e a sociedade. A instituição fornece apoio técnico para elaboração de projetos e captação de recursos, acompanhado de 14 associações, 800 famílias de agricultores e cerca de 200 empreendedores da região. Além disso, atua em parceria com o programa Agir, da Fundação Vale, voltado à geração e incremento de renda, que fornece a estrutura física da incubadora de negócios sociais para as empresas participantes.

Uma parceria entre a Vale e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial gerou a oportunidade para que milhares de jovens e adultos pudessem enriquecer seus currículos em Canaã dos Carajás. O programa de preparação para o mercado de trabalho prepara a mão de obra para atuar em diferentes funções e, desde 2011, já certificou mais de 3.200 profissionais em cerca de 100 cursos, preparando-os para trabalharem em setores associado à atividade de mineração. Outro programa criado foi o de formação profissional (PFP), com o objetivo de formar jovens para o primeiro emprego, com foco nas atividades operacionais da própria empresa. Mais de 90% dos trainees formados nos cursos, foram contratados pela empresa, devido a um desempenho satisfatório durante os cursos de capacitação. As iniciativas são importantes, não somente por atender ao S11D, mas também são estratégias sociais de longo prazo que disponibiliza profissionais qualificados ao mercado regional e nacional.

A mineração é capaz de impulsionar o desenvolvimento dos municípios onde se localizam os seus projetos. Entre as 27 unidades da Federação, o estado do Pará é, provavelmente, o que apresenta maior potencial de crescimento econômico ao longo das duas próximas décadas. A Vale possui diversas operações e investe no desenvolvimento da região. Canaã dos Carajás é um exemplo, onde a empresa opera um complexo minerador de cobre desde 2004 e agora opera o S11D, o maior projeto de minério de ferro do mundo. Os números mostram que a cidade cresceu exponencialmente e o município lidera o ranking do índice Firjan de desenvolvimento municipal (IFDM) no Pará, à frente da capital do estado, Belém, e de outras com Manaus, Salvador, Maceió, Aracaju, Porto Velho e Macapá. Canaã tem um índice consolidado de 0,7351, em uma escala que varia de 0 a 1 ponto, segundo dados de 2015. Quanto mais próximo de 1, mais a localidade é desenvolvida. O IFDM é um estudo do sistema Firjan utilizado com referência para o desenvolvimento do desenvolvimento socioeconômico dos mais de 5 mil municípios brasileiros, considerando três áreas: emprego e renda, educação e saúde. Nos últimos 12 anos, a Vale destinou a Canaã do Carajás mais de R\$ 900 milhões em investimentos sociais e impostos (Figura 10). Na área social, os recursos somam cerca de R\$ 300 milhões, dos quais R\$ 280 milhões foram contrapartida pela implantação de projetos e R\$ 16 milhões foram empregados pela Fundação Vale em ações e programas de infraestrutura, educação, saúde, cultura, lazer e formação profissional.

O IFDM em Canaã dos Carajás



O IFDM é um estudo do Sistema FIRJAN utilizado como referência para o acompanhamento do desenvolvimento socioeconômico dos mais de 5 mil municípios brasileiros, considerando três áreas: Emprego e Renda, Educação e Saúde.

A capital Belém é a quarta cidade paraense no índice, com 0,6967, atrás de Parauapebas (0,7220), onde a Vale também opera, e Altamira (0,7012).

Figura 10: IFDM do município de Canaã dos Carajás (Revista Vale).

6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO S11D

A análise de viabilidade do projeto foi realizada como uma simulação do modelo de fluxo de caixa descontado (Motta, 2002) e produzida com o apoio do Professor Ph.D. Regis da Rocha Motta para a construção da planilha no Excel. Alguns dados foram disponibilizados pela Vale S.A. através das apresentações do projeto e também no site da empresa, contudo, há muita dificuldade de se obter informações verídicas do empreendimento, devido os dados serem sigilosos.

O Projeto S11D apresenta vida útil de 30 anos e todos os cálculos foram realizados até a data estimada de suas reservas. Para uma ilustração mais didática deste trabalho, as planilhas não serão mostradas completas, apenas como modelo de realização do processo, mas seguirá como anexo ao final. O Projeto S11D está produzindo e comercializando o Minério de Ferro em *Sinter Feed*, que é um pouco mais fino que o granulado e tem medidas entre 6,3 mm e 0,15 mm (Planilha 1).

O S11D será capaz de produzir 90 milhões de toneladas métricas de minério de ferro por ano, mas atingirá essa capacidade a partir do ano 4 de sua operação, quando supera o *Ramp up*, que é a adaptação inicial de uma mina para aumentar a capacidade de atender uma demanda de produto em crescimento ascendente (Planilha 2).

Adotou-se um *Ramp up* de 4 anos levando-se em conta que todo projeto de mineração integrado (mina – ferrovia – porto) leva algum tempo em regime transiente até atingir o regime permanente. Além disso, o projeto S11D insere-se num complexo maior da Vale, operando há anos, o Serra Norte, o que traz um período de acomodação.

Ademais, restrições ambientais atrasaram (licença prévia, de instalação e de operação) não só o início do projeto, como podem acarretar licenciamentos adicionais (cavernas, sítios arqueológicos etc).

PERFIL DE PRODUÇÃO	кта	
GRANULADO	0	0%
SINTER FEED	90.000	100%
PELLET FEED	0	0%
TOTAL	90.000	100%

Planilha 1: Perfil de produção do S11D, com sua totalidade de *Sinter Feed* (entre 6,3 a 0,15 mm).

PRODUÇÃO (кта)	TOTAL	1	2	3	4	5	6	7
GRANULADO	0	0	0	0	0	0	0	0
SINTER FEED	2.648.700	61.200	72.000	85.500	90.000	90.000	90.000	90.000
PELLET FEED	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2.648.700	61.200	72.000	85.500	90.000	90.000	90.000	90.000

Planilha 2: *Ramp Up* inicial e produção estimada do projeto a partir do ano 4 de sua operação.

Para aplicação correta dos cálculos foi utilizado o valor da tonelada de minério de ferro (*Sinter feed*), em US\$ 32,90, que ao utilizar o índice de reajuste anual para um cenário otimista, de 3,0%, atingirá no ano 8 de operação o preço de US\$ 41,68 e no ano 30 de operação o valor será de US\$ 77,53 (Planilha 3).

PREÇO GRANULADO		35,20	36,26	37,34	38,46	39,62	40,81	42,03	43,29	44,59
PREÇO SINTER FEED		32,90	33,89	34,90	35,95	37,03	38,14	39,28	40,46	41,68
PREÇO PELLET FEED		29,85	30,75	31,67	32,62	33,60	34,60	35,64	36,71	37,81
ÍNDICE DE REAJUSTE	3%		3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Cenários de Preços	1=Pessimista	2=Realista	3=Otimista	Cenário=	2	Índice Rea	3%			

Planilha 3: Preço do *Sinter Feed* sendo ajustado anualmente com uma taxa de 3,0%

De modo que as receitas a serem obtidas com a venda do *Sinter Feed* no ano 11 de operação será no total de US\$ 3.750,906 bilhões de dólares e no ano 30 será de US\$ 6.977,790 (Planilha 4).

RECEITA GRANULADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECEITA SINTER FEED	139.156.254	2.013.480	2.439.864	2.984.259	3.235.565	3.332.632	3.432.611	3.535.589	3.641.657	3.750.906
RECEITA PELLET FEED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	139.156.254	2.013.480	2.439.864	2.984.259	3.235.565	3.332.632	3.432.611	3.535.589	3.641.657	3.750.906

Planilha 4: Receitas obtidas com a venda do *Sinter Feed* até o ano 11 de operação.

O Minério de Ferro do S11D apresenta elevado teor (Planilha 5), o que o torna um diferencial dos seus concorrentes, permitindo também que a empresa possa realizar blendagens e assim suprir as necessidades e interesse dos possíveis compradores.

TEOR GRANULADO		64,30	64,29	64,27	64,26	64,25	64,23	64,22	64,21	64,19
TEOR SINTER FEED		66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70
TEOR PELLET FEED		67,45	67,44	67,42	67,41	67,40	67,38	67,37	67,36	67,34
TEOR PRODUTOS		66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70	66,70

Planilha 5: Planilha mostrando o teor elevado do Minério de Ferro do S11D.

O fluxo de caixa descontado é utilizado como uma ferramenta de cálculo de valor de uma empresa, de um projeto ou de um ativo, com o objetivo de avaliar a sua viabilidade, no caso o S11D. Para isso, foram utilizados alguns parâmetros como receita bruta, imposto sobre vendas, receita líquida, custo operacional, incluindo a taxa de juros anual sobre o empréstimo, de acordo com o modelo americano, que no caso foi calculada como 17% ao ano e também o imposto de renda de 35%. Ao final de cada ano é indicado o lucro líquido obtido, com a amortização do projeto, que tem valor fixo até os 10 primeiros anos de operação (Planilha 6). O investimento total financiado é estimado com o percentual financiado (35%, 50% e 65%) e a taxa de

juros do financiamento. Ao final dos 30 anos de operação, a empresa recuperará US\$ 733.104 milhões como capital de giro (Planilha 7).

ANO	PARÂMETROS	0	1	2	3	4	5	6	7	8
DEMONSTRATIVO DE RESULTADO										
RECEITA BRUTA			2.013.480	2.439.864	2.984.259	3.235.565	3.332.632	3.432.611	3.535.589	3.641.657
IMPOSTO SOBRE VENDAS INCLUSIVE CFEM	12%		241.618	292.784	358.111	388.268	399.916	411.913	424.271	436.999
RECEITA LÍQUIDA			1.771.862	2.147.080	2.626.148	2.847.297	2.932.716	3.020.697	3.111.318	3.204.658
CUSTO DE OPERAÇÃO										
PESSOAL	38%		366.282	433.246	517.215	547.686	551.106	554.526	557.946	561.366
INSUMOS	45%		433.755	513.054	612.492	648.576	652.626	656.676	660.726	664.776
OUTROS	17%		163.863	193.820	231.386	245.017	246.547	248.077	249.607	251.137
DEPRECIÇÃO/AMORTIZAÇÃO/EXAUSTÃO			436.360	436.360	436.360	436.360	436.360	436.360	436.360	436.360
DESPESAS FINANCEIRA	17%		405.525	405.525	405.525	405.525	405.525	405.525	405.525	405.525
LUCRO TRIBUTÁVEL (REC.LIQ-CUSTO)			-33.922	165.076	423.170	564.133	640.552	719.534	801.155	885.494
IMPOSTO DE RENDA	35%		0	57.776	148.110	197.447	224.193	251.837	280.404	309.923
LUCRO LÍQUIDO			-33922	107299	275061	366687	416359	467697	520750	575571
EBITDA			807962	1006960	1265055	1406018	1482437	1561418	1643039	1727379

Planilha 6: Planilha indicando alguns parâmetros utilizados na construção do fluxo de caixa descontado

PARCELA DO INVEST TOTAL FINANCIADA	50%									
ENTRADAS/DISPONIBILIDADES DE CAIXA										
LUCRO LÍQUIDO			-33.922	107.299	275.061	366.687	416.359	467.697	520.750	575.571
DEPRECIÇÃO/AMORTIZAÇÃO/EXAUSTÃO			436.360	436.360	436.360	436.360	436.360	436.360	436.360	436.360
EMPRÉSTIMOS		2.385.440								
VALOR RESIDUAL										
TOTAL		2.385.440	402.438	543.659	711.421	803.047	852.719	904.057	957.110	1.011.931

Planilha 7: Planilha mostrando a disponibilidade do caixa e também a parcela do investimento financiada já com a taxa de juros.

No cálculo das saídas de caixa foram usados como parâmetros os valores do investimento que incluíram os custos de aquisição de área, implementação do projeto, todos os equipamentos utilizados na operação e nas instalações, que foi considerado tendo uma vida útil de 5 anos, gerando um custo total de equipamentos de US\$ 1.954.945 bilhões ao final dos 30 anos. É considerado também o valor do capital de giro e da amortização do empréstimo, pelo Sistema Americano, que só aparecerá ao final dos 30 anos (Planilha 8).

SAÍDAS DE CAIXA										
INVESTIMENTOS										
AQUISIÇÃO DA ÁREA		46.430								
IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO		3.665.521								
EQUIPAMENTOS (Móveis) Repostos de 5 em 5 anos		325.824					325.824			
CAPITAL DE GIRO		733.104								
AMORTIZAÇÃO DE EMPRÉSTIMOS (AMERICANO)										
TOTAL		\$ 4.770.879,47	0	0	0	0	\$ 325.824,11	0	0	0
		\$ -4.770.879,47	0	0	0	0	\$ -325.824,11	0	0	0

Planilha 8: Cálculo de todo o investimento, contendo os parâmetros dos custos de saídas de caixa.

Para calcular a viabilidade do projeto, incluindo o retorno financeiro desejado, o cálculo foi realizado com o projeto tendo 65% de capital próprio e 35% financiado. A taxa desejada pelo acionista é de 20% ano e o valor presente líquido estimado (VPL) é de US\$ 1.521.564,73 bilhões de dólares, o que faz com o que projeto tenha uma taxa interna de retorno (TIR) ao ano de 29,2%, tornando o empreendimento altamente viável (Planilha 9). Foi calculado também como se o projeto tivesse o investimento total de capital próprio, incluindo todas as despesas do empreendimento, como os impostos e o custo médio ponderado de capital, de 15% ao ano, e o valor presente líquido (VPL) foi de US\$ 2.671.557 bilhões, o que indica uma taxa interna de retorno (TIR) 21,5%, confirmando mais uma vez a viabilidade do Projeto S11D (Planilha 10).

FLUXO DE CAIXA 35% FINANCIADO E 65% "EQUITY"		-2.385.440	402.438	543.659	711.421	803.047	526.895	904.057	957.110	1.011.931
TAXA (ao ano) DESEJADA PELO ACIONISTA	20%	1,000	0,833	0,694	0,579	0,482	0,402	0,335	0,279	0,233
		-2.385.440	335.365	377.541	411.702	387.272	211.747	302.767	267.112	235.343
VALOR ATUAL ANTES DO INVESTIMENTO VPL	\$ 3.907.004,47									
VALOR ATUAL LIQUIDO	1.521.565	\$ 1.521.564,73								Viável
TAXA INTER DE RETORNO - TIR AO ANO	29,2%	29,2%								Viável
		29,2%								

Planilha 9: Cálculo de viabilidade considerando o investimento de 35% financiado e 65% de capital próprio.

FLUXO DE CAIXA "PROJETO" ou 100% EQUITY (CAPITAL PRÓPRIO)	\$-4.770.879,47	666029	807250	975012	1066638	790486	1167648	1220701	1275522	
FLUXO DE CAIXA "EQUITY"	-2385439,735	402.438	543.659	711.421	803.047	526.895	904.057	957.110	1.011.931	
FINANCIAMENTO	-2385439,735									
AMORTIZAÇÃO		0	0	0	0	0	0	0	0	
JUROS x (1-Taxa do Imposto de Renda)	0	263591	263591	263591	263591	263591	263591	263591	263591	
	TIR	21,5%								Viável
WACC (Custo Médio Ponderado de Capital) ao ano	15%									
VALOR ATUAL ANTES DO INVESTIMENTO VPL	7.442.436									
VALOR ATUAL LIQUIDO	2.671.557									Viável
TAXA INTER DE RETORNO - TIR	21,5%									

Planilha 10: Cálculo de viabilidade considerando o investimento de 100% de capital próprio.

De acordo o cenário realista das projeções, o cálculo para o preço do minério de ferro atingirá o valor de US\$ 77,5 a tonelada no ano 30 de operação do projeto, sendo reajustado a 3% por ano, já no cenário pessimista atingirá US\$ 43,9 no ano 30, com um reajuste de 1% ao ano. No cenário otimista o minério de ferro atingirá US\$ 135,4 no ano 30, com um reajuste de 5% ao ano (planilha 11, Planilha 12, Planilha 13). Um gráfico foi projetado para uma melhor interpretação da evolução dos preços em cada cenário juntamente com os custos operacionais, indicando mais uma vez a viabilidade do projeto trabalhado (Gráfico 1).

Cenário de Preços	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Preço US\$/ton	3%	32,90	33,89	34,90	35,95	37,03	38,14	39,28	40,46	41,68	42,93
	Evolução Anual										
Cenário 1	1%	32,9	33,229	33,56129	33,8969	34,23587	34,57823	34,92401	35,27325	35,62599	35,98225
Cenário 2	3%	32,9	33,887	34,90361	35,95072	37,02924	38,14012	39,28432	40,46285	41,67674	42,92704
Cenário 3	5%	32,9	34,545	36,27225	38,08586	39,99016	41,98966	44,08915	46,2936	48,60828	51,0387

Planilha 11: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até ano 10 de operação.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
44,21	45,54	46,91	48,31	49,76	51,26	52,79	54,38	56,01	57,69
36,34207	36,70549	37,07254	37,44327	37,8177	38,19588	38,57784	38,96362	39,35325	39,74678
44,21485	45,54129	46,90753	48,31476	49,7642	51,25713	52,79484	54,37869	56,01005	57,69035
53,59063	56,27016	59,08367	62,03786	65,13975	68,39674	71,81657	75,4074	79,17777	83,13666

Planilha 12: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até ano 20 de operação.

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
59,42	61,20	63,04	64,93	66,88	68,89	70,95	73,08	75,27	77,53
40,14425	40,54569	40,95115	41,36066	41,77427	42,19201	42,61393	43,04007	43,47047	43,90518
59,42106	61,20369	63,0398	64,931	66,87893	68,88529	70,95185	73,08041	75,27282	77,53101
87,29349	91,65817	96,24108	101,0531	106,1058	111,4111	116,9816	122,8307	128,9722	135,4209

Planilha 13: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até ano 30 de operação.

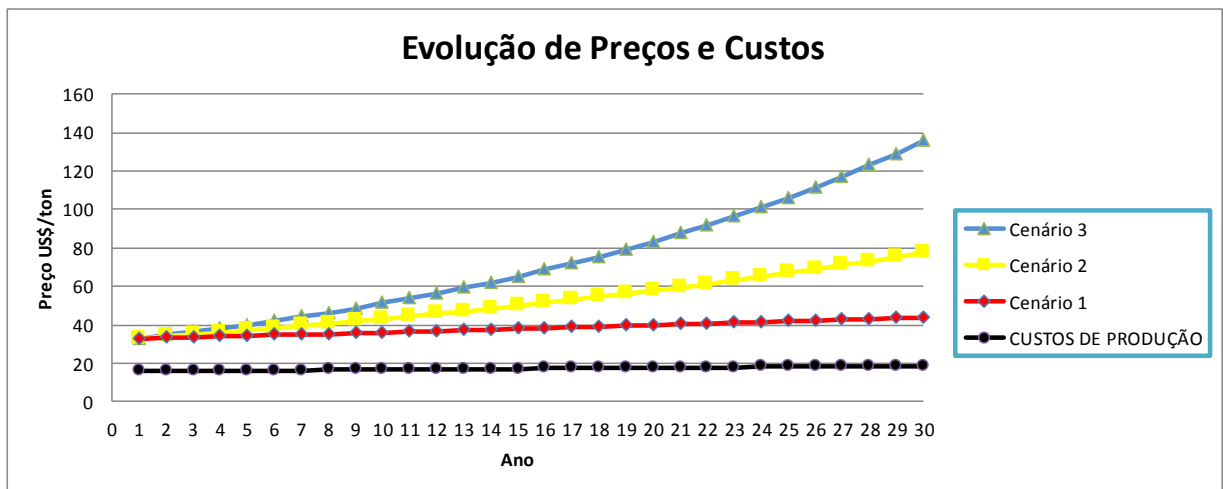


Gráfico 1: Evolução do preço do minério de ferro em cada cenário até o ano 30 de operação junto com o custo operacional.

6.1 Isenção de Responsabilidade (Disclaimer)

O presente trabalho é de cunho meramente acadêmico. Foi baseado em dados obtidos em *sites* e publicações de domínio público. Há muitas dificuldades a vencer no meio acadêmico, quando se trata de obter dados que muitas vezes são tratados confidencialmente pelas empresas (Vale, Petrobras etc.). Portanto, o que se pretende com o presente trabalho é cumprir uma formalidade de apresentar o TCC para obter o diploma de graduação, demonstrando o domínio de técnicas e ferramentas.

Foram feitas hipóteses de CAPEX, OPEX, preços e valores residuais que apenas guardam analogias com os desconhecidos dados reais, confidenciais.

De um total de US\$ 20 bilhões de investimentos no S11D (mina + porto + ferrovia + usina de beneficiamento) adotou-se apenas o CAPEX diretamente vinculado ao S11D (mina + usina de beneficiamento). Os investimentos em infraestrutura (ferrovia, porto) irão beneficiar outros alvos (A, B, C) além do S11D e têm um horizonte de amortização do investimento com perfil mais longo (50,100 anos), enquanto as reservas do S11D têm duração estimada em apenas 30 anos.

Concluindo, o EVTEAS (Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica, Ambiental e Social) do presente trabalho demonstra a viabilidade do investimento no projeto S11D considerando-se as hipóteses aqui feitas. Com a planilha Excel, podem-se adotar outras premissas, alimentar outros dados e os resultados irão responder adequadamente.

Uma vez que o projeto S11D já é uma realidade, quando foi tratada a análise de sensibilidade do mesmo, não se considerou o CAPEX (investimento já concluído). Tomaram-se três cenários de preços, com evolução anual de 1%, 3% e 5% e evolução de OPEX de 1% ao ano, considerando que o projeto Carajás (Serra Norte) já tem operado há anos e é bem conhecida sua estrutura de custos, análoga à do S11D.

6.2 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada como um exercício de simulação com o objetivo de determinar qual a viabilidade ou sucesso do projeto estudado. Este exercício é muitas vezes fundamental para a tomada de decisão dos investidores e dos gestores da própria empresa. No exercício realizado, foi proposto duas análises, no qual a primeira mostra o projeto com 35% financiado e 65% de capital próprio, para os três cenários já visto, e na segunda o projeto com 100% de capital próprio, indicando a robustez do empreendimento e a viabilidade (Planilha 14). Através dos gráficos é possível observar nos dois casos a evolução do valor presente líquido (VPL) e também a taxa interna de retorno (TIR) para os três cenários (Gráfico 2, Gráfico 3).

Financiado	VPL Fin	TIR Fin	Cenário
	US\$M	a.a.	
Cenário			
1	\$ 600.080,72	23,6%	1=Pessimista
2	\$ 1.590.843,50	27,8%	2=Realista
3	\$ 2.808.778,48	31,5%	3=Otimista
Equity	VPL Eq	TIR Eq	Cenário
Cenário			
1	\$ 944.114,82	17,9%	1=Pessimista
2	\$ 2.681.880,94	21,6%	2=Realista
3	\$ 4.909.122,27	24,8%	3=Otimista

Planilha 14: Planilha indicando os cenários com financiamento e com capital próprio.

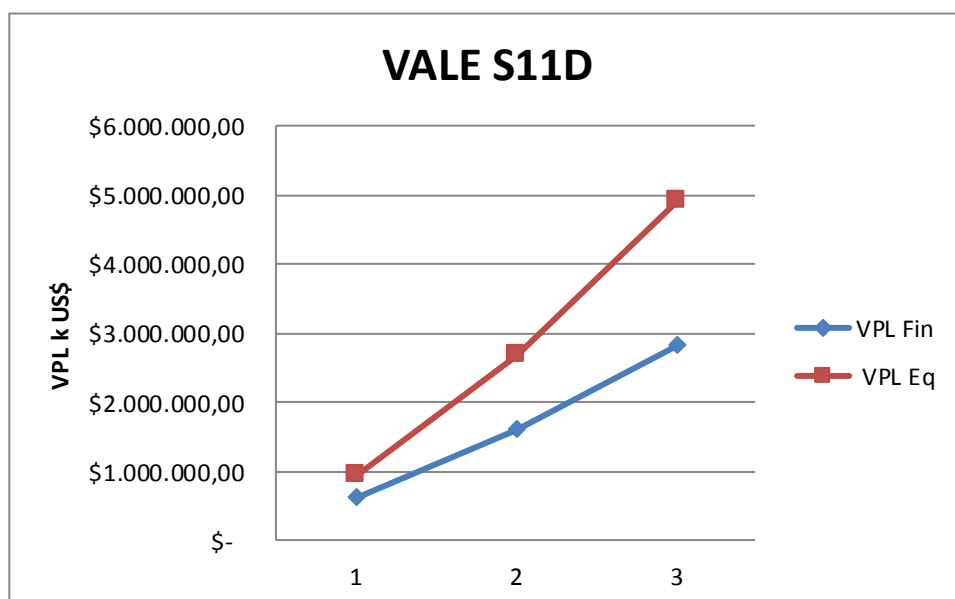


Gráfico 2: Evolução do valor presente líquido do projeto financiado e com capital próprio para os três cenários.

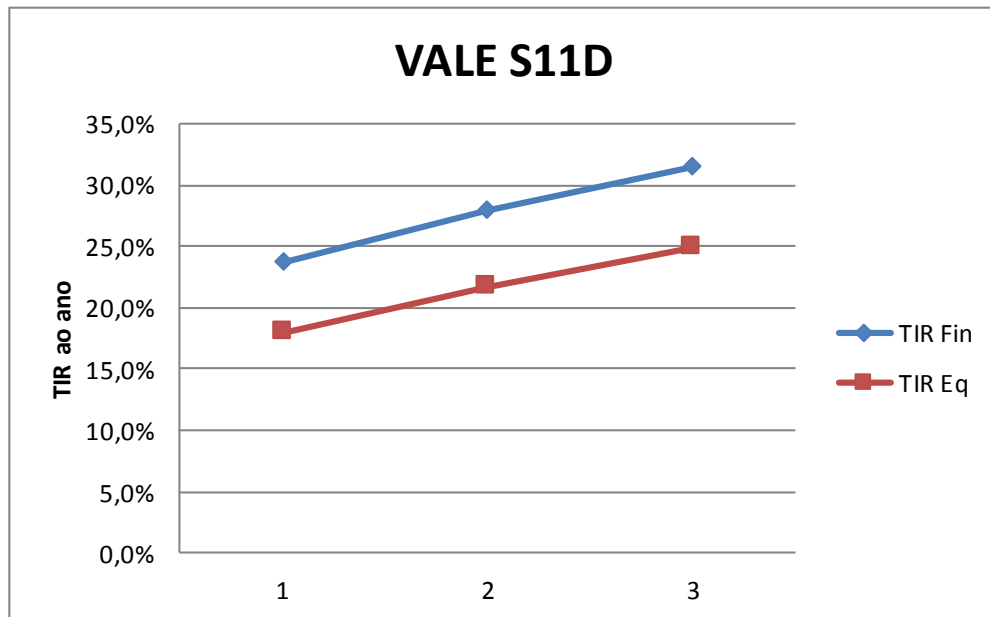


Gráfico 3: Evolução da taxa interna de retorno do projeto financiado e com capital próprio para os três cenários.

6.3 Estrutura Ótima de Capital

De acordo com o exercício da estrutura ótima de capital, é possível confirmar que vale a pena pegar o financiamento para o projeto, mas desde a taxa de juros não seja muito alta. A medida que aumenta a parcela financiada, o banco vai penalizando o risco com taxas de juros maiores (Planilha 15). No gráfico é possível observar a taxa interna de retorno máxima, correspondente a 50% do capex total financiado (Gráfico 5). O valor presente líquido apresenta um efeito análogo, a menos de 0% de financiamento, mas aí a empresa teria de ter capacidade de investir tudo sem financiamento (Gráfico 4). Ou, numa outra maneira, ao tomar empréstimo, a empresa pode liberar capital próprio para outros investimentos.

Cenário 2	Parte Financiada %	Juros Financ	VPL Fin	TIR Fin
	0	NA	\$ 2.681.880,94	21,6%
	20	8,0%	\$ 1.171.587,06	24,8%
	35	10,0%	\$ 1.590.843,50	27,8%
Estrutura ótima de Capital	50	17,0%	\$ 1.521.564,73	29,2%
	65	25,0%	\$ 879.991,57	26,3%

A Estrutura Ótima de Capital, levando-se em conta a TIR e para o Cenário 2 (Realista) é 50% Equity; 50% Debt.

Devido aos riscos maiores para a entidade financiadora, a taxa de juros oferecida no empréstimo é cada vez maior com % Financiada.

Planilha 15: Estrutura ótima de capital para o cenário 2.

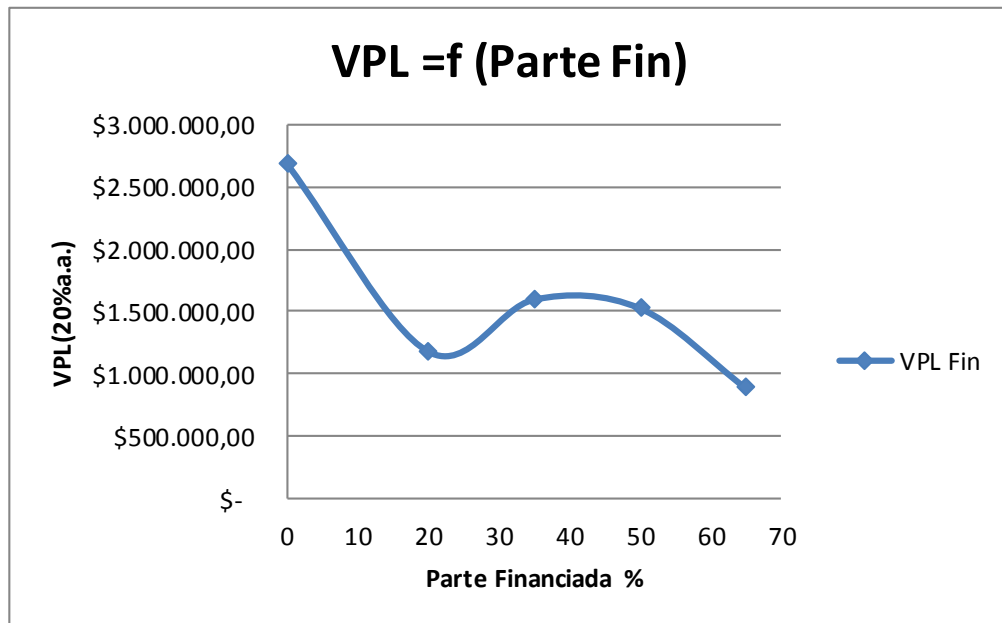


Gráfico 4: Evolução do valor presente líquido de acordo com o percentual financiado.

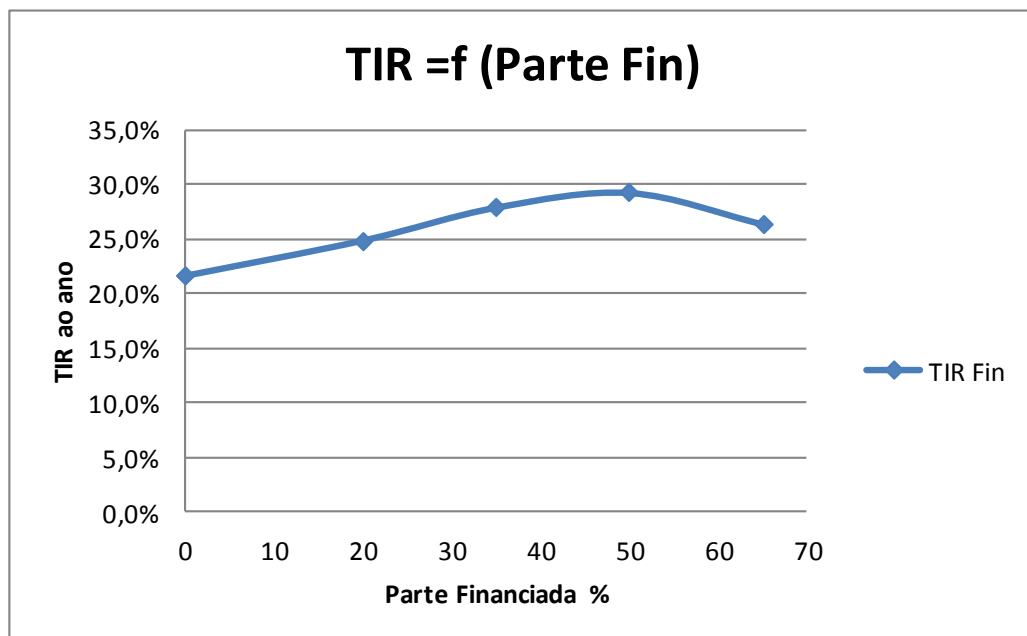


Gráfico 5: Evolução da taxa interna de retorno de acordo com o percentual financiado.

6.3.1 Isenção de Responsabilidade (Disclaimer)

As simulações que foram feitas para determinação da estrutura ótima de capital tiveram como objetivo apenas demonstrar a familiaridade com o assunto, uma vez que faz parte da ementa da disciplina da área de Geologia Econômica do curso de graduação de Geologia da UFRJ.

Foram adotadas hipóteses para custo de capital (taxas de juros) crescentes com o maior endividamento da empresa, hipoteticamente. Desconhece-se a estrutura de capital que a Vale teria utilizado para financiamento do Projeto S11D

7 O Impacto da Mineração na Economia no Estado do Pará

O estado do Pará é privilegiado por produzir um variado grupo de bens minerais, alguns em grande volume enquanto outros apenas em volumes menores. A balança comercial do estado sofre forte impacto devido à alguns bens minerais de extrema importância serem encontrados no território paraense. A atividade mineral é responsável por ofertar recursos minerais fundamentais para o desenvolvimento social.

O estado recebeu investimentos no setor de mineração, principalmente a partir de 2014 e que deve se estender até 2018 (Simineral). O minério de Ferro liderou a produção de minérios paraense em 2016 (Tabela 1), com uma produção maior que 147 milhões de toneladas, indicando um crescimento comparado ao ano anterior, no qual foram produzidos 129 milhões de toneladas de minério de ferro, mostrando um acréscimo de aproximadamente 15%. O minério de Cobre obteve o crescimento mais significativo, com um aumento de 533 para 802 mil toneladas de 2015 para 2016, representando um aumento de 50,6%, seguido pelo ferro que mostrou um crescimento de 14,1%.

É evidente que houve uma retração na produção mineral do Pará entre 2015/2016, com exceção do cobre, ferro, água e do manganês, que obtiveram um crescimento de 50,6%, 14,1%, 0,7% e 0,6%, respectivamente.

Tabela 1
Produção Mineral no Estado do Pará – 2015 e 2016

Bem mineral	2015	2016	Δ15/16
Água Mineral ¹	228.708.118	230.222.989	0,7%
Bauxita	33.240.415	32.450.740	-2,4%
Calcário	1.276.939	878.699	-31,2%
Caulim	1.424.152	1.375.785	-3,4%
Cobre	533.036	802.783	50,6%
Ferro	129.553.878	147.833.612	14,1%
Manganês	1.966.970	1.978.851	0,6%
Níquel	83.551	55.099	-34,1%
Ouro ²	5.886	2.431	-58,7%

Fonte: Informe Mineral do Estado do Pará (2016)

Unidade: Tonelada

Água mineral – Unidade expressa em litros

Ouro – Unidade expressa em kg

A comercialização de bens minerais impulsiona o segmento econômico no estado do Pará. No estado, ocorreu um singelo aumento no volume da comercialização dos bens minerais na relação 2015/2016 (tabela 2). O bem mineral que obteve um maior crescimento quanto ao volume comercializado foi o ferro, com 17,2%, enquanto que o níquel foi o bem mineral que apresentou a maior queda nesse aspecto, com 33,1% abaixo do ano anterior.

Tabela 2

Volume da Comercialização de Bens Minerais no Estado do Pará – 2015 e 2016

Bem mineral	Volume da Comercialização (t)		
	2015	2016	$\Delta 15/16$
Bauxita	33.263.976	32.357.377	-2,7%
Calcário	1.276.939	878.699	-31,2%
Caulim	1.391.689	1.461.381	5,0%
Cobre	805.662	823.305	2,2%
Ferro	126.297.784	147.985.828	17,2%
Manganês	1.617.299	1.585.440	-2,0%
Níquel	83.352	55.750	-33,1%

Fonte: Empresas/DDM/SUP DNPM/PA

Assim como no volume comercializado, houve um crescimento no valor da comercialização dos bens minerais no estado do Pará em comparação aos dois anos, aumentando de R\$ 23.028.146.718,1 bilhões para R\$ 24.900.422.163,2 (tabela 3). O manganês obteve o maior crescimento nesse segmento, sumindo para 23,3% de um ano para o outro. O calcário foi o bem mineral que apresentou a maior queda, com 34,4% a menos do que em 2015.

Tabela 3
Valor da Comercialização de Bens Minerais no Estado do Pará –
2015 e 2016

Bem mineral	Valor da Comercialização (R\$)		
	2015	2016	Δ15/16
Bauxita	3.367.406.252,5	3.369.520.606,8	0,1%
Calcário	47.453.007,3	31.109.058,6	-34,4%
Caulim	533.639.946,0	609.073.032,8	14,1%
Cobre	4.423.006.967,7	4.909.601.276,1	11,0%
Ferro	13.324.916.787,5	14.849.967.478,8	11,4%
Manganês	431.101.880,0	531.705.387,2	23,3%
Níquel	900.621.877,1	630.554.381,5	-30,0%
Total	23.028.146.718,1	24.900.422.163,2	-

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

A exportação é uma atividade de extrema importância para o desenvolvimento econômico. O comércio internacional atualmente é um grande mercado de oportunidades para o exportador brasileiro. É responsável por dissolver riscos e de evitar instabilidades, pois o crescimento de empresas não fica dependente apenas do ritmo do crescimento da economia nacional, assegurando também receitas em moedas fortes, como o dólar.

As exportações de bens minerais do estado do Pará apresentaram um crescimento de 2015 para 2016 (tabela 4). Mais uma vez em destaque, o ferro foi o bem que apresentou maior exportação, com um aumento de 16,3%, quando comparado a 2015, passando de 124.363.055 para 144.686.031 milhões de toneladas. Enquanto que na contramão, o níquel registrou uma queda de 37% comparado as exportações do ano de 2015.

Boa parte do volume dos bens minerais paraenses comercializados é aproveitado pelo mercado interno (tabela 5).

Tabela 4
Exportações Paraenses de Bens Minerais
Volume da Comercialização (Mercado Externo) – 2015 e 2016

Bem mineral	Volume Comercializado		
	Mercado Externo		
	2015	2016	Δ15/16
Bauxita	9.144.027	9.261.383	1,3%
Caulim	1.047.244	1.069.503	2,1%
Cobre	797.924	823.306	3,2%
Ferro	124.363.055	144.686.031	16,3%
Manganês	1.383.744	1.395.673	0,9%
Níquel	83.035	52.276	-37,0%

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

Unidade: Tonelada

Tabela 5
Volume da Comercialização (Mercado Interno) – 2015 e 2016

Bem mineral	Volume Comercializado		
	Mercado Interno		
	2015	2016	Δ15/16
Bauxita	24.199.949	23.095.994	-4,6%
Caulim	344.445	391.879	13,8%
Cobre	7.738	-	-
Ferro	1.934.728	3.299.797	70,6%
Manganês	233.554	189.768	-18,7%
Níquel	317	3.475	996,2%

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

Unidade: Tonelada

O valor da comercialização das exportações minerais do estado do Pará passou de R\$ 20.062.831.227,6 bilhões para R\$ 21,911.690.681,9 bilhões, subindo 9,2% (tabela 6). O ferro foi o bem mineral que apresentou maior destaque, com R\$ 14.408.621.905,8 bilhões, enquanto que o manganês, apresentou a menor participação, com R\$485.288.0212,5 milhões.

No ano de 2015 o valor comercializado pelos bens minerais paraense (mercado externo + mercado interno) atingiram um total de R\$ 22.980.688.663,2 bilhões, sendo

que o mercado interno foi responsável por R\$ 2.917.857.435,6 bilhões. Em 2016 o valor comercializado atingiu um total de R\$ 24.900.422.163,1 bilhões e o mercado interno contribuiu com R\$ 2.988.731.481,2 bilhões (tabela 7).

Tabela 6
Valor da Comercialização – Mercado Externo – 2015 e 2016

Bem mineral	Mercado Externo		
	2015	2016	Δ15/16
Bauxita	872.436.695,9	1.007.396.448,4	15,5%
Caulim	453.614.728,0	486.623.140,7	7,3%
Cobre	4.362.649.926,3	4.909.601.276,1	12,5%
Ferro	13.104.487.816,2	14.408.621.905,8	10,0%
Manganês	372.442.547,2	485.288.021,5	30,3%
Níquel	897.199.513,9	614.159.889,4	-31,5%
Total	20.062.831.227,6	21.911.690.681,9	-

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

Unidade: R\$

Tabela 7
Valor da Comercialização – Mercado Interno – 2015 e 2016

Bem mineral	Mercado Interno		
	2015	2016	Δ15/16
Bauxita	2.494.969.556,58	2.362.124.158,38	-5,3%
Caulim	80.020.171,43	122.449.892,05	53,0%
Cobre	60.357.041,41	-	-
Ferro	220.428.971,27	441.345.573,06	100,2%
Manganês	58.659.332,80	46.417.365,63	-20,9%
Níquel	3.422.362,13	16.394.492,14	379,0%
Total	2.917.857.435,62	2.988.731.481,26	-

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

O ICMS arrecadado pelo setor mineral obteve um crescimento importante em 2016, comparado ao ano anterior, tendo um aumento de R\$ 126.768.454,6 para R\$ 190.132.630,7, um crescimento de 50%, com o níquel, mostrando um aumento de 466,2% e o caulim 69,2% (tabela 8). A bauxita foi o bem mineral que mais arrecadou ICMS em 2016, com R\$ 140.520.785,1. O bem mineral que obteve a menor taxa de

crescimento foi o manganês, que apresentou uma queda de 29,9% e o calcário foi o que menos conquistou impostos, obtendo apenas R\$ 4.042.939,5, com uma queda de 23,5% comparado a 2015.

Tabela 8
Valor da Receita Tributária por Substância Mineral no Estado do Pará – 2015 e 2016

Bem mineral	ICMS		Δ15/16
	2015	2016	
Bauxita	105.861.309,48	140.520.785,12	32,7%
Calcário	5.286.469,31	4.042.939,48	-23,5%
Caulim	6.636.110,62	11.228.907,25	69,2%
Cobre	0	0,00	-
Ferro	0	27.649.079,62	-
Manganês	6.809.501,28	4.774.325,83	-29,9%
Níquel	338.518,40	1.916.593,36	466,2%
Total	126.768.454,64	190.132.630,66	-

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

Unidade: R\$

A CFEM – arrecadação da compensação financeira pela exploração de recursos minerais, mostrou uma queda na relação 2015/2016, diminuindo 14,1%, e indicando o ferro como o bem de maior arrecadação e que proporcionou um crescimento significativo comparado a 2015, com R\$ 255.528.011,7 (25,5%) (tabela 9). O bem mineral que apresentou menor arrecadação foi o calcário com R\$ 455.659,6 arrecadados. De acordo com a simulação realizada da arrecadação do CFEM para o Projeto S11D ao atingir a produção máxima, estimada para 2020, será de US\$ 108 milhões, à uma taxa de 4% ao ano, gerando uma arrecadação de US\$ 3.24 bilhões somando os 30 anos de vida útil do projeto.

Tabela 9

**Valor da Receita Tributária por Substância Mineral no Estado do Pará –
2015 e 2016**

Bem mineral	CFEM (Devida)		Δ15/16
	2015	2016	
Bauxita	84.935.954,9	90.571.847,1	6,6%
Calcário	683.278,8	455.659,6	-33,3%
Caulim	10.224.792,5	11.161.468,2	9,2%
Cobre	92.516.799,8	98.033.867,5	6,0%
Ferro	203.650.127,6	255.528.011,7	25,5%
Manganês	12.336.187,5	10.814.543,0	-12,3%
Níquel	138.272.885,6	1.916.593,4	-98,6%
Total	545.425.537,9	468.481.990,4	-

Fonte: Empresas/DDM/SUP – DNPM/PA

8 CONCLUSÕES, SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho teve por objetivo fazer um estudo de viabilidade de um modelo de exploração de jazida de minério de ferro e mostrar boas soluções quando se agrega avanços tecnológicos no processo de mineração associado a preservação ambiental, bem como o ganho que possibilitou para as populações do entorno da jazida trazendo desenvolvimento e melhoria dos indicadores sociais.

Foi verificado como foi concebido e desenvolvido o projeto S11D da Companhia Vale S.A. e os impactos positivos causados para economia do Estado do Pará e em especial a região da Província Mineral de Carajás, considerada a maior e a mais importante província mineral do Brasil.

Ainda dentro do trabalho foi apresentada a formação desta importante província mineral, bem como o momento temporal da formação das jazidas de minério de ferro, o qual o Brasil é o segundo maior exportador do mundo e que representou uma produtividade recorde no ano de 2016 estimada em mais de 800.000 toneladas sendo a Companhia Vale S.A. responsável por cerca e 50% deste montante.

Como conclusão, fica evidente que existem boas soluções que possibilitam uma exploração econômica de uma jazida por diversos anos sem que possa criar um passivo ambiental que inviabilize o seu próprio funcionamento. A proposta apresentada pelo projeto S11D da Companhia Vale S.A. é um divisor de águas da exploração de jazidas de minério de ferro no Brasil, tendo em vista a utilização de novas tecnologia de prospecção, beneficiamento e transporte.

O sistema *truckless* adotado pela empresa permitiu uma redução significativa nas emissões de gases do efeito estufa (GEEs), o que na prática significou cerca de 130 mil toneladas de CO₂ a menos por ano na atmosfera, além de estabelecer uma grande economia de energia durante seu beneficiamento com redução estimada de 18 mil MWh/ano, o que corresponde ao consumo de uma cidade com 10 mil residências.

A análise de viabilidade do projeto apresentada e realizada a partir de uma simulação do modelo de fluxo de caixa permitiu empiricamente concluir que o investimento projetado para 30 anos e facilmente pago em pouco mais de 10 anos, já descontada as despesas de impostos e o custo médio ponderado de capital em 15% ao ano, o qual sinalizou com uma taxa interna de retorno (TIR) de 21,5% e valor

presente líquido (VPL) de US\$ 2.671.557 bilhões confirmando assim a total rentabilidade econômica do Projeto S11D.

Outro aspecto relevante na pesquisa foi descobrir, através da análise de indicadores sociais da região do projeto S11D, que a empresa aplicou nos últimos 12 anos mais de R\$ 900 milhões em investimentos sociais e pagamento de impostos com desembolsos que somam cerca de R\$ 300 milhões na área social, dos quais R\$ 280 milhões foram contrapartida pela implantação de projetos de sustentabilidade e R\$ 16 milhões foram empregados pela Fundação Vale em ações em programas de infraestrutura, educação, saúde, cultura, lazer e formação profissional beneficiando cerca de 30.000 pessoas.

Logo, o pragmatismo existente de que a mineração é uma atividade que polui e destrói caiu totalmente por terra com a exploração de minério de ferro no projeto S11D, o que ficou comprovadamente demonstrado no trabalho de pesquisa, por meio dos dados macroeconômicos e psicossociais apresentados e da tecnologia utilizada em proveito de otimização de processos na extração, beneficiamento e transporte sem geração de passível ambiental que torne inviável seu funcionamento.

O assunto explorado neste trabalho é bastante vasto e esta pesquisa não tem a intenção de esgotar o assunto, mas apresentar novas informações ao meio acadêmico de que existem alternativas viáveis para exploração econômica de jazidas promovendo agendas positivas junto as populações e ao meio ambiente, onde todos saem ganhando.

Como sugestão, poder-se-ia pensar em fazer estudos adicionais, com a planilha Excel e o fluxo de caixa descontado (FCD), tais como simulação de Monte Carlo com as variações de preço; e, principalmente, determinar os impactos, para a Vale e para a economia do Estado do Pará dos atrasos no início de operações do Projeto S11D (receitas, empregos, recolhimento de tributos e impostos).

9 LISTA DE REFERÊNCIAS

Araújo O.J.B. & Maia R.G. 1991. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Projeto especial mapa de recursos minerais, se solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral/DNPM – Companhia de Recursos Minerais/CPRM, 152 p.

Araújo O.J.B., Maia R.G., João X.S.J., Costa J.B.S. 1988. A mega – estruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: SBG/DNPM, Congresso Latino – Americano de Geologia, Anais, :324 – 328.

Avelar V.G., Lafon J.M., Correia Jr. F.C., Macambira B.E.M. 1999. O Magmatismo Arqueano da Região de Tucumã, Província Mineral de Carajás. Amazônia Oriental, Brasil: novos dados geocronológicos. Revista Brasileira de Geociências, 29:453 – 460.

Barbosa O., Ramos J.R. de A., Gomes F. de A., Helmbold R. 1966. Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do “Projeto Araguaia”. Monografia da DGM, (não publicado), Rio de Janeiro, 94 p.

Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P. 2001. Idade de zircão do Complexo Granítico Estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Metalogenética de Carajás. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 7, Belém, CDROM.

Beisiegel V.R., Bernardelli A.L., Drummond N.F., Ruff A.W., Tremaine J.W. 1973. Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências, 3:215-242.

Companhia Vale S.A.: Página virtual, 2016. Disponível em: <<http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/Home.aspx>> Acessado em: 08/08/2017.

Costa J.B.S., Araújo O.J.B., Santos A., João X.S.J., Macambira E.M.B., Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Geologia 7, 199-235.

Costa L.P. 2007. Caracterização das sequências metavulcanossedimentares da porção leste da Província Mineral Carajás, Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 113 p.

Dalstra H. & Guedes S. 2004. Giant hydrothermal hematite deposits with Mg-Fe metasomatism: a comparison of the Carajás, Hamersley and other iron ores. *Economic Geology*, 99:1793-1800.

Dardenne M.A., Schobbenhaus C. 2001. *Metalogênese do Brasil*. CPRM/UNB, Brasília. 392 p.

DNPM, Informe Mineral do Estado do Pará. 2017. Departamento Nacional de Produção Mineral, Belém -PA.

DOCEGEO. 1988. Revisão Litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anais, p. 11 – 54.

Figueiredo e Silva R.C.F, Lobato L.M., Rosiere C.A., Hagemann S., Zucchetti M., Baars F.J., Morais R., Andrade I. 2008. A Hydrothermal Origin for the Jaspilite-Hosted, Giant Serra Norte Iron ore Deposits in the Carajás Mineral Province, Pará State, Brazil. *Society of Economic Geologists*, vol. 15, p. 255-290.

Gibbs A.K., Wirth K.R, Hirata W.K., Olszewski Jr. W.J. 1986. Age and composition of the Grão-Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16:201-211.

Guedes S.C., Rosiere C.A., Barley M., lobato L.M. 2002. The importance of carbonate alteration associates with the Carajás hight-grade hematite deposits, Brazil. In: *Iron ore Conference*, Perth, Australia, p. 63-66.

Hirata W.K., Rigon J.C., Kadkaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. *Geologia Regional da Província Mineral de Carajás*. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, Anais, 1:100-108.

Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledshan E.J., Gouveia J.L., Martins L.P.B., Montalvão R.G.M., Costa V.G. 1988. O terreno “granitos-greenstone” da região de Rio

Maria – sul do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anais, 3:1438 – 1452.

Huhn S.R.B., Souza C.I.J., Albuquerque M.C., Leal E.D., Brustolin V. 1999. Descoberta do Depósito de Cu (Au) Cristalino: geologia e mineralização associada – Região da Serra do Rabo – Carajás – Pará. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Boletim, p. 140 – 143.

Huhn S.R.B., Souza C.I.J., Albuquerque M.C., Leal E.D., Brustolin V. 1999. Descoberta do depósito de Cu(Au) Cristalino: geologia e mineralização associada – Região da Serra do Rabo – Carajás – Pará. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Boletim, p. 140-143.

Lima F.D. & Pinheiro R.V.L. 2001. As Rochas Sedimentares Clásticas (Formação Gorotire) da terminação Leste da Falha Carajás, Serra dos Carajás – PA, In: Reis N.J. & Monteiro M.A.S. (eds.). Contribuição à Geologia da Amazônia, Manaus, 2:201-224.

Lindenmayer Z.G. & Fyfe W.S. 1991. Metamorfismo de alta temperatura e baixa pressão no depósito de cobre do Salobo: evidência de rift continental arqueano no Cráton Amazônico. In: SGB, Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Anais, p. 36-48.

Lindenmayer Z.G. & Fyfe W.S. 1992. Comparação preliminar entre os metabasaltos dos grupos Parauapebas e Salobo da bacia Carajás, PA. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, 2:33-34.

Lindenmayer Z.G., Laux J.H., Teixeira J.B.G. 2001. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências, 31:31-28.

Lobato L.M., Rosiere C.A., Figueiredo e Silva R.C., Zucchetti M., Baars F.J., Seone J.C.S., Rios F.J., Pimentel M.M., Mendes G.E., Monteiro A.M. 2005. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – Controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In: Marini O.J., Queiroz E.T. de, Ramos B.W. (eds). Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. DNPM/CT – Mineral/FINEP/ADIMB, p. 25-92.

Macambira J.B., Ramos J.F.F., Assis J.F.P., Figueiras A.J.M. 1990. Projeto Serra Norte e Projeto Pojuca. Convênios Seplan/DOCEGEO/UFPA e DNPM/DOCEGEO/UFPA. Relatório Final. 150 p. Inédito.

Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 7:263 – 288.

Machado N., Lindenmayer Z.G., Krogh T.E., Lindernmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. Precambrian Research, 49:329-354.

Meireles E.M., Hirata W.K., Amaral A.F., Medeiros Filho C.A., Gato W.C. 1984. Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais, 5:2164-2174.

Meirelles M.R. & Dardenne M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica e ambiente de arco arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Pará. Revista Brasileira de Geociências, 21:41-50.

Motta, R.R. & Calôba, M.G. Análise de Investimentos - Tomada de Decisões em Projetos Industriais. Rio de Janeiro: Atlas, 2002. 391 p.

Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 7:177-197.

Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U – Pb dos terrenos granito – greenstone de Rio Maria, Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Extendes Abstracts, 2:390 – 391.

Pinheiro R.V.L. & Holdsworth R.E. 2000. Evolução Tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. Revista Brasileira de Geociências, 30(4):597-606.

Revista Vale. S11D – Novos Caminhos para a Mineração. Futuro empreendimento inaugura nova fase na mineração de ferro no Brasil, Editora Vale, 2016.

Sachs, Ignacy. Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir. São Paulo: Vértice, 1986. 207 p.

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil – Central. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H (eds.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Companhia de Recursos Minerais/CPRM, p. 169 – 226.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, 3(4):453 – 488.

Silva G.G., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. In: Levantamento de Recursos Minerais, Projeto Radam. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A Evolução Tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso – Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (eds). *Geologia do Continente Sul – Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. P. 471 – 485.

Zucchetti M. 2007. Rochas máficas do Grupo Grão-Pará e sua relação com a mineralização de ferro dos depósitos N4 e N5, Carajás, PA. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 125 p.