



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
MINAS



JONAS BENEDETTI MANIGLIA

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL
DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
UMA CORREIA TRANSPORTADORA NUMA MINA DE BAUXITA
NO ESTADO DO PARÁ

OURO PRETO
2018

JONAS BENEDETTI MANIGLIA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA
CORREIA TRANSPORTADORA NUMA MINA DE BAUXITA NO
ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia
de Minas da Universidade Federal
de Ouro Preto, como requisito
parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Minas.

Professor orientador: Professor José Fernando Miranda

Coorientador: Giovanni Rubinich Moraes

OURO PRETO – MG 2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 30 dias do mês de agosto de 2019, às 16h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA CORREIA TRANSPORTADORA NUMA MINA DE BAUXITA NO ESTADO DO PARÁ”**, pelo aluno **Jonas Benedetti Maniglia**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. M.Sc. José Fernando Miranda (orientador)**, **Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza** e **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela ~~aprovação~~ do candidato, com a nota ~~7,0~~ concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

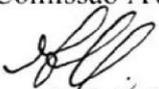
O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

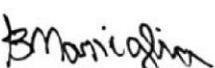
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 30 de agosto de 2019.


Prof. M. Sc. José Fernando Miranda
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientador


Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza
Membro da Comissão Avaliadora


Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Membro da Comissão Avaliadora


Jonas Benedetti Maniglia


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 492 – Trabalho de Conclusão de Curso

A Deus,
aos meus pais Mauro e Elaine,
a minha irmã Mariah

AGRADECIMENTOS

A deus pela proteção diária e por sempre me iluminar, mostrar os melhores caminhos e ser um guia em minha vida.

Aos meus pais Mauro e Elaine e minha irmã Mariah por todo amor, dedicação e afeto. Por serem meu porto seguro, sempre me apoiando e dando força em todas as decisões.

As famílias Benedetti e Maniglia por serem uma fonte de amor inesgotável. Em especial a meu tio Wagner e meu primo Estevão, essa vitória é para vocês.

A Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas e DEMIN pelo ensino de qualidade, pela experiência de vida e pela oportunidade de me tornar ex aluno dessa escola incrível.

Ao meu orientador José Fernando e ao meu coorientador Giovanni Rubinich pela ajuda inestimável nessa etapa de conclusão de curso.

A empresa Expand energia por toda a ajuda no trabalho de conclusão de curso.

A gloriosa república Território Xavante onde lapidei valores e vivi os melhores anos da minha vida. Por toda convivência e ensinamentos.

RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental da implantação de um sistema fotovoltaico na cobertura de uma correia transportadora, referente a um projeto em desenvolvimento, a ser implantado no ano de 2024. O principal objetivo desse estudo foi a substituição de parte da geração de energia elétrica, que era feita através de geradores movidos a diesel para um sistema de energia renovável, no caso a fotovoltaica. Desta maneira, os resultados do estudo foram promissores, pois, apesar da necessidade de um maior investimento inicial o tempo de retorno desse capital seria relativamente pequeno, restando muitos anos de economia para a empresa. Outro resultado muito importante do estudo foi a melhoria no aspecto ambiental, fazendo com que toneladas de CO₂ deixem de ser emitidos ao longo da vida útil da mina. Além disso, esse estudo deixa um potencial enorme de exploração e desenvolvimento do tema, pois com estudos mais aprofundados, amplia-se a possibilidade de maior eficiência, de economia e de ganhos ambientais do projeto.

ABSTRACT

This paper addresses a study on the economic and environmental feasibility of implementing a photovoltaic system on a conveyor belt covering a project under development, to be implemented in the year 2024. The main objective of this study was the replacement of part electricity generation, which was done through diesel-powered generators. Thus, the results of the study were promising because, despite the need for greater initial investment, the return time of this capital would be relatively short, leaving many years of savings for the company. Another very important result of the study was the improvement in the environmental aspect, causing tons of CO₂ to cease to be emitted over the life of the mine. In addition, this study leaves a huge potential for exploration and development of the theme, with further study, possibility of greater efficiency, economy and environmental gains of the project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Micro e macrogeração distribuídas	6
Figura 2 - Matriz energética brasileira.....	6
Figura 3 - Média da radiação solar anual no território brasileiro.....	11
Figura 4 - Arranjo fotovoltaico.....	13
Figura 5 - Arranjo de uma geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica.	14
Figura 6 – Capacidade instalada e geração fotovoltaica distribuída.....	16
Figura 7 – Irradiação solar no plano horizontal, ângulo igual a latitude, maior média anual e maior mínimo mensal.....	18
Figura 8 - Traçado da rota da Correia Transportadora projetada.....	19
Figura 9 - Seção transversal da correia transportadora.....	20
Figura 10 - Fluxo de Caixa Acumulado (Considerando troca de inversores dentro dos 25 anos)	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela 1 – Consumo total de eletricidade (GWh) dos grandes consumidores industriais, por segmento.....	15
Tabela 2 - Calculo no Plano Inclinado.....	19
Tabela 3 – Informações sobre a correia transportadora.....	20
Tabela 4 – Dados da cobertura da correia transportadora para o dimensionamento da instalação dos painéis fotovoltaicos.....	21
Tabela 5 – Tabela 5 – Parâmetros da Análise do projeto.....	23
Tabela 6 – Informações de comparação de custos e tempo de retorno do investimento.....	24
Tabela 7 – Análise VPL e TIR.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Energia solar	15
3.1.1	Energia solar no Brasil	16
3.2	Sistema fotovoltaico: funcionamento e eficiência	18
3.3	Uso da energia renovável na mineração	20
3.4	Correias transportadoras e a utilização de energia solar.....	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1	Descrição do projeto estudado	24
4.2	Descrição do local de estudo e posicionamento das placas fotovoltaicas	24
4.3	Dados levantados acerca do projeto.....	25
5	RESULTADOS	29
5.1	Análise econômica.....	29
5.2	Análise Ambiental	31
6	CONCLUSÃO.....	32
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma importante atividade do setor industrial do Brasil tornando-o um dos grandes produtores mundiais de minérios (ICMM, 2014), além de representar cerca de 1,4% do Produto Interno Bruto nacional em 2018 (CARVALHO *et. al*, 2018). De acordo com os autores, essa importante atividade irá continuar aumentando a sua produção e, como consequência, ocorrerá o aumento dos impactos ambientais e do grande consumo de energia. (CARVALHO *et. al*, 2018)

O setor industrial – do qual a mineração faz parte – é responsável pela utilização de 31,7% da energia produzida em todo o país, visto que, 57% dessa energia é proveniente de fontes renováveis (EPE, 2019). Esses dados apenas reforçam uma tendência mundial do crescimento da utilização de energias renováveis em sistemas de geração de energia elétrica, tendo em vista a necessidade da preservação ambiental e do combate ao aquecimento global a fim de garantir um ambiente sustentável para as atuais e futuras gerações.

Em relação as fontes de energias renováveis, o uso de energia solar fotovoltaica vem se destacando por apresentar circunstâncias favoráveis ao seu desenvolvimento, com um crescimento de geração elétrica equivalente a 316% de 2017 para 2018 (EPE, 2019), além de apresentar uma diminuição de custos ano após ano, enquanto a energia elétrica gerada por fontes convencionais vem na contra mão, apresentando um aumento relevante de custos (NAKABAYASHI, 2015). Outro fator estimulante para utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil é o seu ótimo índice de irradiação solar, se tratando de um dos maiores do mundo pois grande parte do território nacional está perto da linha do equador, desta forma a irradiação solar não varia muito ao longo do dia (FEAM, 2016).

Segundo Nakabayashi (2015), os sistemas fotovoltaicos passaram por mudanças nos últimos anos, sendo aplicados, em sua maioria, em sistemas isolados durante a década de 90 e durante a década de 2000 os sistemas passaram a ser, maioritariamente, conectados à rede elétrica que, por sua vez, são utilizados com mais frequência na geração distribuída, constituídas por usinas de menor porte próximas aos centros de consumo.

Em relação a micro e mini geração distribuídas, a energia solar é predominante com participação de 63,5% da geração distribuída no país e 526 GWh de geração

instalada, em 2018 (EPE, 2019). A figura 1 apresenta um gráfico comparativo das micro e minigerações.

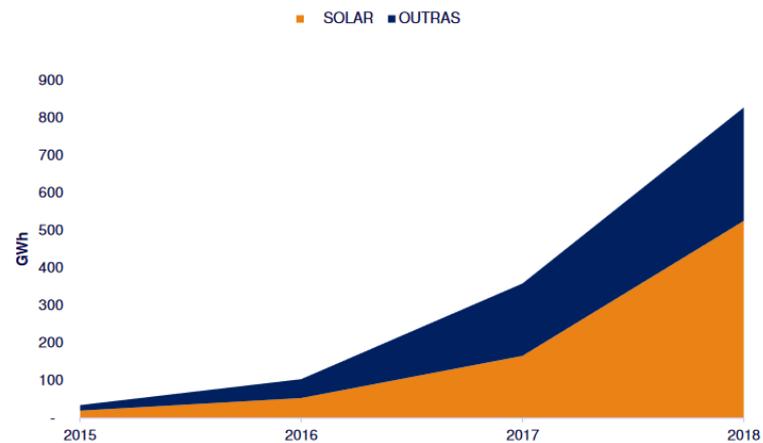


Figura 1 - Micro e Mini geração Distribuídas

Fonte: EPE, 2019

Porém, apesar de ser uma das melhores opções de energia renovável e apresentar números promissores, é possível notar que a energia solar fotovoltaica ainda não possui um papel de protagonismo na matriz de oferta interna de energia elétrica, sendo responsável por apenas 0,5% da mesma, conforme mostrado no gráfico da figura 2 (EPE, 2019).

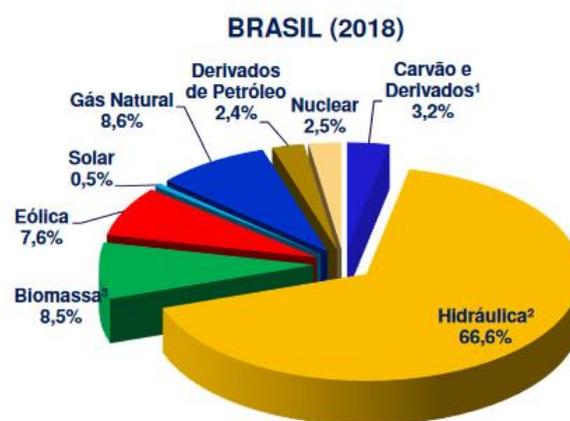


Figura 2 - Matriz energética brasileira.

Fonte: EPE, 2019

Após análise desses fatos, deduz-se que o setor industrial e, principalmente, a indústria da mineração são ambientes propícios para a implementação e utilização de energias renováveis, por ser o segundo setor do país que mais consome energia, ficando atrás apenas do setor de Transportes (EPE, 2019) e, além disso, por também ser um setor que gera impactos ambientais, se fazendo necessário a opção por caminhos sustentáveis. Assim sendo, essa pesquisa analisa de maneira qualitativa e quantitativa uma forma de produzir energia originária de fontes naturais em uma mina de bauxita situada no estado do Pará, que teve o início das instalações do empreendimento de mineração no começo do século vinte e um, possuindo um dos maiores depósitos de bauxita de qualidade no mundo.

Nesse contexto, a finalidade desse trabalho é analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em parte da cobertura de uma correia transportadora referente a um projeto “brown field” de uma mina de bauxita no estado do Pará, para o ano de 2024, com intuito de reduzir custos no consumo de energia e estimular a produção de energia limpa utilizando fontes renováveis.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Realizar a análise da viabilidade econômica e ambiental da implantação de um sistema fotovoltaico no telhado de cobertura de uma correia transportadora referente a um projeto de crescimento de uma mina de bauxita no estado do Pará, para o ano de 2024, com intuito de reduzir custos no consumo de energia e estimular a produção de energia limpa utilizando fontes renováveis.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar simulações sobre a instalação e utilização de placas fotovoltaicas no telhado da correia transportadora do projeto
- Realizar uma análise da viabilidade econômica e ambiental do projeto
- Levantar dados sobre a mitigação de impactos ambientais
- Levantar dados sobre o possível investimento necessário a ser feito pela empresa e a economia gerada a longo prazo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia solar

A energia solar está indiretamente ligada a diversas fontes de energia como a hidráulica, a biomassa, a eólica, os combustíveis fósseis e energia dos oceanos. Além disso, a própria radiação solar pode ser diretamente utilizada como fonte de energia térmica, no aquecimento de fluidos e ambientes e na geração de potência elétrica ou mecânica. Esta energia, ainda pode ser convertida diretamente em energia elétrica por meio de efeitos sobre determinados materiais, como o termoeletrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2005).

Como a radiação depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas, a superfície terrestre não é atingida de maneira uniforme. A maior parte da energia solar está sob a forma de luz que pode ser utilizada como energia térmica ou elétrica dependendo do equipamento de captação. Se for utilizada uma superfície escura para a captação de luz solar, a energia será transformada em calor, porém com o uso de painéis fotovoltaicos obtêm-se eletricidade. Com base nesses princípios, existem dois sistemas para a produção de eletricidade por energia solar: o hidrotérmico, onde o calor é transformado em eletricidade, portanto é pouco utilizado, e o fotovoltaico onde a radiação é transformada diretamente em eletricidade. (MORAIS, 2015, p.49)

Segundo (ANEEL, 2005), o aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes é proveniente da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo, assim, a necessidade de iluminação e aquecimento. O aproveitamento térmico da radiação solar para o aquecimento de fluidos é obtido através do uso de coletores ou concentradores solares.

A dinâmica da geração solar fotovoltaica apresenta um comportamento diurno e estocástico, devido a dependência das condições climáticas. Essa característica resulta em variações de curto e médio prazo da potência produzida pelos módulos, impactando diretamente na forma de operação do sistema elétrico (ANGELIM, 2018, p.17)

Os coletores solares são mais utilizados em aplicações residenciais e comerciais - como hotéis, restaurantes, clubes, hospitais, etc – para o aquecimento de água. Já os concentradores solares são utilizados em aplicações que exigem temperaturas mais altas, como na secagem de grãos e a produção a vapor, por exemplo. Conforme Bandeira (2012), estes concentram a luz solar em um ponto específico em grandes áreas espelhadas, produzindo altas temperaturas. O vapor resultante junto a uma turbina, pode gerar energia mecânica, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador, cujo funcionamento se assemelha a de uma termelétrica a vapor.

Na matriz energética mundial, a energia solar possui participação pouco expressiva, ainda que tenha crescido 2000%, entre os anos de 1996 e 2006 (MORAIS, 2015). Segundo AICE (2012), a energia consumida no mundo equivalente a obtenção solar corresponde a apenas 0,1%.

3.1.1 Energia solar no Brasil

O Brasil é um país privilegiado em termos de radiação solar, e registra uma variação de radiação entre 8 e 22 MJ (megajoules) por metro quadrado durante o dia, ocorrendo menores variações nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ (megajoules) por metro quadrado. A região nordeste do país possui variação comparável às melhores regiões do mundo, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no deserto de Mojave, na Califórnia (ANEEL, 2005). A figura 3 apresenta a média da radiação solar anual no território brasileiro.

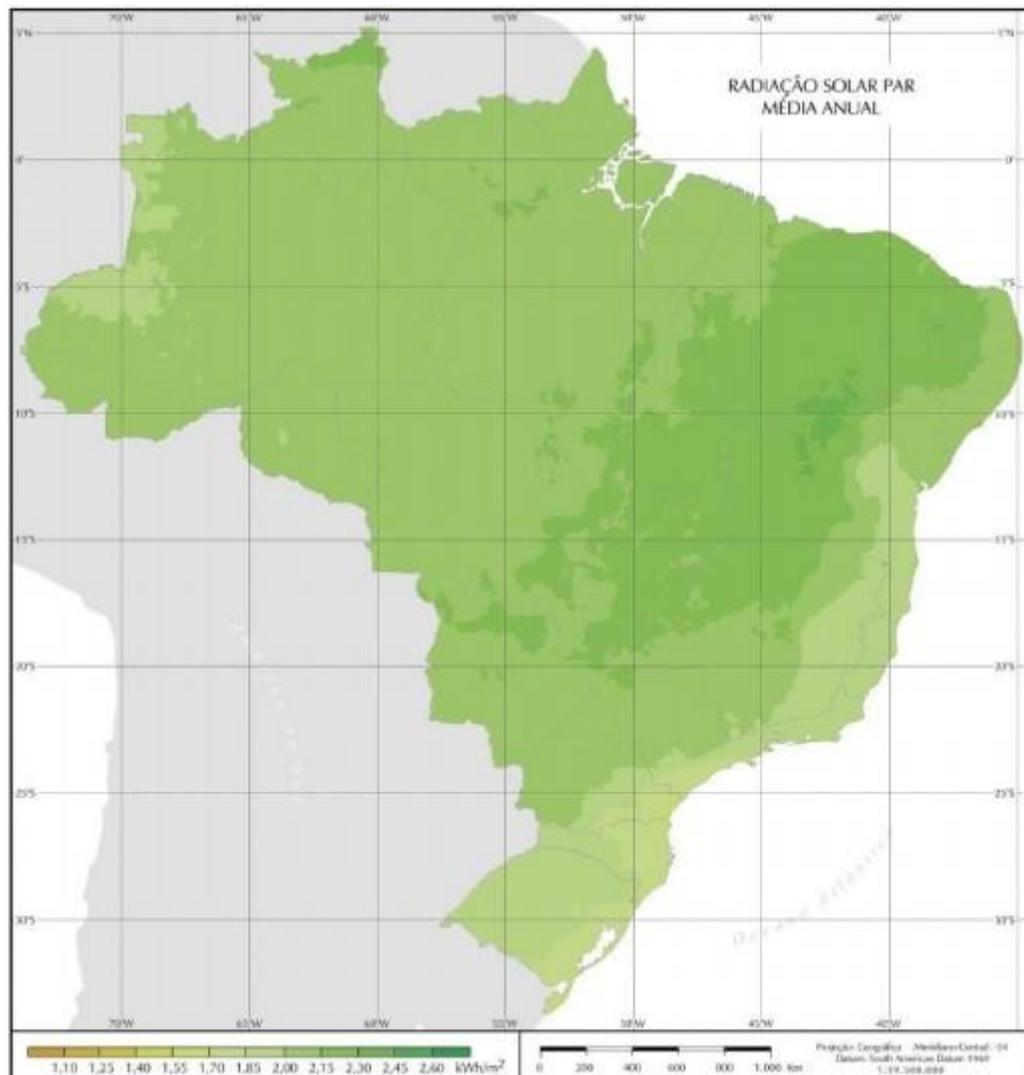


Figura 3 - Média da radiação solar anual no território brasileiro.

Fonte: Pereira *et. al.* (data)

Segundo Tomasella (2005), de modo geral, 26% da radiação solar atinge a superfície terrestre de forma difundida ou espalhada, e 25% atinge de forma direta, na região do Equador. De acordo com AISB (2000), a energia solar no Nordeste, onde é mais eficaz, incide diariamente entre 4,5 kWh/m² a 6,3 kWh/m².

Apesar do enorme potencial do país, a inserção de geração solar no Brasil encontra-se em estágio embrionário (Bezerra; Santos, 2016). Contudo, existem diversos incentivos governamentais para o aproveitamento da fonte, que estimulam o desenvolvimento da energia solar. Silva (2015) lista os principais incentivos:

[...] b) Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD):

- desconto de 80% na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) para empreendimentos cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW e que entrem em operação até 31 de dezembro de 2017; - o desconto passa a ser de 50% a partir do 11º ano de operação da usina solar e para empreendimentos que comecem a operar a partir de 1º de janeiro de 2018 [...]

[...] d) Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas:

- instituído pela Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Aneel;

- garante que consumidores interessados em fornecer energia para a rede da distribuidora na qual estão conectados poderão fazê-lo, desde que obedecidos os procedimentos técnicos estabelecidos pela Aneel;

- os consumidores poderão abater a energia injetada daquela consumida, ou seja, somente pagarão para as distribuidoras a diferença entre o consumido e o injetado;

- esse sistema é denominado de net metering; - os empreendimentos devem ter potência máxima de 1.000 kW (1 MW) [...]

[...] h) Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS)

- redução a zero das alíquotas de PIS/PASEP e COFINS incidentes na venda no mercado interno ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos, para incorporação ao ativo imobilizado da pessoa jurídica adquirente no mercado interno ou de importadora, e da contribuição de intervenção no domínio econômico incidente nas remessas destinadas ao exterior para pagamento de contratos relativos à exploração de patentes ou de uso de marcas e os de fornecimento de tecnologia e prestação de assistência técnica;

- até mesmo o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e o Imposto de Renda podem ser objeto de alíquota zero - por alcançar os semicondutores e a produção de células de filme fino, a geração de energia elétrica por fonte solar é beneficiada [...] (SILVA, 2015, p.9-11 – recorte do autor)

3.2 Sistema fotovoltaico: funcionamento e eficiência

“A variável básica para o aproveitamento de energia solar é a radiação solar incidente” (Reis; Valverde; Mendonça, 2015, p.5). Para transformar a energia solar em energia elétrica, são utilizadas células fotovoltaicas - produzidas a partir do silício, como o silício monocristalino, o amorfo e o policristalino (Reis; Valverde; Mendonça, 2015)

constituídas por camadas de semicondutores, que produzem uma tensão elétrica em seus terminais quando estimuladas pela radiação solar. Essa tensão costuma ser da ordem de 0,5V, de potência média correspondente a 3W, sendo necessário uma configuração série-paralelo na associação das células a fim de obter um desempenho adequado em aplicações práticas, caracterizando o módulo fotovoltaico (Messenger; Ventre, 2003; Pinho; Galdino, 2014). Quanto maior a incidência solar, maior a eletricidade gerada (LOPEZ, 2012). A Figura 4 demonstra a configuração de um arranjo solar fotovoltaico.

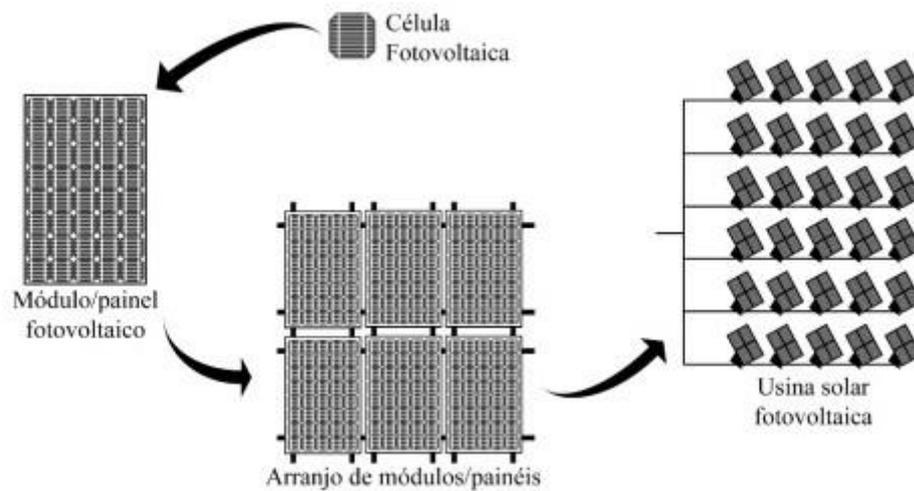


Figura 4 - Arranjo fotovoltaico. Fonte: ANGELIM, 2018

Os módulos criam uma tensão elétrica contínua (CC), exigindo uma adaptação da energia produzida para os padrões da rede através de um inversor. Angelim (2018) ressalta a importância deste equipamento para a operação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, pois converte a tensão contínua em alternada e regula a qualidade da energia injetada na rede, extrai o máximo desempenho do sistema e incorpora mecanismos de controle e proteção. Para aplicações de gerenciamento, o inversor permite o fluxo bidirecional de corrente, podendo injetar ou absorver energia (Almada, 2016; Pinho, 2008). A Figura 5 apresenta um esquema da conexão de uma usina de geração solar fotovoltaica à rede elétrica, com seus principais componentes.

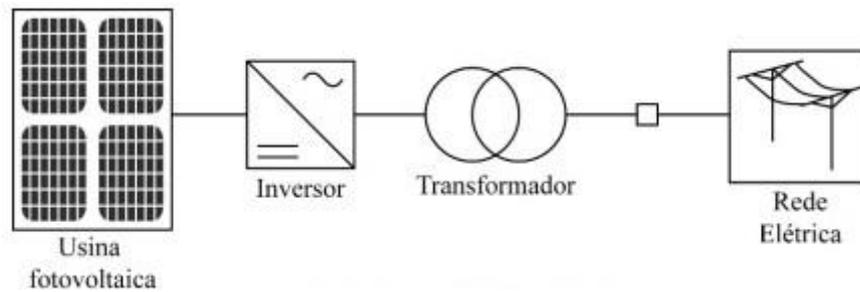


Figura 5 - Arranjo de uma geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica. Fonte: ANGELIM, 2018

A eficiência de um sistema fotovoltaico está diretamente ligada à eficiência de conversão das células fotovoltaicas, pois a maior parte da energia solar é perdida antes mesmo de chegar a ser convertida em eletricidade; e à disposição dos painéis em relação ao sol, uma vez que a incidência solar varia de acordo com a orientação do sistema, a inclinação e o nível de sombreamento sobre os painéis. Em sistemas completos, é preciso levar em consideração também as perdas causadas pelo efeito da massa de ar atmosférica, nos sistemas de armazenamento de energia e no inversor de frequência (VITTI; ALVARES, 2006).

3.3 Uso da energia renovável na mineração

A indústria da mineração, segundo o IBRAM(2018), foi responsável por 16,7% do PIB Industrial e 30% do saldo da balança comercial do Brasil. A mineração é um dos setores que mais se destaca na economia nacional e está presente na estrutura econômica desde o período colonial (CHINAGLIA, 2007).

O processo de extração e beneficiamento do minério interfere direta e indiretamente no meio ambiente, com uma aplicação considerável de recursos hídricos. “A utilização e consumo de água nas atividades de mineração acontecem desde a implantação até o fechamento do empreendimento, principalmente, quando se utiliza o processo de separação a úmido” (FREITAS, 2012, p.6).

Na geração de energia elétrica, a água proveniente dos cursos de água ou reservatórios é utilizada para movimentar as turbinas e transformar a energia potencial (energia da água) em energia mecânica (movimento das turbinas). A água é conduzida por meio de condutos forçados e sua energia é convertida em energia mecânica nas turbinas hidráulicas, que, conectadas a um

gerador, são responsáveis por transformar a energia mecânica em energia elétrica (FREITAS, 2012, p.28)

Portanto, o uso da água é expressivo, mesmo que os esforços para sua recirculação sejam máximos (FREITAS, 2012). O uso de energias renováveis se faz então necessário diante do cenário de desenvolvimento industrial mundial, configurando-se como uma forma de integrar os recursos hídricos.

Vidal (2017) ressalta também a importância de um prévio planejamento energético, visando a grande demanda dos setores industriais, como é o caso da mineração. A autora afirma que, no caso das indústrias, a tendência é que utilizem menos energia vinda da rede e mais gerada via autoprodução e/ou geração distribuída.

A mineração se destaca como uma das principais indústrias intensivas em energia, como mostrado na Tabela 1, que também demonstra a projeção de consumo das mesmas para 2020.

Tabela 1 – Consumo total de eletricidade (GWh) dos grandes consumidores industriais, por segmento.

Segmento	2015-2020		
	2015	2020	(% ao ano)
Alumínio	11.744	15.697	6,0
Alumina	3.119	3.864	4,4
Bauxita	476	558	3,2
Siderurgia (aço bruto)	17.050	17.857	0,9
Pelotização	3.725	4.445	3,6
Ferroligas	6.613	7.750	3,2
Cobre	644	625	-0,6
Soda-Cloro	3.740	4.191	2,3
Petroquímica (eteno)	5.264	6.157	3,2
Celulose	16.265	23.244	7,4
Pasta Mecânica	1.130	1.108	-0,4
Papel	8.189	9.466	2,9
Cimento	7.012	7.390	1,1
Total	84.971	102.353	3,8

(1) Inclui autoprodução.

* Estimativa preliminar para 2015.

Fonte: EPE 2015.

A EPE (2015) confere importância a perspectiva do uso da energia solar e aponta alguns fatores que incentivam a instalação de cada vez mais plantas voltaicas:

1. A modificação da REN nº 482/2012, que basicamente ampliou as possibilidades de negócios em GD, permitindo a adoção por uma parcela maior da população.

2. As isenções tributárias, de PIS/COFINS e ICMS, sobre a energia compensada pela unidade consumidora, o que aumenta a viabilidade financeira do investimento.

3. Em 2015, o reajuste acima da inflação das tarifas de eletricidade contribuiu para a redução do período de retorno do investimento. Quanto a isso, é preciso apontar também a valorização do dólar ocorrida nesse mesmo ano, o que encareceu o preço dos equipamentos finais e acabou reduzindo o efeito provocado pelo aumento das tarifas (VIDAL, 2017, p. 46)

A EPE (2015) projeta que, em 2020, a geração distribuída de energia solar fotovoltaica alcançará 1200 GWm em capacidade instalada, apresentando crescimento significativo no próximo ano. (Figura 6).

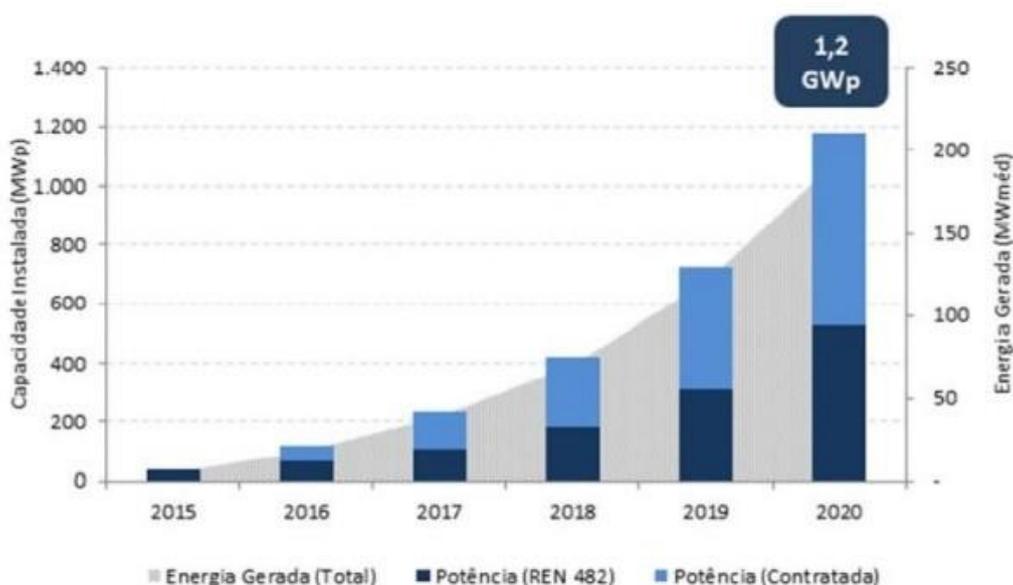


Figura 6 – Capacidade instalada e geração fotovoltaica distribuída. Fonte: EPE 2015.

Para Vidal (2017), tal projeção é esperada, levando-se em conta a recente adesão de indústrias na geração distribuída de energia solar, implicando em um considerável aumento de potência/capacidade instalada a cada nova planta.

3.4 Correias transportadoras e a utilização de energia solar

A utilização de correias transportadoras para realizar transporte de minério é uma prática que vem ganhando espaço na mineração. Esse sistema possui diversas vantagens, desde o baixo custo operacional até a alta confiabilidade do sistema, levando em consideração indicadores como disponibilidade física, eficiência operacional e taxa de utilização (ALMEIDA; NEVES; FIGUEIREDO, 2018).

“O sistema de correias transportadoras também representa uma alternativa ambientalmente mais adequada, pois não emite gases poluentes, uma vez que utiliza energia elétrica e não combustíveis fósseis como é o caso da maioria dos caminhões” (ALMEIDA; NEVES; FIGUEIREDO, 2018, p.4). O uso de sistemas fotovoltaicos, portanto, apresenta-se como uma alternativa viável na substituição de recursos hídricos para a produção de energia elétrica, tornando assim o processo mais sustentável e rentável.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição do projeto estudado

Este estudo foi realizado acerca de um projeto com implementação planejada para o ano de 2024, com intuito de elevar a produção e aumentar a planta de uma mina de bauxita, localizada no estado do Pará. A análise da viabilidade da implantação das placas fotovoltaicas neste projeto se consiste na premissa de que um maior investimento inicial pode gerar uma mitigação de impactos ambientais que são causados pela atividade minerária, além de uma possível economia financeira em relação aos gastos com produção de energia.

4.2 Descrição do local de estudo e posicionamento das placas fotovoltaicas

O local de estudo foi a cidade no estado do Pará onde a mina está localizada, no qual o clima é considerado propício para o uso de energia solar. Para se obter uma maior precisão na captação da radiação solar pelas placas fotovoltaicas nesta região, é preciso saber a latitude e longitude do município para que se possa utilizar o *software SunData*, oferecido pelo CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

Depois do fornecimento dos dados ao *software* foi possível analisar a irradiação solar diária média durante os meses do ano na cidade estudada, como mostra a figura 7.

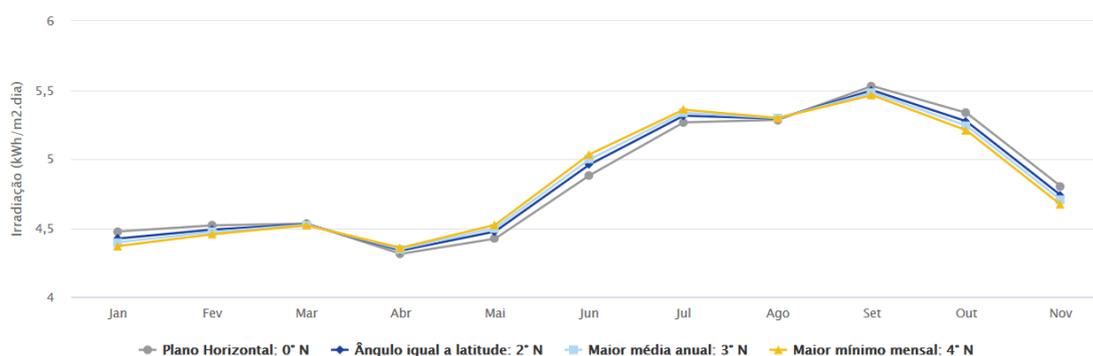


Figura 7 – Irradiação solar no plano horizontal, ângulo igual a latitude, maior média anual e maior mínimo mensal

Fonte – Fonte: SunData – CRESESB, 2014

Além do gráfico com a irradiação solar média, o *software* também disponibiliza o cálculo no plano inclinado, que sugere o ângulo ideal de instalação das placas fotovoltaicas como sendo de 3°N, o de maior média anual como explicitado na figura 8.

Tabela 2 - Calculo no Plano Inclinado

Fonte - SunData – CRESESB, 2014

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,47	4,52	4,53	4,31	4,42	4,88	4,83	5,27	5,28	5,53	5,33	4,80	4,85	1,22
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	2° N	4,42	4,49	4,53	4,34	4,47	4,96	4,90	5,31	5,29	5,50	5,27	4,74	4,85	1,16
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	3° N	4,40	4,47	4,52	4,35	4,50	5,00	4,93	5,34	5,30	5,48	5,24	4,70	4,85	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	4° N	4,37	4,45	4,52	4,36	4,52	5,03	4,96	5,36	5,30	5,46	5,21	4,67	4,85	1,11

4.3 Dados levantados acerca do projeto

De acordo com os dados obtidos pelo projeto da empresa em questão, a correia transportadora projetada tem um comprimento de 10,2 quilômetros além de um raio de curva de 9 quilômetros mostrada na figura 8.



Figura 8 - Traçado da rota da Correia Transportadora projetada

Outros dados importantes fornecidos pela empresa sobre a correia transportadora são, além do comprimento, a largura, a potência dos motores, a porcentagem da curvatura horizontal, a velocidade, as horas de operação anuais e as horas de paradas programadas anuais, como descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Informações sobre a correia transportadora

Comprimento (km)	10.2
Largura (m)	2.0
Potência dos motores da cabeça (kw)	4x355
Potência do motor da calda (kw)	1x355
Curvatura Horizontal (%)	81.0
Velocidade (m/s)	6.0
Horas de Operação Anuais (h)	7600
Horas de Paradas Programadas (h)	1200

Tais informações coletadas são importantes para a continuidade do estudo, pois através delas é possível medir parâmetros como a área de cobertura da correia transportadora, consumo de energia dentre outras.

Na figura 9, encontra-se uma seção transversal que esquematiza as dimensões da correia transportadora, bem como a sua distância até a vegetação.

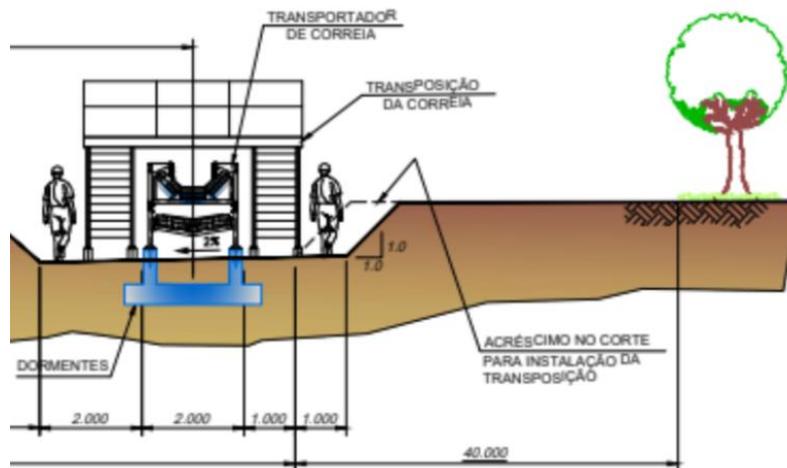


Figura 9 - Seção transversal da correia transportadora

A vegetação ficará a uma distância de 40 metros da correia transportadora. Isso faz com que não haja nenhum perigo de queda de alguma árvore na região. Além disso, é importante que se estabeleça uma distância razoável entre a vegetação e o transporte pois as placas serão instaladas na cobertura da correia transportadora, e essa distância garante que nenhuma sombra de vegetação se incida sobre as placas, o que poderia atrapalhar o aproveitamento completo da radiação solar.

De acordo com os dados obtidos é possível calcular a extensão da área de cobertura da correia transportadora, local que irá abrigar o projeto estudado. Essas informações serão essenciais para dimensionar a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para atender a demanda de uma parte da energia utilizada na mina.

Tabela 4 – Dados da cobertura da correia transportadora para o dimensionamento da instalação dos painéis fotovoltaicos

Comprimento da correia transportadora (m)	Largura da correia transportadora (m)	Área de cobertura total (m ²)
10.200	2.0	20.400

Outros dados importantes para a análise econômica e ambiental do projeto são a forma de geração de energia utilizada na mina e os gastos da mesma. A demanda de consumo energético da mina é muito grande, sendo que a média mensal de consumo dos últimos 7 meses foi de aproximadamente 3500.000 KWh. Também foi analisada a geração dessa energia que é feita através de geradores movidos a diesel, por causa da dificuldade de acesso de energia elétrica até o local. Desta forma, tudo que é gasto com energia na mina, é gerado pelos geradores.

Sendo assim, esse estudo considerou o uso da geração de energia solar online, o que quer dizer que toda energia gerada através das placas fotovoltaicas será aproveitada no mesmo instante, sendo jogada na rede. Assim sendo, com a aplicação desse projeto seria possível abater apenas parte da energia utilizada durante o período das 9 horas da manhã até as 16 horas da tarde (período de maior incidência solar durante o dia). Não seria possível o abatimento de toda a energia utilizada durante esse período de sol, pois a incidência solar nos painéis fotovoltaicos não é constante, visto que pode aparecer alguma nuvem ou ocorrer uma mudança climática, o que atrapalharia a captação da radiação solar.

Logo os geradores teriam que se manter funcionando, mesmo que parcialmente, para que nunca ocorra uma queda brusca na geração de energia. A utilização da geração de energia solar online simplifica a avaliação de expansão de potencial desse estudo, sendo possível a utilização de um sistema de controle mais moderno, aumentando sua eficiência, ou até mesmo a utilização de baterias na construção de um projeto mais aprofundado ainda, pensando em uma maneira de utilizar energia em momentos de escassez de radiação solar ou até no período da noite.

5 RESULTADOS

5.1 Análise econômica

Com o intuito de calcular a viabilidade econômica do projeto, foi avaliada a utilização de apenas uma parte da cobertura da correia transportadora para instalação dos painéis fotovoltaicos, que seria suficiente para suprir uma parte da energia gerada durante o período de luz solar. Além disso, foi estabelecido uma média aproximada do valor gasto pela empresa com a produção de energia nos últimos 7 meses como sendo da ordem de R\$ 0,24 por KW/h. O projeto de instalação dos painéis fotovoltaicos e a cotação dos equipamentos foram feitos em conjunto com a empresa Expande Energia. As placas fotovoltaicas tem uma dimensão de 2 metros de largura por 1 metro de comprimento. Sua potência é de 340W, além de ser produzida com material de silício policristalino e dispor de uma vida útil de 25 anos.

Com objetivo de substituir aproximadamente 20% da energia gerada pelos geradores a diesel durante o período de 9:00 da manhã as 16:00 da tarde, será necessário a produção de 153.575,41 kWh por mês pelas placas fotovoltaicas. Desta forma, serão instalados 3950 módulos fotovoltaicos, ocupando assim uma área de 7900 m² da área total da cobertura da correia transportadora, equivalente a 38,72% da mesma. Com a compra e instalação dos equipamentos, o investimento necessário referente ao sistema proposto é de R\$ 3.329.131,11 equivalente ao valor total da proposta, como descrito na tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros da Análise do projeto

Parâmetros da Análise		
Histórico de consumo	42.000.000,00	kWh/ano
Histórico de consumo	3.500.000,00	kWh/mês
Geração Anual de Energia(estimada)	1.842.904,89	kWh/ano
Geração Mensal de Energia(estimada)	153.575,41	kWh/mês
Irradiação total	1.737,00	kWh/m ² .ano
Relação - Geração / Consumo	4,39	%
Potência	1.343,00	kWp
Quantidade de Módulos	3950	
Área Ocupada pelos Módulos	7900	m ²
Peso de cada Módulo	22,4	kg

Em decorrência da análise econômica do projeto considera-se que a diferença de preço do custo de energia do projeto proposto - R\$ 0,1065 por KW/h – com o preço gasto pela empresa para a geração de energia através dos geradores a diesel - R\$ 0,2489 por KW/h – produziria uma economia de R\$ 0,1425 por KW/h, correspondente a 57,22% por KW/h. Por conseguinte, haveria a amortização total do investimento inicial feito pela empresa em 6 anos e 2 meses. A tabela 6 concentra todos esses resultados.

Tabela 6 – Informações de comparação de custos e tempo de retorno do investimento

Payback	6 anos e 2 meses	
Custo Nivelado	0,1065	R\$/kWh
Custo atual da tarifa da rede	0,2489	R\$/kWh
Diferença entre tarifa solar e tarifa de rede.	57,22%	
Valor absoluto da diferença entre a Tarifa Solar e a Tarifa da Rede	0,1425	R\$/kWh

Considerando uma troca de inversores dentro de 25 anos e contando com um fluxo de caixa acumulado, os próximos anos gerariam um ótimo resultado a empresa da ordem de R\$ 29.664.506,38 como detalhado ano após ano na figura 10.

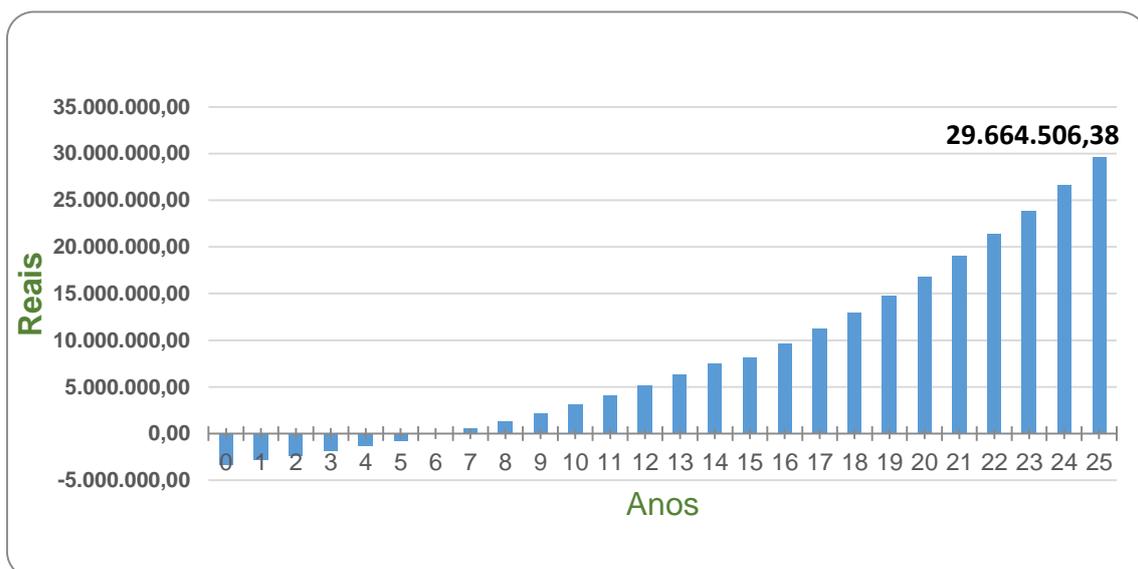


Figura 10 - Fluxo de Caixa Acumulado (Considerando troca de inversores dentro dos 25 anos)

Portanto, esses dados afirmam a viabilidade econômica do projeto através da substituição da fonte geradora de energia. Na tabela 7 temos a análise do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR).

Tabela 7 – Análise VPL e TIR

Anos	VPL	TIR
25	R\$ 29.664.506,38	20,40%
20	R\$ 16.827.146,85	19,47%
15	R\$ 8.213.560,62	17,36%
10	R\$ 3.108.403,93	12,31%
05	-R\$ 749.713,38	-7,59%

Ademais, também foi previsto um custo de 1% do investimento inicial feito referente aos custos de operação e manutenção, por ano, com valor já incluído na tarifa prevista do custo nivelado.

5.2 Análise Ambiental

A análise ambiental nesse estudo é tão importante quanto a análise econômica, visto que a atividade minerária pode causar grandes impactos ambientais, principalmente se não forem gerenciadas adequadamente.

Assim sendo, após a aplicação desse projeto, as taxas de emissão de Gases de Efeito Estufa irão reduzir drasticamente, de modo que a empresa deixará de utilizar 20% a menos da energia produzida pelos geradores a diesel durante o período de 9 horas da manhã as 16 horas da tarde, que é equivalente a aproximadamente 511 horas a menos de utilização dos geradores por ano. Em um total de 25 anos, serão em um valor aproximado de 12.775 horas a menos de utilização dos geradores a diesel. Considerando que motores a diesel são extremamente poluentes, isso expressa uma significativa melhora na prevenção ambiental, pois equivale a milhões de toneladas de CO₂ que irão deixar de ser emitidas para nossa atmosfera.

6 CONCLUSÃO

No setor da mineração o alto consumo de energia sempre foi um fator preocupante para as mineradoras, pelo elevado custo e difícil operação. Além disto, outro fator complicado nesse setor são os impactos ambientais gerados, seja com a geração de resíduos ou Gases de Efeito Estufa. Nesse sentido, o projeto de implementação de fontes alternativas, proposto pela empresa busca um caminho alternativo e sustentável para o consumo de energia, e este estudo apresenta resultados que demonstraram ser uma alternativa viável economicamente, pelo baixo período de retorno do investimento, além de uma economia de R\$ R\$ 29.664.506,38 ao longo dos 25 anos. Sobre a perspectiva ambiental, os ganhos são ainda maiores, com uma diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa da ordem de milhões de toneladas de CO₂ por ano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, J.B; LEÃO, R.P.S.; SAMPAIO, R.F.; BARROSO, G.C. **A centralized and heuristic approach for energy management of an AC microgrid**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 60, p. 1396–1404, 2016. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002379>> Acesso em 06 de jul. 2019

ALMEIDA, Caio Melo; NEVES, Thaís de Castro; FIGUEIREDO, Alexandre Camilo Leles de. **Estudo de viabilidade econômica do uso de correias transportadoras nas operações de lavra de uma mina de minério de ferro**. In: 19º Simpósio de *Mineração*, parte integrante da ABM Week. 2018. Disponível em <<https://abmproceedings.com.br/en/article/download-pdf/estudo-de-viabilidade-economica-do-uso-de-correias-transportadoras-nas-operacoes-de-lavra-de-uma-mina-de-minerio-de-ferro>> Acesso em 06 de jul. 2019

ANEEL. **Energia Solar**. 2005. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em 06 de jul. 2019

ANGELIM, Jorge Henrique Costa. **Gerenciamento ótimo de um sistema de armazenamento de energia utilizando recozimento simulado**. Dissertação. 2018. 76f. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia. Belém, 2018. Disponível em <http://ppgee.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/DM%2001_2018%20Jorge%20Henrique%20Angelim.pdf> Acesso em 06 de jul. 2019

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA, **Inserção da Energia Solar no Brasil – Relatório Final**. São Paulo, SP, Relatório Técnico Maio. 2012.

BANDEIRA, Fausto de Paula. **O aproveitamento da energia solar no Brasil – situação e perspectivas**. Brasília. Câmara dos Deputados. 2012. Disponível em <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/9008/aproveitamento_energia_bandeira.pdf?sequence=3> Acesso em 06 de jul. 2019

BEZERRA, Francisco Diniz; SANTOS, Lucas Sousa dos. **Energia Solar no Nordeste**. In: Caderno Setorial ETENE, ano 1, n.1, 2016. Disponível em

<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1095131/4_Solar.pdf/c5a490d5-84a5-47a4-9e89-bbeb907d9c9c> Acesso em 06 de jul. 2019

CARVALHO, P.S. L. *et. al.* **Sustentabilidade Socioambiental da Mineração**. In: BNDS Setorial, v.47. 2018. p. 333-390. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15361/1/BS47_Minerao_FECHADO.pdf> Acesso em 23 de jul. 2019

CHINAGLIA, Arlindo. **A indústria da mineração e o crescimento do Brasil**. IBRAM, Brasília, 2007. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00000439.pdf>> Acesso em 06 de jul. 2019

CRESEB. **Centro de Referências para as Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. c2018. Potencial Solar – SunData, v.3. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>> Acesso 23 de jul. 2019

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2019**. c2019. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>> Acesso em 23 de jul. 2019

FERREIRA, Wemerson Rocha. **Estudo de viabilidade técnica de implantação de usina solar fotovoltaica piloto para os potenciais municípios mineiros**. Feam, 2016. Disponível em <http://www.feam.br/images/stories/2017/PESQUISA_DESENVOLVIMENTO/An%C3%A1lise_de_pr%C3%A9-viabilidade_t%C3%A9cnica_econ%C3%B4mica_e_ambiental_da_implanta%C3%A7%C3%A3o_de_uma_usina_solar_fotovoltaica_em_cons%C3%B3rcio_com_a_reabilita%C3%A7%C3%A3o_de_%C3%A1reas_degradadas_Relat%C3%B3rio_2_FEAM-DIGA.pdf> Acesso 23 de jul. 2019

FREITAS, Sergio Pinheiro de. **O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: estudo de caso da PCH Bicas**. Dissertação. 2012. 113f. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Geras. UFMG, 2012. Disponível em <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1011M.PDF>> Acesso em 06 de jul. 2019

IBRAM. **Economia Mineral no Brasil**. Março, 2018. Disponível em <<https://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2018/02/economia-mineral-brasil-mar2018-1.pdf?x73853>> Acesso em 06 de jul. 2019

IBRAM. **Relatório Anual de Atividades – Julho 2017 a Junho 2018**. 2018. Disponível em <http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf> Acesso em 23 de jul. 2019

ICMM. Internacional Council on Mining & Metals. **Role of mining in national economies**. ed.3. 2014. Disponível em <https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/social-and-economic-development/161026_icmm_romine_3rd-edition.pdf> Acesso em 23 de jul. 2019

MESSENGER, Roger A.; VENTRE, Jerry. **Photovoltaic Systems Engineering**. 2nd. ed. [s.l.] CRC Press, 2003. Disponível em < https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1516/pluginfile.php/2697/mod_folder/content/0/7_-_remote_applications/messenger_2003_-_photovoltaic_systems_engineering.pdf?forcedownload=1> Acesso 23 de jul. 2019

MORAIS, Luciano Cardoso de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade do Estado de São Paulo, Bauru, 2015. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/132645/000852309.pdf?sequence=1>> acesso em 06 de jul. 2019

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: viabilidade econômica**. 2015. Disponível em < <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>> Acesso 23 de jul. 2019

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. In: Consultoria Legislativa; Estudo Técnico, Março, 2017. Disponível em <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf?sequence=1> Acesso em 06 de jul. 2019

PINHO, João Tavares; FILHO, Geraldo Lúcio Thiago; RENDEIRO, Gonçalo; NOGUEIRA, Manuel; GONZALEZ. **Sistemas Híbridos - Soluções Energéticas para a**

Amazônia. 1 a ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. Disponível em <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Sintese.pdf> acesso em 06 de jul. 2019

PINHO, João Taveres; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia pra Sistemas Fotovoltaicos.** 1a Edição ed. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf> acesso em 06 de jul. 2019

REIS, Vagner Vieira; VALVERDE, Anderson Rocha; MENDONÇA, Ricardo Rodrigues de. **Viabilidade econômica de um projeto de micro geração fotovoltaica residencial no ambiente de compensação de energia elétrica.** 2015. Disponível em <http://www.convibra.com.br/upload/paper/2015/33/2015_33_11743.pdf> Acesso em 06 de jul. 2019

SILVA, Rutelly Marques. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios.** Texto para discussão n° 166. Brasília. Senado Federal, 2015. Disponível em <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>> Acesso em 06 de jul. 2019

TOMASELLA J, ROSSATO, L; **Balanco de energia** [internet], INPE, São José dos Campos, 2005 [acesso em 2017 out 21] Disponível em <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/11.08.11.40/doc/01_Balan%20de%20energia.pdf?metadataarepository=sid.inpe.br/iris@1915/2005/11.08.11.40.08&mirror=cptec.inpe.br/walmeida/2003/04.25.17.13> Acesso em 06 de jul. 2019

VIDAL, Adriana Lopes. **Energia solar no Brasil: geração distribuída nos setores comercial e industrial.** 2017.57f. (Monografia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/4710/1/Monografia%202017.1%20-%20Adriana%20Lopes%20Vidal.pdf>> Acesso em 06 de jul. 2019

VITTI, Diego Christofolletti; ALVARES, Leandro Miranda. **Avaliação da eficiência dos sistemas fotovoltaicos.** Monografia. 2016. 111f. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica. 2006. Disponível em

<http://bdm.unb.br/bitstream/10483/903/1/2006_DiegoVittiLeandroAlvares.pdf>

Acesso em 06 de jul. 2019