



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



MÁRCIO VINÍCIUS DA COSTA

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE  
USINA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE  
REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO:  
ESTUDO DE CASO APLICADO À UMA PEDREIRA.

OURO PRETO – MG  
2022

Márcio Vinícius da Costa

ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE USINA SOLAR  
FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE REABILITAÇÃO DE  
ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO:  
ESTUDO DE CASO APLICADO À UMA PEDREIRA.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Ouro Preto – MG  
Janeiro, 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C837a Costa, Márcio Vinícius.

Análise da viabilidade econômica da implantação de usina solar fotovoltaica como alternativa de reabilitação de áreas degradadas pela mineração [manuscrito]: estudo de caso aplicado à uma pedreira. / Márcio Vinícius Costa. - 2022.

63 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Energia elétrica. 2. Sustentabilidade. 3. Energia renovável. 4. Energia fotovoltaica. I. Miranda, José Fernando. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621



**ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE FINAL DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

Aos onze dias do mês de janeiro de dois mil e vinte e dois, às nove horas, foi realizada a defesa da monografia de final de curso, requisito da disciplina AMB-108 - Trabalho de Graduação II, via plataforma virtual Google Meet, motivado pelo afastamento social, orientado pelo Ministério da Saúde brasileiro, como consequência da COVID19, pelo aluno **MÁRCIO VINÍCIUS DA COSTA**, sendo a comissão avaliadora formada pelo Professor Dr. José Fernando Miranda, do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) (orientador), Professor Dr. Hernani Mota de Lima, e pelo Professor Dr. Daniel Silva Jaques, ambos do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da UFOP. Dando início aos trabalhos, o presidente, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de monografia, concedeu ao estudante Márcio Vinicius da Costa, 30 (trinta) minutos para apresentação do seu trabalho intitulado "*ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE USINA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO: ESTUDO DE CASO APLICADO À UMA PEDREIRA*". Terminada a exposição, o presidente da comissão avaliadora concedeu a cada membro um tempo de 30 (trinta) minutos para perguntas e respostas ao estudante sobre o conteúdo da monografia na seguinte ordem: primeiro o Professor Hernani Mota de Lima, depois Professor Daniel Silva Jaques e, por último, o Professor José Fernando Miranda. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou aos presentes que se retirassem da sala virtual para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. A comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela aprovação do candidato com a nota 9,5 (Nove vírgula cinco), concedendo-lhe o prazo de até 15 dias para incorporar no texto final as alterações determinadas/sugeridas pela banca. O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina AMB-108 (Trabalho de Graduação II) após a entrega da versão eletrônica definitiva da monografia defendida ao Sistema de Bibliotecas e Informação (SISBIN) da UFOP dentro do prazo estabelecido pela PROGRAD para informação da nota respectivo semestre. Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que é assinada pelo Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador em nome dos membros da comissão e do discente.

Ouro Preto, MG, 11 de janeiro de 2022.

**Prof. Dr. José Fernando Miranda**  
Departamento de Engenharia de Minas – UFOP  
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador  
(Participação por videoconferência)

**Prof. Dr. Daniel Silva Jaques**  
Departamento de Engenharia de Minas – UFOP  
(Participação por videoconferência)

Asturado de forma digital  
por: HERNANI MOTA DE LIMA  
LIMA-40880489668

**Prof. Dr. Hernani Mota de Lima**  
Departamento de Engenharia de Minas – UFOP  
Membro da Comissão Avaliadora (Participação por videoconferência)

**Márcio Vinicius da Costa**  
Aluno do curso de Engenharia Ambiental - UFOP  
(Participação por videoconferência)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Milton da Costa e Maria das Graças Costa, pela confiança e pelos ensinamentos.

Ao meu irmão, Milton José Costa, pelas dicas sobre assuntos profissionais.

A todos familiares que de certa forma me apoiaram.

À minha eterna casa, a República Poleiro dos Anjos, pelo apoio durante a graduação.

Ao Prof. Dr. José Fernando Miranda pelos esclarecimentos e orientações.

À Escola de Minas pelo ensino de excelente qualidade e gratuito.

Aos professores do DEAMB, do DEMIN e do DEGEO pelos conselhos e incentivos.

À Empresa que forneceu os dados para este estudo.

*“Há uma força motriz mais poderosa que  
o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a  
vontade”.*  
*Albert Einstein”*

## **Lista de siglas e abreviações**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ACL - Ambiente de Contratação Livre

ACR - Ambiente de Contratação Regulada

CBMM - Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAIA - Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental

DEPRN - Departamento de Proteção dos Recursos Naturais

DUSM - Departamento de Uso do Solo Metropolitano

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

EUA - Estados Unidos da América

HFP - Horas Fora de Ponta

HP - Horas de Ponta

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis

kW - Quilowatt

kWh - Quilowatt hora

kWp - Quilowatt pico

GW - Gigawatt

IEA - International Energy Agency

LCOE - Levelized Cost of Energy

MBR - Minerações Brasileiras Reunidas

MW - Megawatt

MWp - Megawatt pico

NBR - Norma Brasileira

ONU - Organização das Nações Unidas

PCA - Plano de Controle Ambiental

PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

RCA - Relatório de Controle Ambiental

REN - Resolução Normativa

RIMA - Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente

SMA - Secretaria do Meio Ambiente

SSFV - Sistema Solar Fotovoltaico

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

USFV - Usina Solar Fotovoltaica

VPL - Valor Presente Líquido

## Lista de figuras

Figura 1: Ilustração dos conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação. ....	5
Figura 2: Processos erosivos avançados.....	6
Figura 3: Evento de detonação na frente de lavra .....	7
Figura 4: Evidência de poluição do ar.....	7
Figura 5: Evidência de contaminação por metal pesado .....	8
Figura 6: Etapas e procedimentos básicos na recuperação de áreas degradadas por mineração. 16	
Figura 7: Sistema de Torre Solar.....	18
Figura 8: Sistema fotovoltaico residencial híbrido.....	19
Figura 9: Efeito fotovoltaico .....	20
Figura 10: Estrutura de bandas de energia .....	21
Figura 11: Sistema fotovoltaico on-grid.....	22
Figura 12: Diagrama esquemático de abastecimento de água via sistema fotovoltaico de bombeamento .....	22
Figura 13: Diagrama esquemático unifilar de sistema fotovoltaico residencial em corrente contínua .....	23
Figura 14: Diagrama de sistema fotovoltaico On-Grid .....	23
Figura 15: Sistema Híbrido Solar-Eólico .....	24
Figura 16: Fluxograma da metodologia adotada.....	27
Figura 17: Áreas da Empresa X .....	29
Figura 18: Área 1 da Empresa X.....	29
Figura 19: Área 2 da Empresa X.....	29
Figura 20: Mapa solarimétrico de radiação solar média diária anual.....	30
Figura 21: Fatura da CEMIG referente ao consumo de eletricidade da Empresa X parte 1 .....	31
Figura 22: Fatura da CEMIG referente ao consumo de eletricidade da Empresa X parte 2 .....	31
Figura 23: Fatura da CEMIG referente ao consumo de eletricidade da Empresa X parte 3 .....	32
Figura 24: Fatura da CEMIG referente ao consumo de eletricidade da Empresa X parte 4 .....	32
Figura 25: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), considerando uma taxa de 80% para geradores fotovoltaicos fixos e de distribuição da população brasil .....	33
Figura 26: Valores faturados em novembro de 2020 .....	37
Figura 27: Valor da fatura referente a novembro de 2020 .....	38
Figura 28: Fatura da CEMIG referente ao histórico anual de consumo da Empresa X .....	38

## Lista de tabelas

Tabela 1: Tabela para cálculo do consumo energético médio mensal .....	39
Tabela 2: Tabela para cálculo da potência necessária da USFV para suprir a demanda da Empresa X.....	40
Tabela 3: Tabela de preços comerciais praticados pelo fornecedor 1 .....	40
Tabela 4: Tabela de preços comerciais praticados pelo fornecedor 2 .....	40
Tabela 5: Tabela geral de comparação entre os dois principais fornecedores.....	42
Tabela 6: Dados do SSFV e do Investimento.....	42
Tabela 7: Projeção e análise do investimento .....	43

## **Lista de gráficos**

Gráfico 1: Gráfico de comparação entre o aumento da potência e seu respectivo aumento de preço ofertado pelo fornecedor 1 .....	41
Gráfico 2: Gráfico de comparação entre o aumento da potência e seu respectivo aumento de preço ofertado pelo fornecedor 2.....	41
Gráfico 3: Gráfico de comparação entre os dois principais fornecedores de tecnologia fotovoltaica.....	41

## **Resumo**

O setor mineral mundial vem enfrentando recentemente um cenário altamente competitivo e dentre os fatores que determinam o preço dos bens minerais destaca-se, principalmente no território nacional, a energia elétrica como sendo um de seus principais insumos. O alto custo desta energia, aliado às dificuldades de oferta para o mercado, acabam por dificultar uma possível expansão dos empreendimentos mineiros ou até mesmo uma redução dos custos operacionais de muitas empresas, principalmente daquelas voltadas para a produção de pedras britadas, operando com pequenas e médias produções, que têm de buscar formas de se tornarem competitivas, face a concorrência dessa atividade. Mesmo assim, as empresas que permanecem ativas, ao final de suas operações, têm de recuperar as áreas degradadas inerentes de suas atividades, atendendo aos respectivos planos de fechamento de mina aprovados pelos órgãos licenciadores. Como forma de aliar a recuperação de áreas degradadas pela mineração com a geração de energia renovável, este estudo busca avaliar a viabilidade econômica, técnica e ambiental de se implementar usinas de energia fotovoltaica, em sítios degradados pela atividade mineral, como forma de recuperação sustentável para estas áreas. Para isso tomou-se como exemplo um estudo de caso em uma pedreira detentora de duas áreas, sendo que uma delas possui um local degradado que foi motivo deste estudo. Primeiramente buscaram-se dados para representar o consumo de energia elétrica da empresa, logo em seguida, fez-se o dimensionamento da usina solar fotovoltaica que suprisse a demanda em questão. O próximo passo foi a pesquisa de fornecedores de tecnologia fotovoltaica, e por fim, o estudo de viabilidade do empreendimento, no qual percebe-se que os impactos econômicos, sociais e ambientais causados pela instalação do empreendimento fotovoltaico são atrativos para a mineradora.

**PALAVRAS CHAVE:** Setor mineral, energia elétrica, recuperação de áreas degradadas, energia renovável, energia fotovoltaica

## **Abstract**

The global mineral sector is now facing a highly competitive scenario and among the factors that determine the price of mineral goods, electricity is one of its main inputs, especially in the national territory. The high cost of this energy, together with the difficulties in supplying the market, end up hindering a possible expansion of mining projects or even a reduction in the operating costs of many companies, especially those focused on the production of crushed stones, operating with small and medium productions, which have to look for ways to become competitive, in the face of competition from this activity. Even so, companies that remain active, at the end of their operations, have to recover the degraded areas inherent to their activities, complying with the mine closure plans carried out by Organs licensing bodies. As a way to combine the recovery of areas degraded by mining with the generation of renewable energy, this study seeks to assess the technical, economic and environmental feasibility of implementing photovoltaic energy plants, in sites degraded by mineral activity, as a form of sustainable recovery for these areas. For this, a case study was taken as an example in a quarry that owns two areas, one of which has a degraded site, which was the reason for this study. Once we had the data that enabled an estimate of the power needs of the company we proceeded to assess the size of the solar power plant that would produce the demand. The following step was to survey the solar technology suppliers, and lastly, we conducted a feasibility study that revealed that the economic, social and environmental impacts such a power plant would have were quite appealing to the mining company.

**KEYWORDS:** Mineral sector, electricity, recovery of degraded areas, renewable energy, photovoltaic energy

## Sumário

1 – Introdução	1
2 – Objetivos	2
2.1 – Objetivo Geral	2
2.2 – Objetivos Específicos	2
3 – Justificativas e Relevância do Projeto	3
4 – Discorrendo sobre a Mineração	4
4.1 – A importância da Mineração para a humanidade	4
4.2 – Conceitos essenciais	4
4.2.1 – Degradação	4
4.2.2 – Restauração	5
4.2.3 – Recuperação	5
4.2.3 – Reabilitação	5
4.3 – Impactos ambientais causados pela mineração	6
4.4 – Recuperação de áreas degradadas pela mineração	8
4.4.1 – Avaliação de áreas degradadas	8
4.4.2 – Planejamento da recuperação	9
4.4.3 – Métodos e técnicas de recuperação de áreas degradadas	10
4.4.3.1 – Remediação	10
4.4.3.2 – Geotecnologia	10
4.4.3.3 – Revegetação	11
4.4.4 – Monitoramento e manutenção de áreas degradadas	11
4.5 – Usos pós-mineração	12
4.6 – Custos para recuperar uma área degradada por mineração	12
4.7 – Instrumentos institucionais	13
4.7.1 – Panorama internacional	13
4.7.2 – Como ocorre no Brasil	14
4.7.2.1 – Participação da Comunidade	15
4.7.3 – Fluxograma autoexplicativo com etapas e procedimentos	15
5.0 - Energia Fotovoltaica	18
5.1 - Energia Solar	18
5.2 - Energia Solar Fotovoltaica	19
5.2.1 - Efeito fotovoltaico	19
5.2.2 - Elementos condutores	20

5.2.3 - Sistemas fotovoltaicos	21
5.2.3.1 - Sistemas fotovoltaicos <i>off-grid</i>	22
5.2.3.2 - Sistemas fotovoltaicos <i>On-Grid</i>	23
5.2.3.3 - Sistemas fotovoltaicos híbridos	24
5.3 - A energia solar fotovoltaica no mundo	24
5.4 - A energia solar fotovoltaica no Brasil	25
5.4.1 - O autoprodutor de energia solar fotovoltaica no Brasil	25
5.4.2 - Geração de energia distribuída no Brasil	25
5.5 - Metodologia geral para dimensionamento de sistema fotovoltaico-	26
6 - Metodologia	27
6.1 - Ramo de atuação da Empresa X	27
6.2 - Localização e características da área do estudo	28
6.3 - Consumo de energia elétrica da Empresa X	30
6.4 - Dimensionamento da Usina Solar Fotovoltaica	32
6.5 - Pesquisa de Mercado	34
6.6 - Estudo de Viabilidade	34
6.6.1 - Custo de Energia Nivelada	34
6.6.2 - Valor Presente Líquido (VPL)	35
6.6.3 - Taxa Interna de Retorno (TIR)	36
6.6.4 - <i>Payback</i>	36
6.7 - Prováveis resultados de ordem não financeira	37
7 - Resultados	37
7.1 - Consumo energético	37
7.2 - Dimensionamento de Usina Solar Fotovoltaica	39
7.2.1 - Potência Instalada de USFV	39
7.2.2 - Empreendimento de USFV para suprir o consumo	39
7.3 - Pesquisa de fornecedores de tecnologia fotovoltaica	40
7.4 - Análise de viabilidade	42
7.5 - Benefícios de ordem não financeira	43
7.5.1 - Resultados de ordem ambiental	43
7.5.2 - Resultados de ordem social	44
7.5.3 - Resultados de ordem comercial	44
8 - Conclusão	45
REFERÊNCIAS	46

## **1 – Introdução**

O crescente aumento da demanda por energia elétrica, associado à preocupação com a disponibilidade dos recursos energéticos para as futuras gerações, tem exigido a ampliação na capacidade de geração e melhoria na eficiência energética.

O planeta Terra oferece abundância em recursos provenientes da água, dos minerais e do solo além de receber irradiação solar. As principais fontes de geração de energia atualmente são: petróleo, gás natural, carvão mineral, hidrelétrica, nuclear, biomassa, eólica, solar, maremotriz, dentre outras. No entanto, as fontes renováveis de energia tornaram-se a palavra de ordem em uma era onde as mudanças climáticas estão na pauta das discussões mundiais sobre os rumos do desenvolvimento econômico, social e ambiental.

Ao longo dos últimos anos, especialistas do setor energético nacional vêm trabalhando com o objetivo de descobrir novas fontes para a produção de energia elétrica. Uma alternativa, para a geração de energia elétrica limpa, consiste no aproveitamento do potencial energético solar brasileiro, que segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), representa cerca de 1,4% da matriz energética brasileira e, de acordo com a mesma fonte, possui um grande potencial de crescimento, principalmente no setor residencial.

## **2 – Objetivos**

### **2.1 – Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo principal, analisar a viabilidade da implantação de usina solar fotovoltaica como alternativa de reabilitação de áreas degradadas pela mineração.

### **2.2 – Objetivos Específicos**

- Apresentar uma revisão bibliográfica envolvendo recuperação de áreas degradadas pela mineração;
- Apresentar uma revisão bibliográfica sobre energia solar fotovoltaica no cenário nacional;
- Estimar o consumo médio de energia elétrica de uma pedreira localizada em Ouro Preto – MG;
- Dimensionar uma usina solar fotovoltaica que atenda a demanda de energia elétrica da pedreira;
- Realizar análise de viabilidade da instalação da usina solar fotovoltaica para suprir 100% da demanda de energia elétrica da pedreira em questão.

### **3 – Justificativas e Relevância do Projeto**

A crescente preocupação com o meio ambiente e a busca por fontes limpas e renováveis de produção de energia elétrica são de fundamental importância como meio de economizar o uso dos recursos não renováveis como, por exemplo, o petróleo, o carvão e o gás natural, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Somado a isso, tem-se o fato de que a demanda populacional por energia elétrica está aumentando consideravelmente, o que implica diretamente na necessidade de ampliação da capacidade de geração e na melhoria da eficiência energética.

O Brasil tem um dos maiores índices de radiação solar do planeta, visto que a maior parte do território nacional está localizada próximo à linha do Equador. Sendo assim, a abundância de irradiação solar no território brasileiro faz esta alternativa energética ganhar notoriedade.

Este tipo de energia reduz a necessidade de utilização de linhas de transmissão de redes elétricas tradicionais, não esgota os recursos naturais, não emite gases tóxicos para atmosfera, e sua utilização visa a aumentar a independência energética e diversificar o abastecimento energético regional.

Além disso, a estruturação de uma usina solar requer pouco espaço e, assim se apresenta como alternativa de remediação de áreas degradadas, principalmente aquelas decorrentes de atividades minerárias próximas a áreas urbanizadas.

## **4 – Discorrendo sobre a Mineração**

### **4.1 – A importância da Mineração para a humanidade**

A mineração é considerada uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de vários países, pelo fato da infinidade de materiais obtidos por meio da transformação de minérios que são amplamente utilizados na vida moderna como, por exemplo: aço, carvão, vidro, cobre, fertilizante, areia, cimento, brita, etc. Praticamente todos os bens utilizados pelos seres humanos, no dia a dia, são oriundos da mineração, desde os metais presentes em equipamentos eletrônicos até a edificação de grandes construções.

Assim como a mineração, a energia elétrica é fundamental para a sobrevivência da humanidade. É uma energia que chega a hospitais, empresas, ruas, residências e demais locais que necessitam de sua utilização, por meio de linhas de transmissão ligadas a subestações e usinas energéticas, que por sua vez, contêm equipamentos que processam diversas fontes energéticas, como: energia solar, hidráulica, eólica ou nuclear, para transformá-las em energia elétrica. Estas unidades transformadoras de energia possuem equipamentos e/ou matéria prima, oriundos direta ou indiretamente da atividade de mineração, para transmutar o seu tipo específico de energia em energia elétrica.

Por fim e não menos importante, até mesmo os alimentos consumidos pela humanidade, são produzidos em massa, com o uso de implementos (tratores e ferramentas) e de insumos, tais como os fertilizantes contendo minerais que são subprodutos da mineração como, por exemplo, o fosfato, o enxofre, o cádmio e o fósforo.

### **4.2 – Conceitos essenciais**

Para a classificação e análise dos impactos ambientais causados pela mineração faz-se necessária uma reflexão inicial sobre alguns conceitos.

#### **4.2.1– Degradação**

De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (Lei 6938/81), a degradação ambiental é toda a alteração adversa às características do meio ambiente que ocorre, principalmente, devido a ações antrópicas. Sendo assim, está diretamente ligada a ideia de perda de qualidade ambiental que gera prejuízos à biosfera, ao bem estar das populações, à saúde, à segurança, às condições sanitárias do meio e às atividades sociais e econômicas. Em suma, pode-se considerar que a degradação ambiental se refere a qualquer impacto ambiental negativo causado por uma determinada ação (BRASIL, 1981).

## 4.2.2 – Restauração

A restauração consiste no retorno de um ecossistema ou população silvestre, apresentando no final, para a área impactada, características mais próximas possíveis das originais, conforme a lei N°9985 de 18/07/2000, Art.2° (BRASIL, 2000). Tal objetivo é muito complexo de se alcançar e, na maioria das vezes, é tratado como praticamente inatingível.

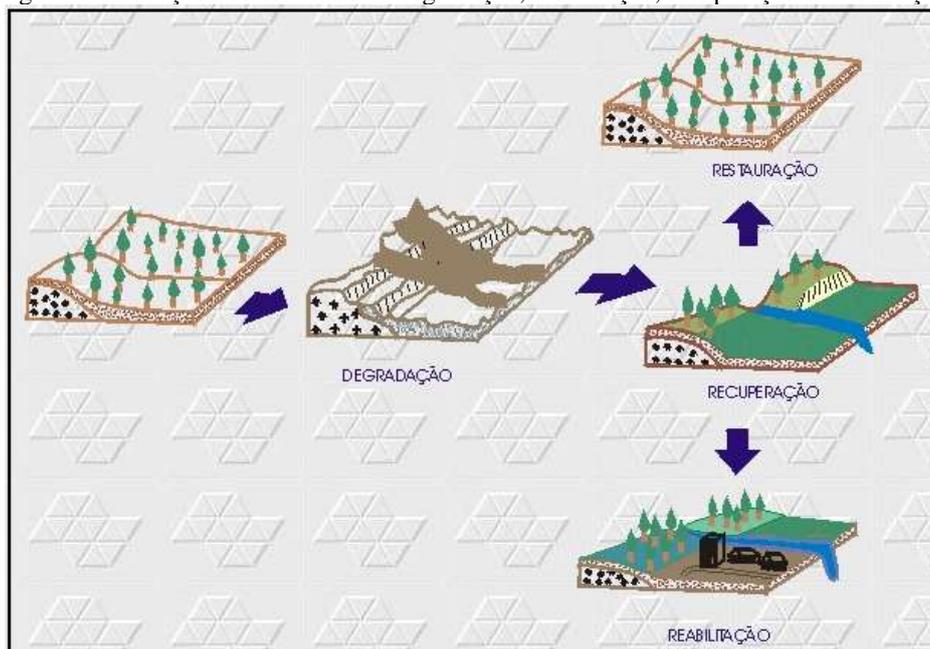
## 4.2.3 – Recuperação

Este conceito remete à ideia de que o local alterado deverá ter qualidades que se aproximem das condições originais, a fim de devolver o equilíbrio dos processos ambientais. É importante frisar que a recuperação de áreas degradadas pela mineração é um processo contínuo. Muitas vezes realizado concomitante com as operações de lavra, visando reduzir/diluir o aporte financeiro desta etapa de remediação ambiental, uma vez que se for realizada ao final das operações de extração mineral, pode elevar os custos da recuperação (BITAR, 1997).

## 4.2.3 – Reabilitação

Significa retornar a área degradada a um estado físico, ambiental e biológico apropriado de remediação, que pode ser completamente diferente do original. Trata-se de um recurso utilizado quando a melhor, ou talvez a única solução viável para a área, for o desenvolvimento de uma atividade alternativa no local, que seja adequada ao uso humano ao invés de reconstituir a vegetação original (MAJER,1989). Alguns exemplos de reabilitação ambiental de área minerada, onde a finalidade foi recreativa são: o lago do parque Ibirapuera em São Paulo, instalado em uma cava de extração de areia desativada e o Centro Educacional e Recreativo do Butantã, construído na área de uma antiga pedreira. Estes conceitos são ilustrados de forma sintética na figura 1.

Figura 1: Ilustração dos conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação.



Fonte: Bitar e Braga, 1995

### 4.3 – Impactos ambientais causados pela mineração

De acordo com a resolução CONAMA 001 (BRASIL, 1986), impacto ambiental é: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - As atividades sociais e econômicas;
- III - A biota;
- IV - As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - A qualidade dos recursos ambientais”

Por se tratar de uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, na exploração, na extração e no beneficiamento de recursos naturais não renováveis presentes em depósitos minerais, a mineração, causa impactos ambientais de alto grau, como por exemplo, poluição do ar, da água, do solo e subsidência de terrenos (Farias, 2002, p. 13). Isso afeta direta e indiretamente a população, a fauna e a flora local já existente.

Durante muitas décadas, a exploração mineral ocorreu de forma não legalizada, assim, seus impactos ambientais só eram conhecidos por meio da degradação da paisagem (Figura 2) em locais onde se realizavam as lavras.

Figura 2: Processos erosivos avançados



Fonte:<http://dererumundi.blogspot.com.br>

A atividade de extração mineral gera perdas significativas na fertilidade natural do solo, além de provocar interferências nos recursos hídricos e na biodiversidade (PATRICIO, 2009). Tais perdas estão associadas a diversas etapas da exploração mineral, como a lavra (Figura 3), o transporte de material para usina, o beneficiamento e a disposição de rejeitos.

A utilização de explosivos, para realizar o desmonte de material consolidado, além de provocar ruídos e vibrações, que podem colocar em risco construções e moradias existentes próximas ao empreendimento mineiro

Figura 3: Evento de detonação na frente de lavra



Fonte: <http://tecnicoemmineracao.com.br>

Outro transtorno pelo qual, as comunidades situadas próximas às atividades minerárias convivem é a poluição do ar por meio de emissão de gases tóxicos ou poeira. Esta pode ter origem tanto na perfuração de rochas na lavra, quanto nas etapas de beneficiamento (Figura 4) ou no transporte de minério. Por apresentar uma fração muito fina, a poeira fica várias horas em suspensão no ar, podendo se alastrar por extensas áreas. Já os gases tóxicos são provenientes de queimas de combustíveis ou subprodutos de etapas químicas.

Figura 4: Evidência de poluição do ar



Fonte: <http://www.infosaodesiderio.com>

Por fim, e não menos importante, acontece o fato de rios e reservatórios da bacia hidrográfica, onde se situa o empreendimento mineiro, poderem ser contaminados pelas substâncias lixiviadas, carregadas ou contidas nos efluentes, tais como metais pesados (Figura 5), óleos e graxas. Vale lembrar também que, tanto a lavra via desmonte

hidráulico, quanto o beneficiamento de minérios, podem alterar o regime hidrológico dos cursos d'água e dos aquíferos, além de causar o rebaixamento do lençol freático.

Figura 5: Evidência de contaminação por metal pesado



Fonte: <https://ephuman.mundoms.com/>

#### **4.4 – Recuperação de áreas degradadas pela mineração**

Toda temática que se refere a busca de soluções para problemas ambientais, está ligada diretamente a abordagens interdisciplinares, que reúnem e integram conhecimentos de diferentes campos (engenharia, agronomia, biologia, economia, geografia, geologia, hidrologia, química, entre outros) que, por sua vez, variam de acordo com a particularidade específica de cada caso. Geralmente, logo após a retirada do minério, pode ser realizada a avaliação preliminar da área degradada. Ai já se pode iniciar a etapa de recuperação que se refere a execução do plano de recuperação elaborado, bem como a execução do monitoramento e manutenção das medidas implementadas.

##### **4.4.1 – Avaliação de áreas degradadas**

Esta etapa consiste na primeira atividade realizada, em qualquer trabalho envolvendo recuperação de área, e diz respeito à identificação e caracterização dos processos de degradação atuantes e a análise de suas consequências ambientais.

Dentre os muitos aspectos a serem avaliados, destacam-se como principais: a análise de riscos à segurança e à saúde de comunidades que sejam eventualmente afetadas, e também o uso dos solos circunvizinhos (MUNN, 1975). Nota-se então, a importância fundamental de se consultar as comunidades locais durante esta atividade para adquirir informações cruciais para execução de uma avaliação completa da degradação e do histórico local. Em suma, considera-se que esta primeira avaliação tem como finalidade identificar os processos de degradação instalados e os respectivos impactos ambientais subsequentes.

Quando, um estágio avançado de degradação é atingido e/ou a magnitude dos impactos é alta, faz-se necessário a utilização de medidas emergenciais como por

exemplo, o isolamento da área, a instalação de sistemas de sinalização e alerta, e até mesmo, em casos extremos, a remoção das comunidades locais (BITAR, 1997).

#### **4.4.2 – Planejamento da recuperação**

Nesta etapa, são definidos os objetivos a serem alcançados no processo de recuperação, além de se estabelecer qual a finalidade futura da área, e com base nisso, elabora-se um plano de recuperação ambiental (WILLIANS *et al.*, 1990).

A decisão de como será o uso futuro da área leva em consideração a relevância técnica, social e legal das alternativas propostas pelo empreendedor, juntamente com os custos e prazos envolvidos em sua implementação (CAIRNS JR., 1986).

Os custos de recuperação são reduzidos, quando se estabelece, desde o início da lavra, o projeto de recuperação da área, em que alguns aspectos operacionais se destacam, como por exemplo, a remoção e o armazenamento da cobertura vegetal e da camada superficial do solo, a contenção de taludes, o aplainamento e o acabamento das frentes de lavra, a reposição da camada fértil do solo e a revegetação do local (SÃO PAULO, 1982).

Devem constar no plano de recuperação, segundo o Roteiro da Resolução SMA 18/89, dentre outros aspectos, informações sobre: a profundidade máxima prevista, para a cava, o uso proposto para o solo, a inclinação e a cobertura dos taludes, as medidas para restabelecer o escoamento fluvial e pluvial perturbados, a destinação dos estéreis e rejeitos não utilizados na recuperação, a destinação das cavas inundadas, o termo de responsabilidade do empreendedor quanto à execução dos trabalhos, a identificação da equipe técnica responsável pela elaboração do plano e o desenho esquemático com a representação final da área recuperada (BITAR, 1997).

As diretrizes que tratam de recuperação de áreas mineradas são fixadas pela NBR 13030 que se refere a “Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração” (ABNT, 1993). Esta norma destaca os procedimentos necessários para o planejamento da recuperação de uma área degradada por mineração, como sendo:

- Estabelecimento do compromisso do empreendedor com as atividades necessárias para a recuperação da área.
- Avaliação detalhada da área degradada que conste a identificação dos processos de degradação, defina os indicadores ambientais e identifique os impactos ambientais existentes.
- Definição dos objetivos da recuperação, detalhando de forma clara a determinação das metas e dos resultados a serem alcançados a curto, médio e longo prazo.
- Elaboração de um documento final que engloba as escolhas dos métodos e técnicas a serem empregados na recuperação, a descrição das medidas adotadas, a formulação de programas de monitoramento e manutenção para as medidas

implementadas e a análise crítica do uso da área pós-mineração, em relação às outras alternativas do uso futuro da área.

#### **4.4.3 – Métodos e técnicas de recuperação de áreas degradadas**

O dimensionamento das medidas a serem implementadas leva em consideração a avaliação da degradação feita anteriormente e os indicadores e parâmetros ambientais utilizados como referenciais para o monitoramento e comprovação da recuperação.

Antes de escolher os métodos de recuperação, é feita uma análise cuidadosa das alternativas tecnológicas disponíveis e a provável eficácia que as medidas podem ter na correção ou estabilização da degradação. BITAR, BRAGA (1995), evidenciam três conjuntos de processos utilizados para a recuperação das áreas degradadas: a remediação, a geotecnologia e a revegetação, que por sua vez, objetivam respectivamente, a estabilização biológica, física e química do ambiente.

A recuperação executada simultaneamente à mineração, integra diversas medidas as várias operações e etapas que compõe a cadeia produtiva do minério. (ALMEIDA et. Al., 1992).

##### **4.4.3.1 – Remediação**

Este método utiliza técnicas de tratamento que visam a eliminação, a neutralização, a imobilização, o confinamento ou a transformação de elementos ou substâncias contaminantes presentes no ambiente degradado, para assim, se alcançar a estabilidade química do ambiente.

Normalmente as técnicas de remediação compreendem processos químicos, mas em alguns casos, podem envolver também processos físicos ou biológicos. Para remediação de águas subterrâneas e solos contaminados, geralmente são utilizadas técnicas de tratamento “*in situ*”. Isto significa que o problema pode ser resolvido no próprio local da contaminação, não havendo necessidade de transportar o material para outra área, o que gera menor custo e diminui os riscos de acidentes em transporte e estocagem.

Em mineradoras, técnicas de remediação têm sido mais aplicadas em rejeitos de beneficiamento, como ocorre nas bacias de sedimentação do processo produtivo da Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia (CBMM) em Araxá - MG, e em drenagem ácida de mina, provenientes especialmente de minas de carvão, como ocorre nas carboníferas do Sul, especialmente em Santa Catarina (BITAR, 1997).

##### **4.4.3.2 – Geotecnologia**

O objetivo desta técnica é a estabilização física do ambiente por meio de procedimentos técnicos de mecânica de solos, mecânica de rochas e geologia de engenharia.

Na mineração, encontra-se uma enorme variedade de procedimentos geotécnicos possíveis de serem utilizados, envolvendo: a contenção de taludes, terraplanagem, os

sistemas de drenagem, os sistemas de retenção de sedimentos, as barragens de rejeitos e dentre outros.

Alguns procedimentos para aplicação de processos geotécnicos, na recuperação de áreas degradadas por empreendimentos minerários, vem sendo objetos de normas técnicas, a título de exemplos citam-se, a NBR 13028 que trata da “Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração” (ABNT, 1993), a NBR 10157 que diz respeito a “Critérios para projeto, construção e operação em aterros de resíduos perigosos” (BITAR, 1997), a NBR 10004 que se refere a classificação dos resíduos sólidos, e algumas normas internacionais (BITAR, 1997). Tudo isso é feito com o intuito de atender às especificações de minimização de impactos ambientais e às especificidades de segurança, de operação e de economia.

#### **4.4.3.3 – Revegetação**

Nesta técnica se relacionam os métodos que envolvem, desde a fixação localizada de espécies vegetais, até a implantação de reflorestamentos extensivos, incluindo a geração de condições propícias à regeneração dos ecossistemas originais e o retorno da fauna.

A revegetação possibilita a restauração da produção biológica do solo, a produção dos recursos hídricos e a redução e controle de erosões no terreno. No Brasil, técnicas de revegetação vêm sendo utilizadas desde 1970, em áreas de lavra nas minas de bauxita em Poços de Caldas - MG pela Alcoa Alumínio (WILLIANS, 1984) e em áreas afetadas pelas instalações do projeto de aproveitamento do minério de ferro em Serra dos Carajás - PA pela Vale (FREITAS et al., 1984).

O manual de WILLIANS et al (1990) apresenta diversas técnicas de revegetação e sugere uma sequência de atividades a serem executadas em áreas degradadas por mineração que é a seguinte: planejamento; controle da erosão; obras de drenagem na área a ser lavrada; decapeamento e abertura da cava; remoção da cobertura vegetal; lavra; beneficiamento; recomposição topográfica; trato da superfície final; revegetação; manutenção; monitoramento e uso futuro do solo.

#### **4.4.4 – Monitoramento e manutenção de áreas degradadas**

Para que objetivos preestabelecidos no plano de recuperação sejam alcançados são necessárias vistorias e inspeções periódicas, onde a eficácia do processo é acompanhada por indicadores ambientais, que visam verificar se os parâmetros estão sendo ajustados e se a recuperação está realmente sendo bem sucedida. Para resultados insatisfatórios são necessárias ações que vão, desde a reavaliação da área degradada, até sua complementação ou substituição.

#### **4.5 – Usos pós-mineração**

Em alguns países industrializados, como por exemplo Alemanha, Canadá, Estados Unidos da América e França, existe uma ampla gama de possibilidades para usos futuros das áreas mineradas, tais como: recreação, esportes, lazer, piscicultura, preservação e conservação ambiental, reflorestamento, pastagens, comércio, indústria, habitação e local para disposição de resíduos.

Procedimentos referentes ao uso pós-mineração devem ser preferencialmente estabelecidos, antes do início da atividade mineira e, iniciados durante as primeiras fases do desenvolvimento da extração mineral. Pois se forem iniciados ao final da exploração ou após o encerramento das atividades minerárias, podem ficar inviáveis devido à necessidade de novas instalações e ou novos procedimentos para execução do projeto, o que acarreta em um custo financeiro alto.

Trabalhos sobre procedimentos visando a recuperação de áreas degradadas por empreendimentos minerários vêm sendo desenvolvidos em diversos países industrializados como os Estados Unidos da América desde 1960.

SCHELLIE (1977) aborda a mineração como uso temporário ou transitório do solo, utilizando o conceito de uso sequencial, citando a possibilidade de reuso da área para aterros sanitários ou até mesmo para instalações industriais.

Já BAUER (1989 b) defende a premissa de que qualquer atividade pode ser instalada em uma área de antiga extração de areia ou pedreira, ao relatar casos em que a reabilitação dessas áreas, em países como a Alemanha, Canadá e EUA, resultou em usos para agricultura, usos recreativos, parques e outros.

No Brasil, existem diversos exemplos de reabilitação de áreas degradadas por mineração, valendo a pena ressaltar casos de parques públicos e usos industriais, como por exemplo, o parque da cidade de Toronto, na cidade de São Paulo capital que era uma área de extração de areia.

#### **4.6 – Custos para recuperar uma área degradada por mineração**

Normalmente, os dados disponíveis de custos de recuperação ambiental de áreas mineradas, são referentes ao total dos gastos ambientais, como é o caso da mina de ferro da MBR, localizada na área urbana de Belo Horizonte - MG, na qual foram contabilizados gastos totais com o meio ambiente de aproximadamente US\$ 7,1 milhões por ano no período compreendido entre 1978 a 1992, valor este que correspondia a 4% do total dos gastos operacionais da empresa na mesma época. (MBR, 1992, apud CAVALCANTI, *op. cit.*). Entretanto, tais valores são raros de serem encontrados de forma explícita pelo fato deles se encontrarem diluídos em demais gastos operacionais.

## **4.7 – Instrumentos institucionais**

Os dois aspectos que mais se destacam ao se comparar as políticas implementadas em países desenvolvidos com as que são implementadas nos países em desenvolvimento são, a participação ativa da no processo de decisão sobre o futuro das áreas degradadas e a existência de mecanismos institucionais que visam assegurar recursos financeiros para execução das obras de recuperação das mesmas.

### **4.7.1 – Panorama internacional**

Em países industrializados, como por exemplo Canadá, EUA, França, Rússia e Itália, as comunidades que vivem no entorno de áreas de mineração, são normalmente proativas no acompanhamento da realização dos procedimentos advindos de planos de recuperação de áreas degradadas por mineração. Planos estes que são submetidos à aprovação dos órgãos públicos locais ou regionais e até federais caso necessite. A execução do processo de recuperação, geralmente, deve ser feita pela empresa mineradora, mas em alguns casos, pode ser assumida pelo governo por meio de recursos financeiros depositados como caução, como ocorre em Ontário, no Canadá (BITAR, 1997).

Desde 1972, em Estocolmo, o tema degradação ambiental vem sendo uma das principais questões abordadas pela Organização das Nações Unidas, ONU, que dentre outros feitos, destaca-se a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA (BITAR, 1997).

Em 1987, o relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, com o título “Nosso futuro comum”, representa a busca pelo desenvolvimento que permita à humanidade usufruir dos recursos naturais, sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras também usufruam. Este documento aborda temas sobre a redução de ameaças à sobrevivência da humanidade e o interrompimento do ciclo causal e cumulativo entre subdesenvolvimento, condições de pobreza e problemas ambientais. (KITAMURA, 1994, apud CAVALCANTI, 1996).

A Agenda 21 (ONU, 1993), principal produto da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, ocorrida em 1992 na cidade do Rio de Janeiro - RJ, estabeleceu um programa a ser implementado pelas agências de desenvolvimento, governos, órgãos das nações unidas e outras entidades. Este documento deixa explícito que a competição e os conflitos são gerados pela crescente demanda por recursos naturais, o que influencia diretamente no processo de degradação do solo. Como solução, propõe-se uma abordagem integrada do uso consciente do solo, colocando em foco a tomada de decisões e considerando simultaneamente questões ambientais, sociais e econômicas.

De 1992, até hoje, vários protocolos de intensões foram assinados em inúmeras conferências mundiais, visando a redução e minimização dos impactos ambientais inerentes do setor mineral, tais como: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (UNDP, 2016); o “Atlas: Mapeando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na

Mineração” lançado pelo Fórum Econômico Mundial, em parceria com Centro de Investimento Sustentável da Universidade de Columbia, a Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável e o PNUD, com apoio da Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ) que é um documento que mapeia e lista as maneiras como a mineração pode auxiliar o alcance dos ODS (PNUD *et al.* (2017). Além do Acordo de Paris, um compromisso internacional que possui um único objetivo, reduzir o aquecimento global e entrou em vigor oficialmente no dia 4 de novembro de 2016.

#### **4.7.2 – Como ocorre no Brasil**

O tema degradação ambiental só foi previsto na legislação ambiental brasileira por volta de 1980 pela Política Nacional de Meio Ambiente (Lei federal 6938/1981) (BITAR, 1997), cujo texto deixa explícita a urgência de se praticar a recuperação de áreas degradadas. Alguns anos mais tarde, o tema foi contemplado na constituição federal de 1988 com o seguinte texto: *“aquele que explorar os recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma de lei”* (Artigo 225, parágrafo 2º). Essa foi a primeira referência legal entre mineração e meio ambiente que explicitou claramente o tema recuperação (SÃO PAULO, 1987).

Em 1989, a regulamentação do assunto constitucional foi editada, fixando um prazo de 180 dias para que as minerações já em atividade apresentassem um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) aos órgãos ambientais competentes. Já para futuros empreendimentos prevê a apresentação do PRAD no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA, documentos que são exigidos na legislação, referentes aos procedimentos de avaliação de impacto ambiental no país. (Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 01/86) (BITAR, 1997).

Normas posteriores abriram brechas de dispensa de EIA/RIMA para casos específicos de materiais de construção, exigindo no mínimo a apresentação de um Relatório de Controle Ambiental - RCA e um Plano de Controle Ambiental, os quais, devem constar com o PRAD incluso. (Resoluções CONAMA 09/90 e 10/90) (BITAR, 1997).

Cada estado no Brasil, passou a legislar complementarmente sobre a recuperação de áreas degradadas, como por exemplo no estado de São Paulo, as normas que definem os procedimentos de licenciamento ambiental (Resolução SMA 26/93), prevê que há a necessidade de documentos técnicos (PCA, RCA ou o PRAD, de acordo com o caso) como pré-requisito para que o pedido de licença seja instruído. A análise do documento envolve diversos órgãos do estado, como por exemplo, o Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental - DAIA, o Departamento de Proteção dos Recursos Naturais - DEPRN, o Departamento de Uso do Solo Metropolitano - DUSM, e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (SÃO PAULO, 1991).

Os municípios, após a promulgação das constituições federal e estaduais, seguiram o exemplo passando a implementar aspectos de recuperação ambiental em seus quadros legais. O assunto passa então a ser previsto nos instrumentos de planejamento e gestão existentes, como por exemplo, o Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo. Sendo que o primeiro dos instrumentos citados serve para identificar as áreas de degradação ambiental no município e propor programas de recuperação, enquanto o segundo, por meio de sanções civis e administrativas, pode exigir a recuperação da área degradada (CEPAM, 1991).

Em relação a mecanismos que assegurem a disponibilidade e alocação de recursos financeiros para a recuperação de áreas degradadas por atividades minerárias, não existe nada no país que se assemelhe a sistemas de países desenvolvidos como o “caução” da província de Ontário no Canadá. Entretanto, a legislação institui uma compensação financeira para estados e municípios pelo resultado do aproveitamento de recursos minerais em seus territórios (lei federal 7.990/89) (BITAR, 1997).

#### **4.7.2.1 – Participação da Comunidade**

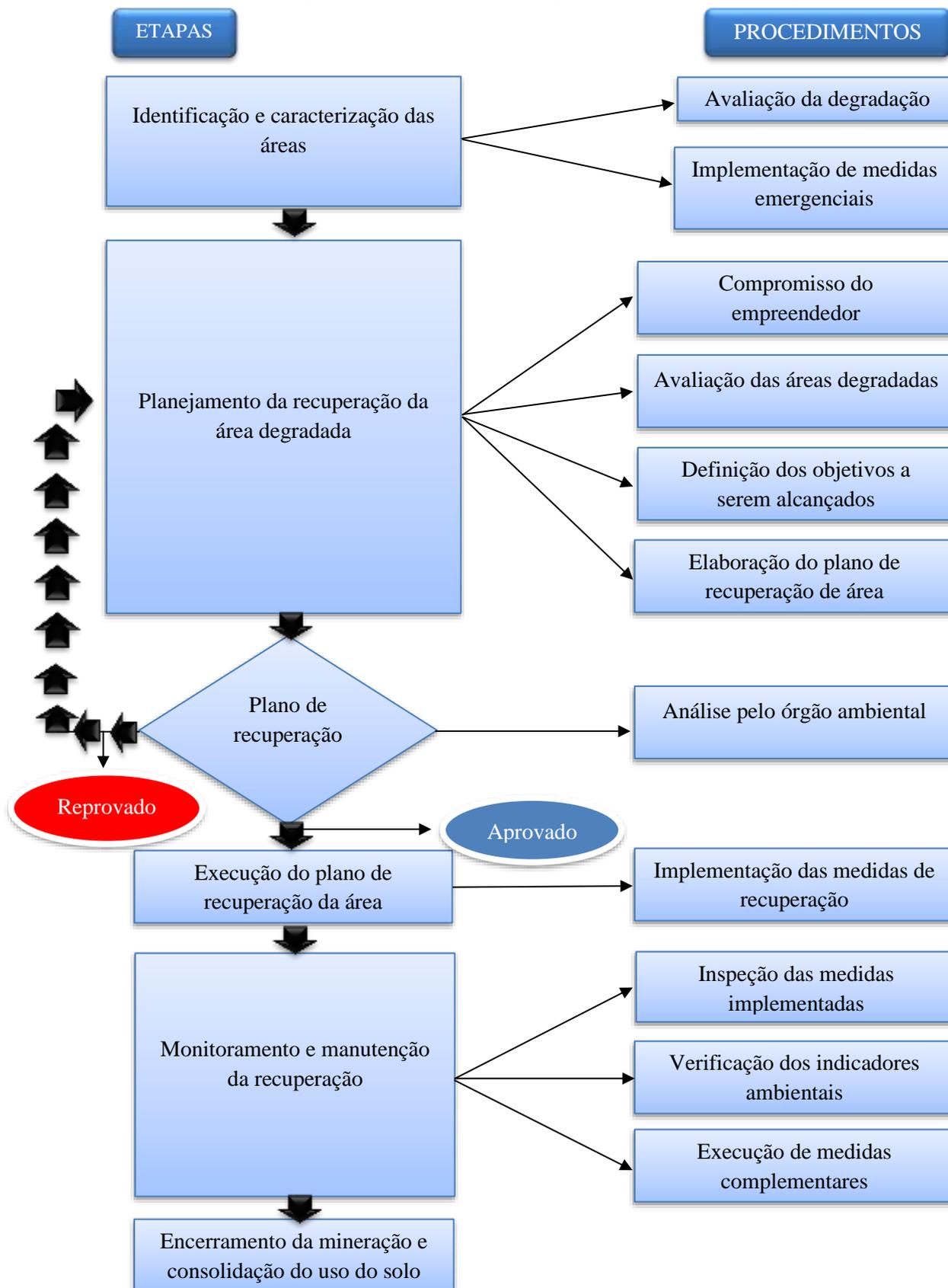
Apenas uma pequena parcela da sociedade participa de processos relacionados à recuperação de áreas degradadas por mineração no Brasil (BITAR, 1997). A lei federal 7.347/85 atribuiu ao Ministério Público a função de “advogado da sociedade” para temas relacionados à recuperação de áreas degradadas, instituindo a defesa de interesses difusos nos país e disciplinando a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente. Desde então, o Ministério Público vem atuando em inúmeros casos de mineração para atender às solicitações da comunidade, como por exemplo, em extrações de área para a construção civil, realizadas em leito de rio, no estado de São Paulo (BITAR, 1997).

Porém quem continua decidindo sobre o uso futuro das áreas mineradas no país são as mineradoras ou proprietários do solo. Pouca diferença faz a legislação distinguir o proprietário do solo do proprietário do subsolo. O que tem sido feito é a abertura de canais de comunicação para que a empresa tome ciência sobre a posição da sociedade frente ao empreendimento, para assim poder negociar e diminuir eventuais conflitos (SÁNCHEZ, 1995).

#### **4.7.3 – Fluxograma autoexplicativo com etapas e procedimentos**

Apesar da recuperação da área degradada pela mineração poder contar com variados aspectos, a literatura apresenta algumas etapas e procedimentos básicos comuns que podem orientar os trabalhos de recuperação realizados em empreendimentos próximos a áreas urbanas (figura 6)

Figura 6: Etapas e procedimentos básicos na recuperação de áreas degradadas por mineração



Dentre as ações elencadas destacam-se: o compromisso do empreendedor na inclusão do equacionamento prévio de recursos financeiros que devem ser destinados a execução do projeto de recuperação da área degradada, e as ações de avaliação da área degradada, envolvendo a participação da comunidade e dos órgãos ambientais responsáveis pela análise, aprovação e controle do processo de recuperação da área.

## 5.0 - Energia Fotovoltaica

### 5.1 - Energia Solar

Energia Solar é a energia eletromagnética proveniente da luz e do calor do Sol. Esse tipo de energia pode ser transformada em energia térmica ou elétrica para posterior aplicação em diversos usos. As principais formas de aproveitamento da energia solar são para o aquecimento de água e para a geração de energia elétrica.

O aquecimento térmico, via radiação solar, costuma ser realizado por meio de absorção solar por coletores instalados em telhados de residências e edificações ou até mesmo em campos abertos. Como a incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre é baixa há a necessidade de alguns metros quadrados de coletores para suprir demandas básicas, como por exemplo, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), para manter a água aquecida em uma residência de 4 moradores são necessários 4 metros quadrados de coletores.

Para a produção de energia elétrica utilizam-se dois sistemas, o heliotérmico, que consiste em converter a radiação solar em energia térmica para, posteriormente, ser convertida em energia elétrica, e o fotovoltaico, que converte a radiação solar diretamente em energia elétrica (Viana, Tavares, & Lima, 2015).

A energia heliotérmica se apresenta como alternativa à energia hidráulica, pois os períodos de estiagem estão cada vez mais longos, e vale ressaltar, que as épocas de seca estão associadas ao aumento do potencial solar, e conseqüentemente ao aumento da energia solar disponível. Para a captação dessa energia, são utilizados coletores específicos (Figura 7) que convertem os raios solares em calor, para em seguida transferi-lo para um fluido que se mantém em alta temperatura com a finalidade de transformar água em vapor, este, movimenta uma turbina e aciona um gerador, produzindo assim, energia elétrica.

Figura 7: Sistema de Torre Solar



Fonte: <https://thegreenestpost.com/australia-ganhara-maior-usina-solar-termal-do-mundo-com- apenas-uma-torre-2/>

A principal desvantagem dessa tecnologia é que sua construção, requer uma área extensa e com grande incidência solar. (PORTAL SOLAR, 2021).

Já o sistema fotovoltaico (Figura 8) não requer altos níveis de radiação para funcionar. Porém a quantidade de energia gerada depende diretamente da densidade das nuvens, de forma que, um aumento na quantidade de nuvens resulta em menor produção de energia elétrica quando comparada a dias que estejam com o céu completamente aberto. (PORTAL SOLAR, 2021).

Figura 8: Sistema fotovoltaico residencial híbrido



Fonte: Suntag (2019)

## 5.2 - Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica vem se destacando como uma fonte proeminente de energia, devido as suas vantagens principais, que são, a inesgotável fonte primária, o sol, a abundância de silício que é utilizado como matéria prima e o fato de se tratar de uma energia limpa, não emitindo gases e nem ruídos. (SILVA, 2018)

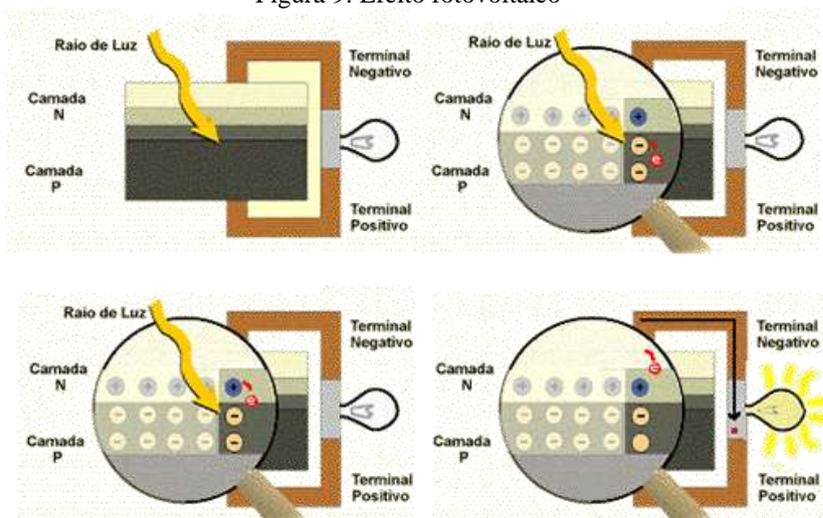
### 5.2.1 - Efeito fotovoltaico

A energia solar pode ser convertida em elétrica utilizando materiais semicondutores, pois eles possuem características intermediárias entre os condutores e isolantes. Essa conversão é feita principalmente pelos efeitos termoelétrico e fotovoltaico. No primeiro, uma diferença de potencial ocorre quando há uma junção de dois metais em condições específicas. Já no fotovoltaico, os fótons provenientes da energia solar, são convertidos em energia elétrica por meio de células solares. (ANEEL, 2013)

Por meio de um processo denominado dopagem de semicondutores, no qual se adiciona ao cristal intrínseco uma pequena quantidade de impureza com propriedades

adequadas para afetar o comportamento elétrico do semicondutor, pode obter-se dois tipos de materiais com cargas diferentes. Um material com falta de elétrons e cargas positivas, que se refere a dopagem do boro ou dopagem tipo p, e outro com elétrons livres e cargas negativas, que se refere a dopagem do fósforo ou simplesmente chamada de dopagem tipo n. Assim, a célula fotovoltaica é constituída por uma camada de material tipo p e uma camada de material tipo n, formando uma junção p-n. A exposição à luz, faz com que os elétrons presentes na camada p se movem para a camada n, gerando um potencial negativo no material n devido ao excesso de elétrons e conseqüentemente um potencial positivo na camada p devido às brechas que surgiram pela saída dos elétrons. A barreira potencial mantém os elétrons distantes das brechas de modo que ocorra uma diferença de potencial nas extremidades do material semicondutor. Quando fios são colocados nestas extremidades, fazem com que ocorra um fluxo de corrente elétrica, conduzindo os elétrons de volta à camada p, reiniciando assim, todo processo descrito anteriormente. Deste modo, a luz solar fornece energia para impulsionar os elétrons em um único sentido, estabelecendo uma corrente elétrica contínua (Figura 9) (URBANETZ, 2013).

Figura 9: Efeito fotovoltaico



Fonte: ELETROSUL, 2013

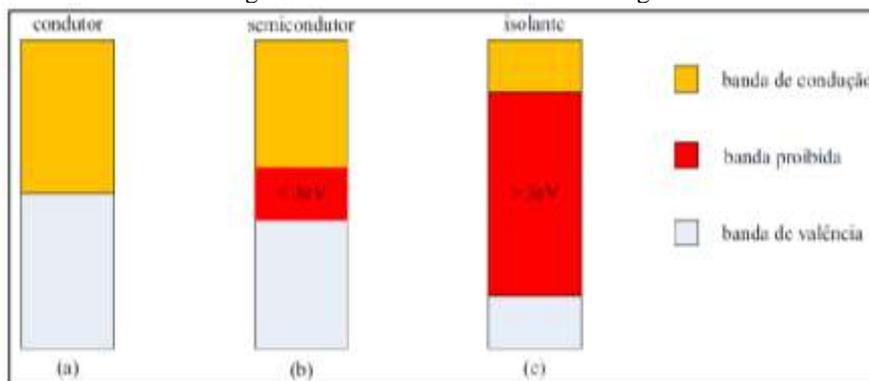
## 5.2.2 - Elementos condutores

Segundo QUASCHNING (2006), para se entender o funcionamento da geração de energia solar fotovoltaica, é necessário compreender o conceito dos elementos condutores. Tais elementos possuem, em média, na camada mais externa, quatro elétrons que são denominados elétrons de valência. Elementos semicondutores, como o Silício, Germânio ou Estanho, localizam-se no grupo IV da tabela periódica. Materiais semicondutores são compostos por dois elementos, sendo eles um do grupo II e outro do grupo VI ou outra combinação que gerem compostos que possuam 4 elétrons de valência.

Pinho e Galdino (2014) enfatizam as características dos materiais semicondutores de possuírem a banda de valência totalmente preenchida por elétrons e a banda de condução vazia a zero absoluto (0°k). Fato esse, que faz com que o semicondutor se

comporte como um isolante nesta temperatura. Para temperaturas acima desta, surge uma terceira banda, denominada banda proibida, que separa as outras duas e pode atingir até 3,0 e V (elétron-volt) para que o material se comporte como um semicondutor. Já materiais cuja banda proibida ultrapassam tal valor se comportam como isolantes (Figura 10).

Figura 10: Estrutura de bandas de energia



Fonte: PINHO E GALDINO 2014

Em função do pequeno valor energético que o elétron necessita para saltar a banda proibida até a banda de condução, o semicondutor é fundamental para o efeito fotovoltaico. A incidência de um fóton pode fornecer a energia necessária para que o elétron deixe a camada de valência. Sendo assim, esta energia contida no fóton que vai determinar se o elétron atingirá ou não a banda de condução para permitir a geração de corrente elétrica.

### 5.2.3 - Sistemas fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos podem ser instalados em qualquer local que tenha radiação solar, requerem pouca manutenção, não utilizam combustíveis fósseis e são estáticos. Esses sistemas produzem energia em corrente contínua, sendo assim, para transformar esta corrente em corrente alternada é necessário a utilização de um inversor de frequência (SILVA, 2018), como o que pode ser observado na figura 11.

Figura 11: Sistema fotovoltaico *on-grid*

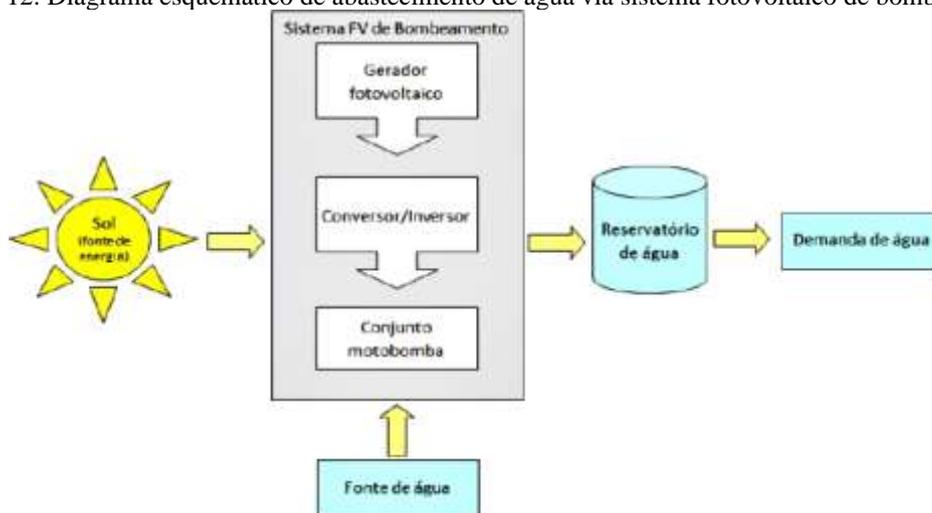
Fonte: Suttgart (2019)

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas isolados, ou *off-Grid*, em sistemas conectados à rede, ou *on-Grid*, e também há a possibilidade dos sistemas híbridos (PINHO&GALDINO, 2014).

### 5.2.3.1 - Sistemas fotovoltaicos *off-grid*

Os sistemas fotovoltaicos *off-grid* podem apresentar diversas configurações. Podem ser instalados para atender uma certa demanda energética no momento em que há geração de energia, ou seja, apenas durante o dia. Um exemplo para este tipo de aplicação é um sistema de bombeamento de água (Figura 12).

Figura 12: Diagrama esquemático de abastecimento de água via sistema fotovoltaico de bombeamento

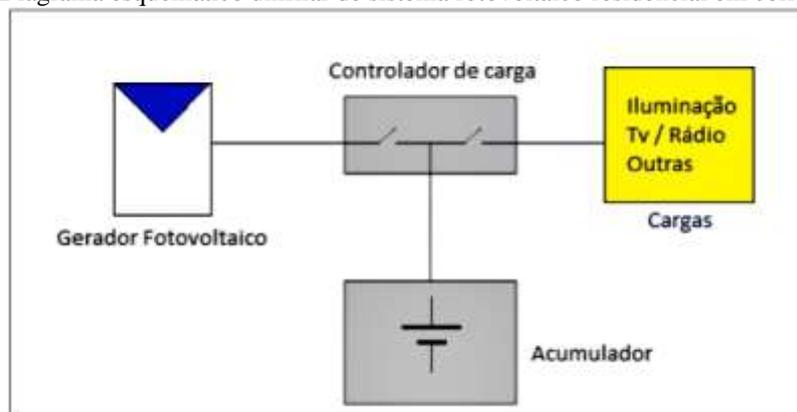


Fonte: (PINHO&GALDINO, 2014)

Para suprir demandas energéticas de residências, comércio e pequenas indústrias, os sistemas *off-grid* devem vir acompanhados de baterias para acumular a energia e poder utilizá-las quando não houver luz solar. Visando o perfeito funcionamento destas baterias,

o sistema deve contar também com controladores de carga (SOUZA, 2015), conforme ilustrado na figura 13.

Figura 13: Diagrama esquemático unifilar de sistema fotovoltaico residencial em corrente contínua

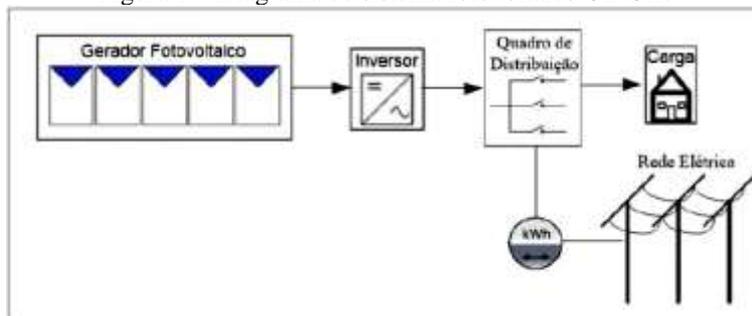


Fonte: (PINHO&GALDINO, 2014)

### 5.2.3.2 - Sistemas fotovoltaicos *On-Grid*

Os sistemas fotovoltaicos *On-Grid* são conectados à rede de energia elétrica da concessionária de energia local, logo, não há a necessidade de acumuladores de baterias, pois a energia produzida é consumida imediatamente pelas cargas ou injetada na rede elétrica convencional (figura 14). Assim, este sistema fotovoltaico funciona como uma complementação do sistema elétrico já existente e pode gerar créditos de energia a partir da energia excedente para compensar o consumo quando não houver produção. (PINHO&GALDINO, 2014)

Figura 14: Diagrama de sistema fotovoltaico *On-Grid*



Fonte: (PINHO&GALDINO, 2014)

Segundo Gazoli (2011) os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são mais vantajosos que os sistemas fotovoltaicos *Off-Grid* (isolados da rede). A primeira vantagem a ser destacada é o menor investimento, pois o sistema *On-Grid* não necessita de baterias, o que torna seu custo financeiro cerca de 30% a 40% menor em relação ao *Off-Grid*. A segunda vantagem diz respeito ao fato de possuir 2 sistemas para o fornecimento da energia elétrica, sendo eles, o sistema já existente advindo da concessionária e o sistema fotovoltaico conectado a rede (*On-Grid*), e não apenas 1 como é o caso do sistema fotovoltaico isolado no qual consta apenas a conexão com as baterias (*Off-Grid*). A terceira grande vantagem é a possibilidade de se produzir energia elétrica por meio do aproveitamento de espaços inutilizados que possuem boa incidência solar,

transformando-os em parques fotovoltaicos. Tal empreendimento pode abastecer um conjunto de unidades consumidoras ou um consumidor com alta demanda energética, como por exemplo uma indústria.

### 5.2.3.3 - Sistemas fotovoltaicos híbridos

Segundo Souza (2015) estes sistemas trabalham em conjunto com outros grupos geradores de energia elétrica. Por exemplo, o sistema complementar ao de energia solar pode ser um sistema eólico, formando assim, um sistema solar-eólico (figura 15).

Figura 15: Sistema Híbrido Solar-Eólico



Fonte: (SOUZA, 2015)

## 5.3 - A energia solar fotovoltaica no mundo

A tecnologia fotovoltaica foi inicialmente impulsionada pela indústria espacial com a finalidade de se obter energia para suprir as demandas de estações espaciais e satélites, passando a ser também utilizada para eletrificações de locais isolados. Assim que se introduziu a possibilidade de a tecnologia ser conectada à rede, observou-se o grande avanço do setor (TOLMASQUIM, 2016)

No planeta terra, a radiação solar que pode ser aproveitada para geração de energia apresenta valores altos, em especial nos continentes asiáticos e africano, que atingem, respectivamente, 1424 kWh/kWp e 2003 kWh/kWp (PORTAL SOLAR, 2021).

De acordo com a WEO (2012) governos de países como a Índia, a China, os Estados Unidos, a Alemanha e a Itália, incentivaram o desenvolvimento industrial no setor de energia visando, principalmente, a redução de custos, a promoção do consumo consciente e a redução de desperdícios.

Em 2014, a fonte solar fotovoltaica representava apenas 1% da matriz energética mundial (TOLMASQUIM, 2016). Já nos últimos anos, a distribuição de energia solar no mundo vem crescendo exponencialmente. De acordo com a previsão da Agência Internacional de Energia (IEA, Solar Roadmap Targets, 2009) a utilização de energia

solar pode alcançar 30%, em 2022, nos países com maior capacidade instalada de geração, como é o caso da China, da Alemanha, dos Estados Unidos e do Japão.

## **5.4 - A energia solar fotovoltaica no Brasil**

O Brasil possui essa matriz energética renovável com um nível de radiação superior ao de países como Alemanha, França e Espanha, que são países onde a exploração da energia solar fotovoltaica ocorre em larga escala.

A estimativa da capacidade instalada de geração de energia solar, nacional, segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE, 2026), é de 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída, totalizando assim, 13 GW que poderá corresponder a 5,7% da potência total gerada no País.

Os valores máximos para a irradiação solar no país, podem ser observados na região central da Bahia, e são da ordem de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> ao dia (PORTAL SOLAR, 2021). No geral, as temperaturas correspondem a um regime de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar em regiões semiáridas durante o ano todo.

Um levantamento realizado pela ANEEL em conjunto com a ABSOLAR mostrou que o Brasil alcançou uma potência instalada de 4.460MW, no ano de 2019, o que resulta em um crescimento de 45% em relação ao ano de 2018. A partir disso, o aproveitamento da energia solar fotovoltaica, em todo território nacional, teve ampliação em todos estados, com destaque especial para Minas Gerais, que é o líder no ranking estadual de geração distribuída, com 19,2% de potência instalada. (PORTAL SOLAR, 2021)

### **5.4.1 - O autoprodutor de energia solar fotovoltaica no Brasil**

O decreto 2.003, de 10 de setembro de 1996, define o autoprodutor de energia como sendo “a pessoa física, jurídica ou consórcio de empresas que recebam a concessão ou autorização para produzir a energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo” (BRASIL, 1996). O serviço público de energia elétrica, mediante o pagamento de tarifas, garante o direito ao livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição para integrar e viabilizar empreendimentos de autoprodução de energia elétrica. Este decreto também cita a possibilidade de o concessionário do serviço público de distribuição de energia poder comprar o excedente entre a geração e o consumo do autoprodutor.

### **5.4.2 - Geração de energia distribuída no Brasil**

A resolução normativa (REN) 482, de 2012 é a que discorre sobre o modelo de geração distribuída. Tal resolução diz que qualquer consumidor pode investir em uma unidade de geração de energia e conseguir o abatimento em sua fatura. Sendo assim, se o balanço de energia for positivo, ou seja, a energia produzida for maior que a energia gasta, é gerado um crédito cumulativo com validade de 60 meses que será consumido em situações nas quais o balanço energético for negativo (PINHO&GALDINO, 2014).

Há também a possibilidade de se utilizar este crédito em outras unidades consumidoras que estejam na titularidade do autoprodutor.

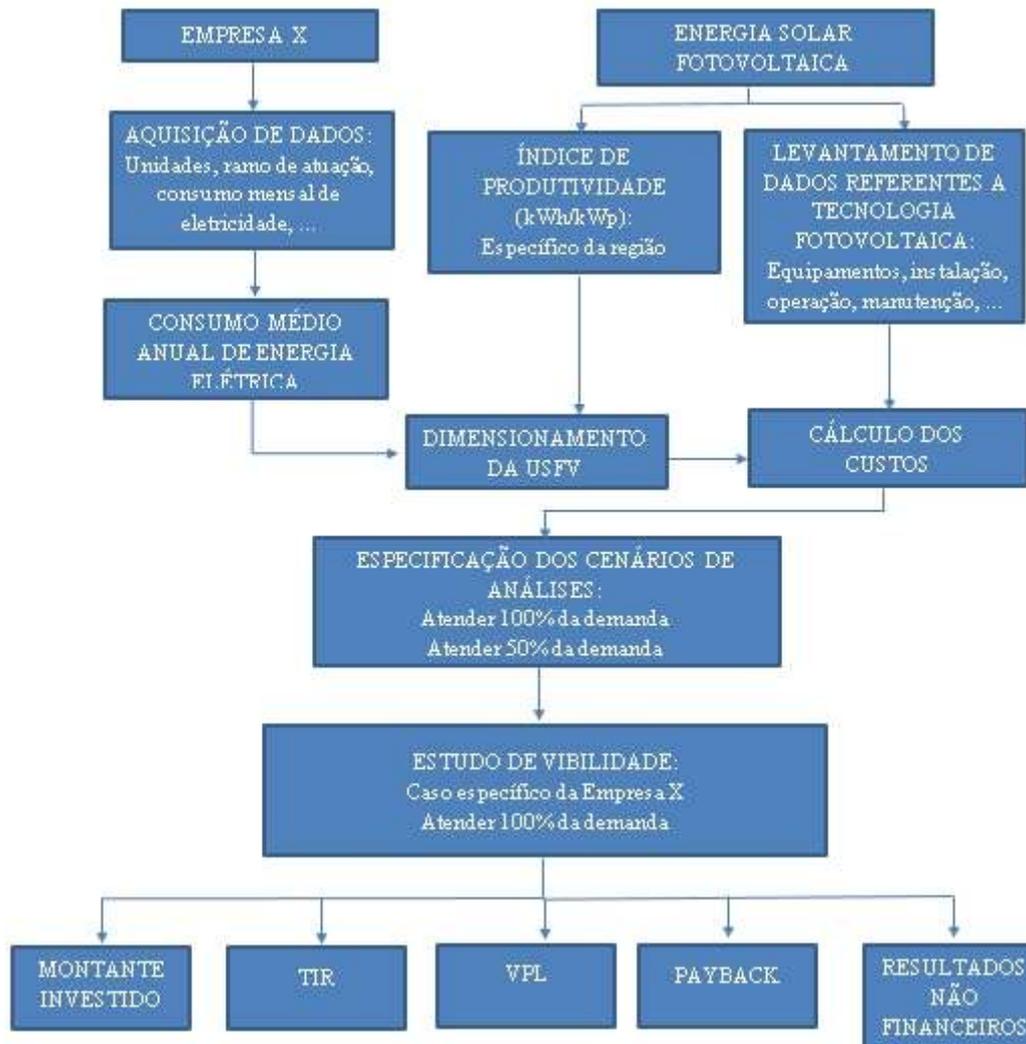
### **5.5 - Metodologia geral para dimensionamento de sistema fotovoltaico**

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico consiste em balancear a energia disponível e a energia consumida, levando-se em consideração, a eficiência dos diferentes tipos de configurações e componentes tecnológicos envolvidos na transformação da energia solar, em energia elétrica (PINHO & GALDINO, 2014). Para dimensionar sistemas com painéis fotovoltaicos é necessário que se conheça a incidência de radiação solar do local que se pretende instalar a usina de geração, bem como, as informações que caracterizam a demanda energética a ser atendida. (SOUZA, 2015)

## 6 - Metodologia

Neste tópico, são apresentados os aspectos referentes às etapas de execução da pesquisa. O fluxograma da figura 16 mostra o processo de desenvolvimento do trabalho para o levantamento de dados e, conseqüentemente, da geração de resultados.

Figura 16: Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: Próprio Autor (2021)

Um ponto importante a ser considerado, aqui, é o fato de que a empresa, que cedeu os dados e as informações necessárias para realizar o presente trabalho, pediu para não ser identificada, sendo assim, daqui em diante, ela será denominada Empresa X.

### 6.1 - Ramo de atuação da Empresa X

A empresa objeto de estudo, por motivos de sigilo dos dados fornecidos, para essa pesquisa, será tratada como sendo Empresa X, que atua nos ramos de extração e beneficiamento de calcário em minas a céu aberto. Seus clientes são de setores variados,

como por exemplo, da construção civil, dos setores agrícola e siderúrgico. Os produtos finais obtidos após as operações de lavra, britagem e peneiramento são:

- Calcário em pó: Produto composto basicamente por Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Por ser muito utilizado para correção do pH do solo, é frequentemente comercializado com empresários do setor agrícola.
- Dolomita: Produto composto, em sua maioria, pelo mineral dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). Comercializado nas frações fina, média e grossa com empresas siderúrgicas.
- Brita: Por conceito, trata-se de um bem mineral resultante da quebra mecânica de variados tipos de rochas em diversos tamanhos, após o processamento mineral. Seus principais compradores são empresas e microempresas que atuam no ramo da construção civil.

## 6.2 - Localização e características da área do estudo

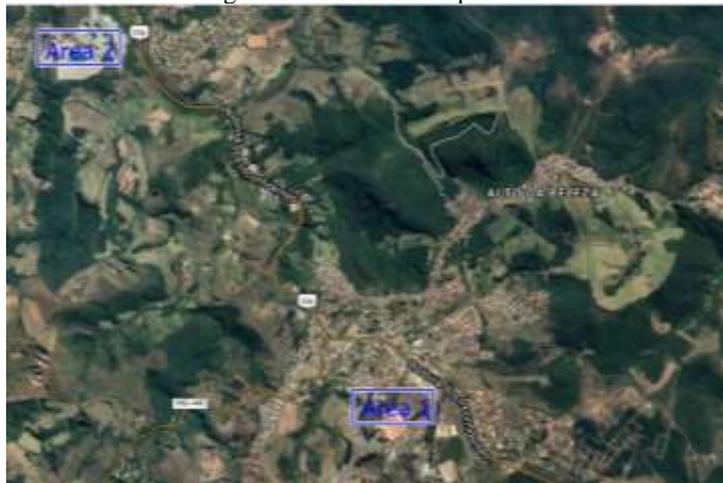
A área da empresa utilizada para a realização do estudo, situa-se em Ouro Preto, Minas Gerais.

Segundo o portal oficial do município, Ouro Preto possui uma altitude de cerca de 1.150 metros, um clima tropical de altitude e uma voltagem elétrica de 110 volts (OURO PRETO, 2021).

De acordo com o IBGE (2020), a área total do município é de 1.245,865 km<sup>2</sup>, com uma população de 74.558 habitantes. Vale ressaltar que, segundo ALVES (2001) o município está localizado no Quadrilátero Ferrífero que representa uma região do pré-cambriano, formada por 4 unidades litoestratigráficas denominadas: Embasamento Cristalino, Supergrupo Rio das Velhas e grupo Itacolo, e assim, possui grande parte da sua economia voltada principalmente para os setores mineral e turístico.

A empresa X é detentora de duas áreas de mineração que estão bem próximas, suas localizações estão evidenciadas na figura 17. Já na figura 18 pode-se observar com ênfase a área 1, onde a exploração mineral ocorre a mais tempo do que na área 2 exposta na figura 19.

Figura 17: Áreas da Empresa X



Fonte: Google Maps (2020)

Figura 18: Área 1 da Empresa X



Fonte: Google Maps (2020)

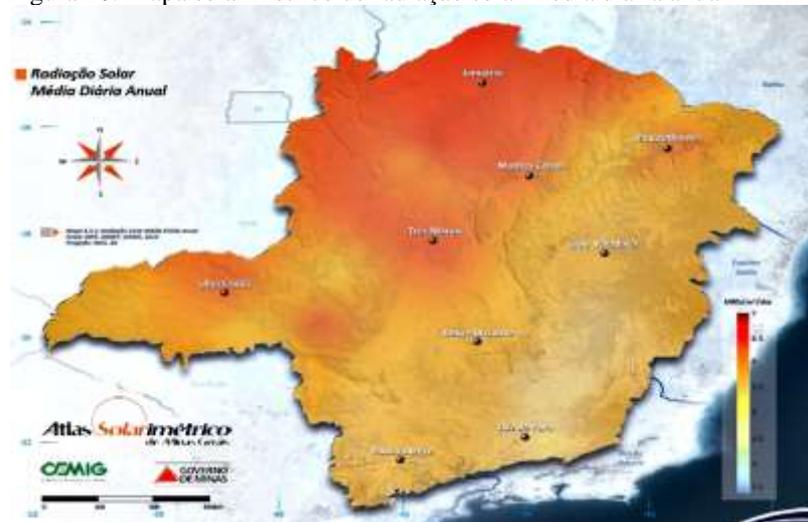
Figura 19: Área 2 da Empresa X



Fonte: Google Maps (2020)

Segundo a CEMIG (2010), o estado de Minas Gerais, de acordo com a figura 20, possui radiação solar diária média anual variando entre 4,5 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>, enquanto que a Alemanha, que é um país que se destaca, a anos pelo aproveitamento de energia solar, possui radiação solar média de 3 kWh/m<sup>2</sup>.

Figura 20: Mapa solarimétrico de radiação solar média diária anual



Fonte: CEMIG 2010

Evidentemente, ao longo do ano acontecem mudanças nesta intensidade, como por exemplo, no trimestre maio-junho-julho as estações solarimétricas registram uma intensidade de radiação em torno de 3 a 4 kWh/m<sup>2</sup>dia, ao passo que no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro às mesmas estações registram intensidades de radiação muito altas, da ordem de 7,5 kWh/m<sup>2</sup>dia (CEMIG, 2010).

### 6.3 - Consumo de energia elétrica da Empresa X

Os dados referentes ao consumo de energia elétrica da Empresa X foram levantados nas faturas da CEMIG, no período de dezembro de 2019 a novembro de 2020. Por se tratar de uma fatura recente, não há necessidade de se aplicar correções de inflação na mesma.

A fatura da CEMIG referente ao consumo energético da Empresa X foi dividida em quatro partes detalhadas nas figuras 21;22;23 e 24, sendo que a primeira detalha os valores faturados, a segunda descreve o histórico de consumo, a terceira demonstra as grandezas faturadas e a quarta expõe a quantidade energética faturada em KWh.



Figura 23: Fatura da CEMIG referente ao consumo de eletricidade da Empresa X parte 3

**CEMIG**  
Cemig Distribuição S.A. CNPJ: 06.908.910/0001-91 | Fone: (31) 3337-9000  
Av. Amazonas, 1200 - 11º andar - Ala A4 - CEP: 31160-010 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende  
[www.cemigatende.com.br](http://www.cemigatende.com.br)  
Energia: 0800 727 7520  
Serviço Social de Energia Elétrica - SISEL - Início de Operação: 12/17/13 | 13.134 - 30 de Junho de 2013

**DEMONSTRATIVO DE GRANDEZAS FATURADAS**  
Nota Fiscal - Conta de Energia Elétrica - Série U - Nº 881222333 - PTA Nº 41.80901499331

Cliente:	MUNERACAO		Unidade:	OURO PRETO	
Instalação:		Metro:	GMG12000441	Período de Medição:	01/11/2020 a 30/11/2020
Subgrupo:	A4	Local de Medição:		Mês/Ano:	11/2020
Modulação contratada/Horário de ponta:	17:00 às 20:00			Diário Extra:	SAB e DOM

Segmento	HFP/único		HP		HR	
	Letra anterior	Letra atual	Letra anterior	Letra atual	Letra anterior	Letra atual
KWh	35	119	1	3	0	0
kWh injet.	0	0	0	0	0	0
kVArh	25	31	0	0	0	0
UFER	5	16	1	4	0	0
DMCR	33		34		0	

Segmento	Produto	DEMANDA(KW)						
		Registrado	Acerto Reg.	Datahora	Acerto Fat.	Contratado	Faturado ultrapas.	Faturado normal
HFP/único	Demanda ativa	336				300		300
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFER							
	DMCR	354						
HP	Demanda ativa	54						
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFER							
	DMCR	544						

Fonte: CEMIG 2020

Figura 24: Fatura da CEMIG referente ao consumo de eletricidade da Empresa X parte 4

HP	Demanda ativa	54						
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFER							
	DMCR	144						
HR	Demanda ativa							
	Demanda reativa - UFER							
	DMCR							

Segmento	Produto	ENERGIA (kWh)						
		Registrado	Acerto Reg.	Contratado	Tela	Acerto Fat.	FATURADO ultrapas.	FATURADO normal
HFP/único	Energia ativa	53.490						53.490
	Energia injetada							
	Energia reativa - UFER	6.006						6.006
	kVArh	27.690						
HP	Energia ativa	1.206						1.206
	Energia injetada							
	Energia reativa - UFER	1.806						1.806
	kVArh							
HR	Energia ativa							
	Energia injetada							
	Energia reativa - UFER							
	kVArh							

FATORES		CONSTANTES	
Segmento	Fator de carga	Fator de potência	RTU
HFP	0,732		5
HP	0,730		120
HR			600
			600
			Perdas Transm.
			Medição
			1,3

Retas:	Tarifa resolução homologatória Anual (sem impostos)
Dem. At. kWh HFP	14,60
Dem. At. kWh HFP w/ ICMS	14,60
En. Reat. kWh HFP	0,26438
En. At. kWh HP	0,26438
En. At. kWh HFP	0,34117
En. At. kWh HP	1,00018

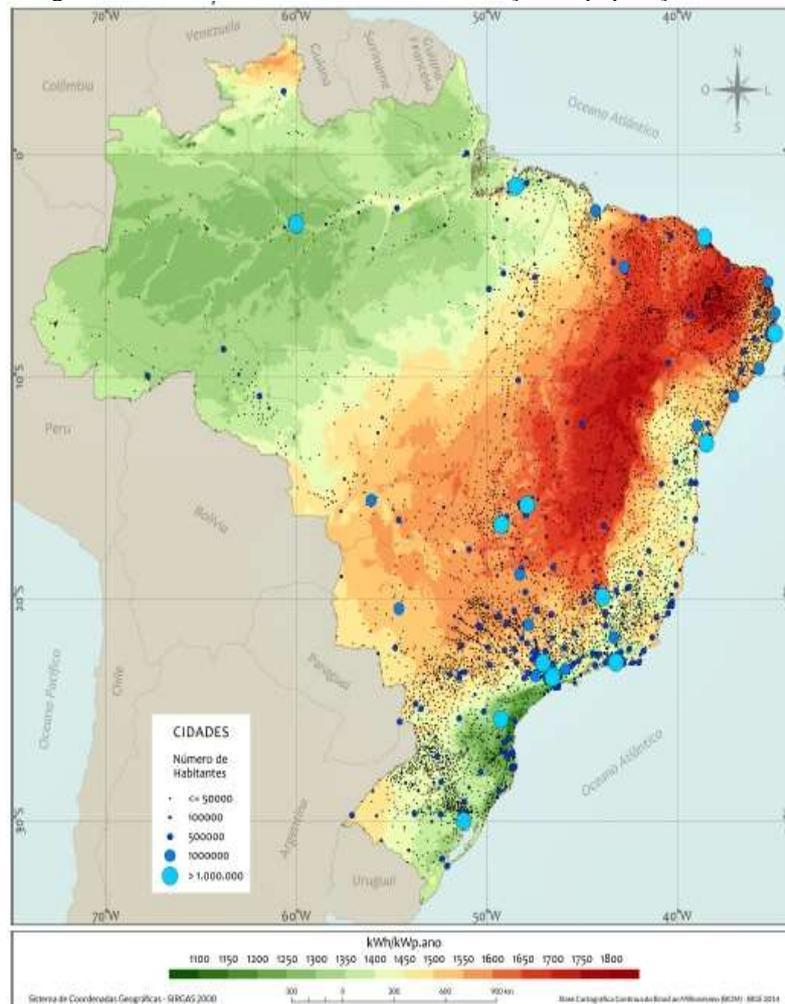
Fonte: CEMIG 2020

## 6.4 - Dimensionamento da Usina Solar Fotovoltaica

O dimensionamento técnico da potência necessária para atender a demanda da Empresa X foi obtido, tendo como base, os dados fornecidos no Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica anual para o Brasil (figura 25), que se trata de um mapa, a partir do qual, é possível se obter por meio da observação da escala inferior, qual o potencial de geração de energia em kwh para cada kwp em qualquer região do território brasileiro. Assim, o índice de produtividade da usina geradora estimado para atender Empresa X é

um valor médio, observado na leitura da escala referente a localização da área de estudo e foi estimado como sendo da ordem de 1550 kWh/kWp ao ano.

Figura 25: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), considerando uma taxa de 80% para geradores fotovoltaicos fixos e de distribuição da população brasil



Fonte: Pereira *et al.*, 2017

Assim, por meio da equação 1, foi possível obter a potência da Usina Solar Fotovoltaica.

$$(1) \quad Pot. = \frac{\text{Consumo Médio Anual}}{\text{Fator de Conversão Anual}} = \frac{706.800 \text{ kWh}}{1550 \text{ kWh/kWp}}$$

$$Pot. = 456 \text{ kWp}$$

Logo em seguida, considerou-se por meio da equação 2, um fator de segurança de 10% sobre a potência necessária para a USFV

$$(2) \quad Pot. \text{ final} = Pot. \times 1,1 = 456 \times 1,1$$

$$Pot. final = 501,6 kWp$$

## 6.5 - Pesquisa de Mercado

Considerando que o valor de 501,6 kWp é a potência instalada necessária para suprir a demanda anual da Empresa X, fez-se um estudo de mercado com quatro empresas que comercializam kits geradores fotovoltaicos amplamente utilizados no território brasileiro. As empresas fornecedoras dos kits, apresentaram os valores, da mão de obra de instalação, dos módulos fotovoltaicos, dos inversores de potência, dos conectores, do cabeamento, das estruturas de fixação no solo e dos materiais periféricos necessários para efetuar a instalação da usina. No entanto, apenas duas destas empresas apresentaram produtos com a melhor relação custo/benefício para a faixa geração de energia solar fotovoltaica em questão, as demais apresentavam boa relação custo/benefício para faixas de geração de energia solar fotovoltaicas superiores a 1MWp.

## 6.6 - Estudo de Viabilidade

No que diz respeito a geração de energia solar fotovoltaica, considerou-se um decréscimo de 1% de potência de geração a cada ano durante os 5 primeiros anos, taxa essa, que foi superior aos 0,79% informado pelo fabricante 1.

Para o retorno de capital da empresa utilizou-se a previsão da taxa de inflação de 2 a 3% ao longo dos 5 anos de projeção.

Já os conceitos para avaliar a viabilidade de aplicação de energia solar fotovoltaica que o mercado e a indústria utilizam na prática são o Custo de Energia Nivelada, o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback (SILVA, 2018).

### 6.6.1 - Custo de Energia Nivelada

A sigla em inglês LCOE (*Levelized Cost of Energy*) significa custo da energia nivelada e relaciona os custos envolvidos, tanto na instalação, quanto na operação, e a energia gerada pelo sistema ao longo de sua vida útil. Esta relação está explícita na equação 3. (Nakabayashi, 2014)

$$(3) LCOE = \frac{C_t}{E_p} = \frac{\text{Custo total ao longo da vida útil}}{\text{Energia produzida ao longo da vida útil}}$$

O Custo total da Usina pode ser calculado com a equação 3.1:

$$(3.1) C_t = Capex + Opex - Residual$$

onde:

- Capex = Custo de construção da usina [R\$]
- Opex = Custo de operação da usina ao longo de sua vida útil [R\$]
- Residual = Valor dos equipamentos ao final da vida útil [R\$]

Como os custos de operação e manutenção de uma usina fotovoltaica são baixos, o custo significativo é notado apenas na fase inicial com a implantação. (SILVA, 2018)

Para o parâmetro “Residual”, considerou-se que o valor dos equipamentos ao final da vida útil como sendo zero, pois adotou-se a hipótese de que os equipamentos serão utilizados até o ponto em que a destinação final fique em ser doados para reciclagem ao invés da hipótese de utilizar as placas fotovoltaicas até comprometer cerca de 50% de sua eficiência e vendê-las. Já os custos de operação e manutenção, são extremamente baixos, segundo a estimativa de EPE (2016b) ficam entre 0,6 e 0,8% ao ano. Por medida de segurança, adotou-se o valor de Opex correspondente a 2% ao ano sobre o montante da implantação da usina.

Aplicando valores na equação 3.1 tem-se o custo total da usina fotovoltaica:

$$Ct = 1.363.353,20 + 27.267,06 - 0$$

$$Ct = R\$ 1.390.620,26$$

Já a energia produzida ( $E_p$ ) ao longo da vida útil da usina é calculada pela equação 3.2:

$$3.2) E_p = E_p \text{ por ano } \times \text{vida útil (anos)}$$

$$E_p = 501,76 \frac{kWp}{ano} \times 25 \text{anos}$$

$$E_p = 12.544 kWp$$

Assim, obtém-se o Custo de Energia Nivelada utilizando a equação 3:

$$LCOE = \frac{R\$ 1.390.620,26}{12.544 kWp}$$

$$LCOE = \frac{R\$110,85}{kWp}$$

### 6.6.2 - Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é a diferença entre os benefícios e os custos gerados pelo projeto. Para calculá-lo é fundamental trazer os fluxos de caixa para o valor presente, já descontados de uma taxa de juros, pois o dinheiro de hoje vale mais que o dinheiro de amanhã e o dinheiro seguro, vale mais que o dinheiro incerto (Nakabayashi, 2014).

Rassarola (2016) prevê três situações possíveis para o VPL:

- VPL > 0: O retorno gerado supera o capital investido e produz um excedente, ou seja, um lucro para o investidor.
- VPL = 0: O retorno gerado apenas devolve o capital investido.
- VPL < 0: O retorno do projeto é incapaz de recuperar o capital investido no prazo considerado.

Para o cálculo de VPL utiliza-se a equação 4:

$$(4) \quad VPL = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_{c_t}}{(1+r)^t}$$

$$VPL = 303.744,6$$

onde:

- $I_o$  = Capital Investido
- $F_{c_t}$  = Fluxo de caixa do projeto no período t
- $r$  = Taxa de desconto
- $t$  = Período
- $n$  = Horizonte de análises do fluxo de caixa

### 6.6.3 - Taxa Interna de Retorno (TIR)

É a taxa que empregada como desconto no VPL que faz com que esse valor seja zero, ou seja, o TIR iguala as saídas e as entradas do investimento igualando o valor final de VPL a zero. A TIR está diretamente relacionada a um conceito mais abstrato, denominado taxa mínima de atratividade (TMA). Esta taxa corresponde ao capital disponível na empresa a ser direcionado a investimentos, ou seja, a melhor taxa para investir, com o menor grau de risco. Quando a TIR é maior que a TMA significa que tal investimento é interessante. (Rossarola, 2016)

A fórmula utilizada para calcular a TIR está descrita na equação 5. (Nakabayashi, 2014)

$$(5) \quad VPL = -I_o + \frac{F_{c1}}{(1 + TIR)^1} + \frac{F_{c2}}{(1 + TIR)^2} + \frac{F_{c3}}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{F_{ct}}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$TIR = 18,19\%$$

A taxa mínima de atratividade informada pela Empresa X foi de 10% ao ano.

### 6.6.4 - Payback

Esta ferramenta significa a análise do tempo de retorno do investimento. Na equação 6 pode-se perceber que diz respeito ao número de períodos necessários para que o fluxo de caixa se torne positivo. O momento inicial do aporte do capital é denominado período zero, os seguintes recebem numerações ou índices para serem contabilizados. Tem-se o *payback* no momento em que o período acumulado das receitas iguala ou ultrapassa o montante dispendido. (Nakabayashi, 2014).

$$(6) \quad \text{Payback} = \sum \frac{\text{Investimento}}{\text{Retorno anual}}$$

$$\text{Payback} = 3,12 \text{ anos}$$

## 6.7 - Prováveis resultados de ordem não financeira

Neste tópico foram considerados alguns aspectos positivos da implementação da usina solar fotovoltaica para a reabilitação da área degradada. Tais aspectos não foram quantificados, mas apenas qualificados, deixando assim uma oportunidade de aprofundamento para futuras discussões. Estes itens foram divididos nos seguintes temas:

- Ambiental;
- Social; e
- Comercial.

## 7 - Resultados

### 7.1 - Consumo energético

A partir dos dados da figura 26 é possível se estimar a energia total consumida efetuando-se a soma entre a energia ativa, que é a energia consumida pelo equipamento quando o mesmo está operando, e a energia reativa, que é a energia utilizada quando os equipamentos se encontram em *stand-by*. Também há de se considerar estes dois tipos de energia, tanto no horário de pico quanto fora dele.

Figura 26: Valores faturados em novembro de 2020

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)
Demanda Ativa kW HFP	396	18,69706426	7.404,02
Demanda Ativa kW HFP s/ ICMS	104	15,33159269	1.594,47
Energia Ativa kWh HFP	50.400	0,43452843	21.900,21
Energia Ativa kWh HP	1.200	2,03882061	2.446,56
Energia Reativa kWh HFP	6.600	0,33668726	2.222,12
Energia Reativa kWh HP	1.800	0,33668726	606,02
<b>Encargos/Cobranças</b>			
Multa 2% sobre conta de 10/2020			327,90
Juros 1%am sobre pagamento em: 25/11/20			65,58

Fonte: CEMIG 2020

Consumo Real = Horas Fora de Ponta + Horas de Ponta

Consumo Real = HFP + HP

Consumo Real = (50.400 + 6.600) + (1.200 + 1.800)

Consumo Real = 60.000 kWh

Nota-se um fato importante, que na figura 27, o valor cobrado referente ao mês de novembro foi de R\$36.566,88, valor este que se refere ao acordado no contrato de

demanda, pois se fosse proporcional ao consumo, os 60.000 kWh encontrados na equação acima, iriam gerar uma fatura no valor de R\$27.174,91. Porém, caso o consumo fosse superior ao acordado no contrato de demanda, a Empresa X paga um valor 3 vezes maior pela energia excedente.

Figura 27: Valor da fatura referente a novembro de 2020

METERIAÇÃO		IP DO CLIENTE	IP DA INSTALAÇÃO
		Referente a	Vencimento
		NOV/2020	16/12/2020
		Valor a pagar (R\$)	
		36.566,88	

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº051222533 - PTA Nº45.000014006.81					
Classe	Subclasse	Multiplicador Tarifário	Data de Letra		Data de Emissão
INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	TMS Verde A4	Anterior	Atual	Próxima
			31/10	30/11	31/12
					04/12/2020

Fonte: CEMIG 2020

Para encontrar um valor que representasse a média anual de consumo energético da empresa, utilizou-se os dados de consumo da fatura da CEMIG (figura 28). No entanto, no histórico de consumo, a CEMIG não deixou explícito o consumo de energia reativa, porém a empresa X informou que, no intervalo de tempo em questão, nenhum equipamento foi adicionado ou retirado, de modo a causar alguma variação no consumo de energia. Sendo assim, considerou-se os valores de energia reativa constantes e iguais a 1.800 kWh nas horas de ponta e 6.600 kWh nas horas fora de ponta. Assim, fez-se a confecção da tabela 1, e com ela foi possível obter o valor de 58.900 kWh por mês, o que caracteriza melhor a média mensal do consumo de eletricidade da Empresa X.

Figura 28: Fatura da CEMIG referente ao histórico anual de consumo da Empresa X

Mês/Ano	Histórico de Consumo				
	Demanda(kW)		Energia(kWh)		
	HP	HFP	HP	HFP	HR
NOV/20	54	396	1.200	50.400	0
OUT/20	258	420	2.400	41.400	0
OUT/20	90	396	600	21.000	0
SET/20	36	396	1.800	41.400	0
AGO/20	150	408	1.800	57.000	0
JUL/20	42	408	1.800	73.800	0
JUN/20	90	396	1.800	56.400	0
MAI/20	36	390	1.200	63.600	0
ABR/20	42	366	1.800	56.400	0
MAR/20	42	390	1.200	40.800	0
FEV/20	48	384	1.200	30.600	0
JAN/20	42	396	1.200	28.200	0
DEZ/19	42	396	1.200	47.400	0

Fonte: CEMIG 2020

Tabela 1: Tabela para cálculo do consumo energético médio mensal

Média de Consumo Energético da Empresa X				
Mês/Ano	Energia Ativa (kWh)		Energia Reativa (kWh)	
	Horas de Ponta	Horas Fora de Ponta	Horas de Ponta	Horas Fora de Ponta
dez/19	1200	47400	1800	6600
jan/20	1200	28200	1800	6600
fev/20	1200	30600	1800	6600
mar/20	1200	40800	1800	6600
abr/20	1800	56400	1800	6600
mai/20	1200	63600	1800	6600
jun/20	1800	56400	1800	6600
jul/20	1800	73800	1800	6600
ago/20	1800	57000	1800	6600
set/20	1800	41400	1800	6600
out/20	2400	41400	1800	6600
nov/20	1200	50400	1800	6600
Média	1550	48950	1800	6600
Consumo Médio Mensal = 58.900 kWh/Mês				
Consumo Médio Anual = 706.800 kWh/Ano				

Fonte: Próprio Autor (2021)

## 7.2 - Dimensionamento de Usina Solar Fotovoltaica

### 7.2.1 - Potência Instalada de USFV

A partir dos dados fornecidos pelo potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para o território brasileiro (figura 25), o país apresenta valores de conversão de energia solar variando de 1450 a 1750 kWh gerados por 1 kWp ao longo de 1 ano. No entanto, ao se fazer o cruzamento de dados da cor predominante na região de Ouro Preto -MG com as cores do perfil de cores mostrado na legenda inferior do mapa, não foi possível atribuir o valor exato que caracteriza o índice de produtividade da usina geradora. Como já discutido no item 6.4, adotou-se então um valor médio de melhor representatividade para a situação que foi o valor de 1550 kWh/kWp por ano.

### 7.2.2 - Empreendimento de USFV para suprir o consumo

Tendo como base os resultados encontrados nos itens 7.1 e 7.2.1 que determinaram o consumo médio mensal de energia elétrica pela Empresa X e o fator de produtividade médio na região de Ouro Preto - MG, encontraram-se os seguintes valores (tabela 2).

Tabela 2: Tabela para cálculo da potência necessária da USFV para suprir a demanda da Empresa X

Região	Ouro Preto - MG
Consumo Médio Anual (kWh)	706800
Fator de Conversão Anual (kWh/kWp)	1550
Potência de USFV Estimada (kWp)	456
Fator de Segurança	10%
Potência com Fator de Segurança (kWp)	501,6

Fonte: Próprio Autor (2021)

### 7.3 - Pesquisa de fornecedores de tecnologia fotovoltaica

Para visualizar melhor a comparação entre potência instalada e os preços comerciais dos dois principais fornecedores no ramo de energia solar fotovoltaica, fez-se as tabelas 3 e 4 e com base nestas confeccionou-se os gráficos 1 e 2 que serviram de base para a elaboração do gráfico 3. Neste, tem-se a comparação final da potência instalada pelo preço oferecido por ambos fornecedores.

Tabela 3: Tabela de preços comerciais praticados pelo fornecedor 1

Fornecedor 1			
Nº de Painéis	Potência Instalada (kWp)	Preço (R\$)	Preço específico (R\$/kWp)
22	7,26	25.505,00	3.513,09
52	17,16	59.549,00	3.470,22
105	34,65	105.932,00	3.057,20
204	67,32	200.668,00	2.980,81
378	124,74	356.157,00	2.855,19
756	249,48	656.900,00	2.633,08
1020	501,76	1.239.412,00	2.470,13
1600	528	1.300.000,00	2.462,12
3200	1.056	2.567.000,00	2.430,87

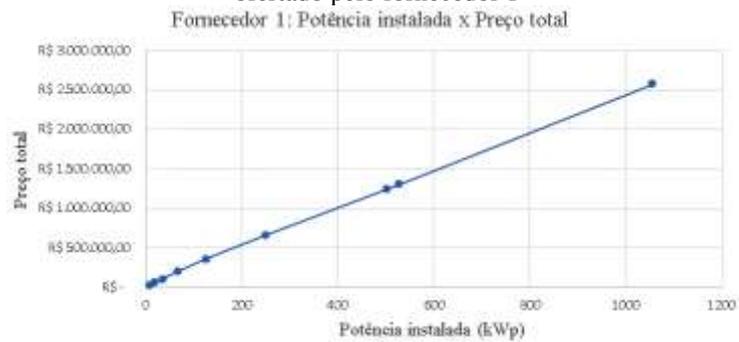
Fonte: Próprio Autor (2021)

Tabela 4: Tabela de preços comerciais praticados pelo fornecedor 2

Fornecedor 2			
Nº de Painéis	Potência Instalada (kWp)	Preço (R\$)	Preço específico (R\$/kWp)
29	9,36	39.390,00	4.208,33
55	17,64	72.000,00	4.081,63
94	29,93	111.590,00	3.728,37
173	55,44	207.904,00	3.750,07
295	94,5	347.689,00	3.679,25
620	198,4	677.950,00	3.417,09
1568	501,76	1.712.428,67	3.412,84
1880	601,6	2.052.590,00	3.411,88
3140	1.005	3.225.638,00	3.210,23

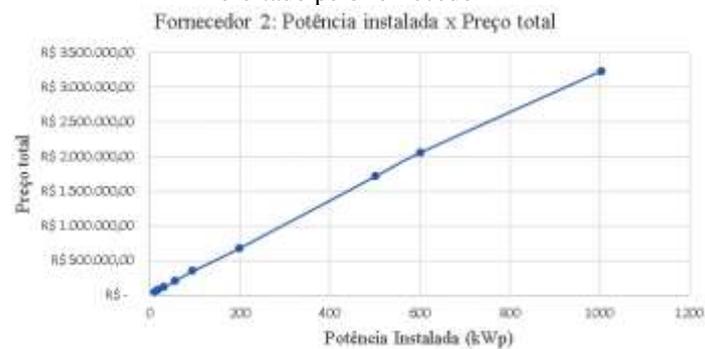
Fonte: Próprio Autor (2021)

Gráfico 1: Gráfico de comparação entre o aumento da potência e seu respectivo aumento de preço ofertado pelo fornecedor 1



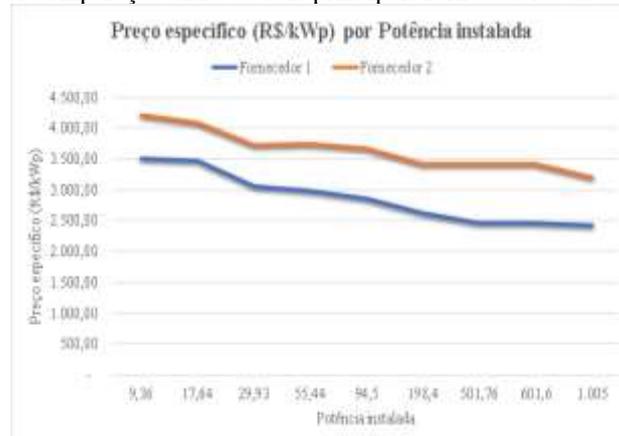
Fonte: Próprio Autor (2021)

Gráfico 2: Gráfico de comparação entre o aumento da potência e seu respectivo aumento de preço ofertado pelo fornecedor 2



Fonte: Próprio Autor (2021)

Gráfico 3: Gráfico de comparação entre os dois principais fornecedores de tecnologia fotovoltaica



Fonte: Próprio Autor (2021)

Ao acompanhar o gráfico 3 gerado a partir dos valores das tabelas 3 e 4 que se referem ao valor do preço específico da energia fotovoltaica, em reais por kilowatt pico, percebe-se que com o aumento da escala, aparentemente os preços tendem a ficar iguais ou até mesmo o fornecedor 2 possuir melhores ofertas que o fornecedor 1 para valores de potência instalada superiores a 1,1 MWp. No entanto, para a faixa de potência instalada de aproximadamente 501,6 kWp que a usina em questão demanda, os preços praticados pelo fornecedor 1 são mais atrativos que os praticados pelo fornecedor 2 e como ambos fornecedores possuem produtos de altíssima qualidade, o fornecedor 1 foi o escolhido.

Ambos os fornecedores alertaram para considerar custos adicionais na ordem de no máximo 10% que possam ocorrer devido a compensações que podem ser necessárias no terreno, como por exemplo, ter que instalar hastes maiores para sustentar algumas placas, por causa do desnível topográfico do local. Sendo assim a tabela 5 apresenta de modo geral a comparação entre os dois fornecedores, em relação aos custos para a execução de um projeto que atende 100% da demanda e um que atende metade da demanda. Nota-se que o valor de 50% do fornecedor 1 corresponde a uma quantidade em kWp maior que os 50% do fornecedor 2, pelo fato de o número necessário de placas para o fornecedor 1 entregar o valor referente à metade da demanda que são 250,88 kWp, resulta na utilização teórica de 757,47 painéis, ou seja, um número não inteiro, logo, arredonda-se para 758 painéis que geram, no final, uma potência de 251,39 kWp. Já o fornecedor 2 consegue entregar a potência de 250,88 kWp utilizando 784 painéis fotovoltaicos.

Tabela 5: Tabela geral de comparação entre os dois principais fornecedores

Empresa	Demanda da USFV (kWp)	Custo específico (R\$/kWp)	Custos adicionais (10%)	Custo total
Fornecedor 1	501,76	2.470,13	123.941,20	1.363.353,20
Fornecedor 2	501,76	3.412,84	171.242,87	1.883.671,54
Fornecedor 1 (50%)	251,39	2.631,84	66.131,30	727.444,27
Fornecedor 2 (50%)	250,88	3.416,35	85.691,04	942.601,49

Fonte: Próprio Autor (2021)

Ao se optar pela instalação total da usina solar fotovoltaica e não apenas de 50% da capacidade demandada, a quantidade de energia gerada por ano será de 777.480kWh, tanto para usina projetada pelo fornecedor 1, quanto pela usina projetada pelo fornecedor 2. Este valor de geração de energia é 10% superior à demanda anual da mina, que por sua vez corresponde ao fator de segurança aplicado anteriormente. Sendo assim, é possível negociar com a concessionária de energia, no caso em questão a CEMIG, o excedente em troca de créditos, que poderão ser consumidos em algum mês seguinte ou transferir estes créditos para outra área de atividade, que é de mesma titularidade da Empresa X.

## 7.4 - Análise de viabilidade

Na tabela 6 estão descritos os dados do Sistema Solar Fotovoltaico e os valores do investimento. Já na tabela 7 tem-se resultados da projeção e análise do investimento durante os 5 primeiros anos.

Tabela 6: Dados do SSSFV e do Investimento

Dados do SSSFV	
Potência Instalada	501,76
Produção por ano (kWh)	777.480,00
Depreciação anual	0,50%
Dados do Investimento	
Capex	R\$ 1.363.353,20
Opex	R\$ 27.267,06
Residual	R\$ -
Custo total da usina	R\$ 1.390.620,26

Fonte: Próprio Autor (2021)

Tabela 7: Projeção e análise do investimento

Projeção				
Ano	Produção kWh/ano	Consumo kWh/ano	Capital retornado	Saldo
0	777480,00	706800	-1390620,26	-1390620,26
1	769705,20	706800	438802,56	-951817,70
2	761930,40	706800	448895,02	-502922,69
3	754155,60	706800	448017,41	-54905,27
4	746380,80	706800	450211,43	395306,16
5	738606,00	706800	451527,83	846833,99
Análise do investimento				
Taxa de Desconto (i)	VPL	TIR	Payback	Payback (tempo)
10,00%	303744,61	18,19%	3,12	3 anos e 2 meses

Fonte: Próprio Autor (2021)

Nota-se que a produção anual da usina solar fotovoltaica projetada, mesmo com a taxa de decaimento maior que a alertada pelo fabricante 1, não variou significativamente nos 5 primeiros anos, e que o consumo, ao longo dos anos, é constante em decorrência do fator de segurança adotado, na metodologia, para cobrir eventuais anomalias no consumo.

O resultado obtido para o Valor Presente Líquido (VPL) foi maior que zero, significando que o projeto retorna o montante investido, e gera lucro para empresa a mineradora que está na posição de investidora, sendo assim o projeto é viável financeiramente.

O valor resultante da Taxa Interna de Retorno (TIR) foi quase o dobro do valor referente à taxa mínima de atratividade, o que mostra claramente que o retorno do projeto é maior que o retorno mínimo desejado pela empresa, logo o projeto pode ser tranquilamente aceito.

Por fim, tem-se que o tempo para recuperar o valor investido, denominado *Payback*, é de apenas 3 anos e 2 meses. Considerando que a vida útil dos painéis, de acordo com o portal solar e os fabricantes, é de no mínimo 25 anos e que durante esse tempo eles ainda possuem aproximadamente 80% de sua eficiência inicial. Pode-se dizer então, que o tempo de retorno do capital é de 12,7% do tempo mínimo de vida útil da usina solar fotovoltaica.

## 7.5 - Benefícios de ordem não financeira

Aqui apresentam-se os resultados complementares deste trabalho, de forma qualitativa tem-se listados os benefícios e retornos não mensurados financeiramente caso a Empresa X opte pela implantação da usina solar fotovoltaica descrita neste trabalho.

### 7.5.1 - Resultados de ordem ambiental

Aspectos ambientais positivos acerca da utilização de energia solar fotovoltaica encontrados na literatura são diversos. Dentre eles, escolheu-se destacar a geração de crédito de carbono, que poderia ser quantificada e acrescida à análise financeira do empreendimento. No entanto, o presente trabalho limitou-se a apenas listar essa oportunidade.

Além do mais, a tecnologia fotovoltaica é uma fonte limpa de emissões. Fato esse que a coloca a frente das outras opções comumente utilizadas e que estão listadas no quadro abaixo.

<b>Fonte</b>	<b>Emissão</b>
Hidroelétrica	Emissão de gases provenientes da matéria orgânica local que foi inundada
Eólica	Emissões de ruídos e vibrações
Termoelétrica	Emissões de gases provenientes da queima de combustível

Assim, tais fontes mostram-se bem inferiores quando comparadas com a energia solar fotovoltaica que não emite gases poluentes.

### **7.5.2 - Resultados de ordem social**

O principal e mais visível efeito social da instalação de uma usina solar fotovoltaica, tanto nesta mineradora, quanto em qualquer outro empreendimento, diz respeito a criação de uma cultura de difusão de conhecimento que atinge principalmente os setores mais baixos da hierarquia corporativa onde estão situados os funcionários com menor nível de escolaridade e coincidentemente os de menor poder aquisitivo, ou seja, pode ser a única oportunidade que terão de ver de perto um sistema fotovoltaico e quem sabe até aderir a tecnologia em suas residências.

Outro efeito social que se destaca é a geração de renda e emprego direta ou indiretamente pelo estímulo da tecnologia que demanda de serviços básicos e operacionais a mão de obra especializada.

### **7.5.3 - Resultados de ordem comercial**

Do ponto de vista comercial, o efeito que se obtém, instantaneamente após o *payback*, é a redução dos custos necessários para a produção da Empresa X.

Outro fato importante se refere ao marketing de se ter uma empresa sustentável, pois com a preocupação com aspectos climáticos, crescente a cada dia, a quantidade de países e companhias que optam por adotar ações alinhadas com políticas ambientais são considerados precursores do Desenvolvimento Sustentável. Fato este que pode ser observado, por meio de negociações entre empresas, que dão preferência a fornecedores que possuam em sua cadeia de produção fontes renováveis de energia. Isso identifica claramente o diferencial competitivo que uma empresa tem em relação a outra.

## **8 - Conclusão**

Os resultados obtidos na análise de viabilidade do empreendimento solar fotovoltaico em questão, tendo como base o ponto de vista técnico dos conceitos aplicados, mostram-se expressivamente favoráveis à implantação para atender 100% da demanda requerida pela Empresa X, devido ao fato dos benefícios gerados serem extremamente atrativos.

Primeiramente tem-se o fato de o tempo para o retorno do investimento ser de apenas 3 anos e 2 meses, o que é relativamente baixo, quando comparado a vida útil da usina que é de aproximadamente 25 anos de operação.

Os ganhos ambientais serem visivelmente superiores ao de outras fontes energéticas comumente utilizadas.

A difusão social da tecnologia fotovoltaica em todos níveis hierárquicos da empresa contribui para a disseminação de conhecimento acerca da energia fotovoltaica, que infelizmente, até então, ainda se encontra muito restrita.

E por fim, o ganho comercial que a empresa adquire por estar à frente da concorrência, ao expressar o seu incentivo à tecnologia, paralelamente a sua preocupação ambiental de se construir um mundo melhor para as próximas gerações.

## REFERÊNCIAS

ABNT (1999). **NBR 13030: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 5p.

ABNT (2018). **NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.

ALVES, C. R. **Levantamento Preliminar das atividades ligadas à extração mineral na área urbana do distrito sede do município de Ouro Preto**. 2001. 110 f. Dissertação (Mestrado – Área de concentração: Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N°482/2012**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2021

BAUER, A.M. **A guide to site development and rehabilitation of pits and quarries**. Toronto: Ontario Department of Mines, 1970. 62p

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**.1997. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Universidade de São Paulo, São Paulo 1997.

BRASIL, 1996. Decreto n.2003. **Regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e autoprodutor e dá outras providências**. *Diário Oficial*. Brasília, 10 set. 1996.

CASSIANO, A.M, CAVALCANTI, R.N. **A importância do gerenciamento ambiental na empresa de mineração de ouro: estudo comparativo de 2 empresas atuantes no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, SALVADOR. Anais... Salvador: SBG-BA, 1996. v.4, p.7-10

CAVALCANTI, R.N. **A mineração e o desenvolvimento sustentável: casos da Companhia Vale do Rio Doce**. São Paulo, 1996. 432p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **25º Balanço Energético do conectado à rede elétrica**. Campinas/SP, ago. 2011.

CEPAM – Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal. **Política municipal de meio ambiente**. São Paulo: Cepam, 1991. 172 p.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanço Energético Nacional (BEN) 2016: Ano base 2015, 2016**. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em 1 jun. 2021

FARIAS, C. E. G. **Mineração E Meio Ambiente No Brasil**. Outubro, 2002. Disponível em:<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/minera.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf)>. Acesso em 1 out. 2021.

GAZOLI, J. R. **Microinversor monofásico para sistema solar fotovoltaico IEA, IEA-PVPS, Trends in photovoltaic applications**. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2007; 2008. IEA – International Energy Agency. Solar Roadmap Targets, 2009.

MAJER, J. D. **Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies**. In: MAJER, J. D. Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands. London: Cambridge University Press, 1989.

MUNN, R.E. **Environmental impact assessment: principles e produces**. Toronto: John Wiley, 1975. 180p. (Seape. Report, 5)

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2014.

OURO PRETO (Cidade). **Informações Gerais**. Ouro Preto, 7 jul. 2010. Disponível em: <<https://ouropreto.mg.gov.br/informacoes-gerais>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

PATRICIO, R. L. **Avaliação de métodos de revegetação de áreas degradadas utilizados na mineração de níquel em Niquelândia Goiás**. Universidade Católica de Brasília, 2009.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar, 2ª Edição, INPE, São José dos Campos, Brasil**. ISBN 978-85-17-00030-0, 2017.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A., **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, CEPTEL – CRESESB**, Rio de Janeiro, 2014.

PNUD; COLUMBIA CENTER ON SUSTAINABLE INVESTMENT; SUSTAINABLE DEVELOPMENT SOLUTIONS NETWORK; WORLD ECONOMIC FORUM. **Atlas: mapeando os objetivos de desenvolvimento sustentável na mineração**. 2017. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/publicacoes/atlas-mineracao-ods.pdf>>. Acesso em: 29/11/2021.

PORTAL SOLAR, 2021; **A energia solar no mundo**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo>>. Acesso em: 26 ago. 2021

PORTAL SOLAR, 2021; **Vantagens e desvantagens da energia solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>>. Acesso em: 25 ago. 2021

QUASCHNING, V. **Understanding renewable energy systems**. Routledge, 2016. SMITH (2013).

ROSSAROLA, A. **Análise econômico-financeira de investimento em energia solar e externalidades: estudo de caso de uma empresa industrial em Santa Catarina**. Santa Catarina 2016.

SÁNCHEZ, L.E. **Projetos de Recuperação: usos futuros e a relação com a comunidade.** In: ENCONTRO DE MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1, 1994. Anais... São Paulo: SAR/PMSP/Epusp, 1995.v.1, p.53-83.

SÃO PAULO. Secretaria da Ciência e Tecnologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Subsídios para o aperfeiçoamento da legislação relacionada a mineração e meio ambiente.** São Paulo: Pró-minério/IPT, 1987. 233p. (IPT. Publicação 1733)

SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Roteiro de EIA/RIMA para empreendimentos minerários e Plano de recuperação de áreas degradada: manual de orientação.** São Paulo: SMA, 1991. 12p. (Série Manuais).

SÃO PAULO. Secretaria de Estado dos Negócios Metropolitanos. Empresa de Planejamento da Grande São Paulo. **Manual técnico para empreendimentos minerais.** São Paulo: SNM/Emplasa, 1982. 2V

SILVA, L. G. L. **Uso de energia solar fotovoltaica na indústria de ferroligas: análise de viabilidade para o setor de ferroligas e estudo de caso aplicado a uma usina de Ferro-Manganês.** 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SOUZA, R., **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica,** 2015. E-book disponível em: <[www.bluesol.com.br](http://www.bluesol.com.br)>. Acesso em: 15 jun. 2021.

TOLMASQUIM, M. T., EPE, **Empresa de Pesquisas Energéticas.** Anuário estatístico de energia elétrica. 2016.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2016. Disponível em: <https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completopt-br-2016.pdf>, Acesso em: 29/11/2021.

URBANETZ JR, J. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Dimensionamento de Sistemas,** 2013, Brasil. CURSO FV EV UTFPR.

VIANA, M. B., TAVARES, W. M., & LIMA, P. C. (2015). **Sustentabilidade e as principais fontes de energia.** Brasília 2016.

WILLIAMS, D.D. **Reabilitação de minas exauridas em Poços de Caldas, MG.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS APLICADAS À GEOLOGIA, 3, 1984, Salvador. Anais ... Salvador: SGB-BA, 1984. p.464-467

WILLIAMS, D.D.; BUGIN, A; REIS, J.B.L., coords. **Manual de Recuperação de Áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: Ibama, 1990. 96p