



ISSN: 2230-9926

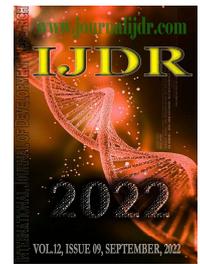
Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 09, pp. 58595-58599, September, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.25258.09.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ON-GRID PARA MINIMIZAR OS CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM MOINHO DE BOLAS

*Guilherme Ianuszkiewicz Marques and Aldo Ramos Santos

Me. Engenharia Mecânica, Universidade Santa Cecília, Santos (SP), Brasil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 21st July, 2022

Received in revised form

28th July, 2022

Accepted 24th August, 2022

Published online 20th September, 2022

Key Words:

Dimensionamento Elétrico, Usina Fotovoltaica, Módulo Fotovoltaico, Moinho De Bolas, Energia Produzida.

*Corresponding author:

Guilherme Ianuszkiewicz Marques

ABSTRACT

Como um dos mais expressivos segmentos econômicos a mineração trouxe inúmeros benefícios para o desenvolvimento do Brasil gerando empregos, influência no PIB, equilíbrio econômico, novastecnologias industriais, dentre outras vantagens e dos bens minerais que mais se destacam está o minério de ferro. Com a elevada demanda de minério de ferro, impulsionada pelo crescimento econômico mundial, as mineradoras têm se empenhado na busca constante pelo melhor aproveitamento das suas reservas minerais. Porém, exige um custo, pois uma quantidade imensa de energia é necessária no processo de beneficiamento de minérios. Para manter a sua competitividade no cenário internacional, as mineradoras têm investido em novas tecnologias para aumento de produtividade, qualidade do produto e, principalmente, economia. Energia renovável é a denominação utilizada para as fontes naturais de energia que conseguem se renovar e assim nunca se esgotam. Para a diminuir o impacto ambiental, iniciaram buscas de tecnologia comprometidas com a redução do aquecimento global dentre outras questões sérias. O objetivo deste trabalho foi atenuar o impacto da mineração com o dimensionamento de energia gasta do moinho de bolas, utilizando um sistema de planta fotovoltaica ligado à rede (*on-grid*), ou seja, corroborar com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) utilizando energia renovável.

Copyright © 2022, Guilherme Ianuszkiewicz Marques and Aldo Ramos Santos. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Guilherme Ianuszkiewicz Marques and Aldo Ramos Santos. "Dimensionamento de uma usina de geração de energia fotovoltaica on-grid para minimizar os custos de energia elétrica de um moinho de bolas", *International Journal of Development Research*, 12, (09), 58595-58599.

INTRODUCTION

A produção mundial de minério de ferro está centralizada em poucos países, sendo a Austrália e o Brasil os maiores produtores com aproximadamente 874 milhões de toneladas em 2021. No Brasil, a produção industrial depende consideravelmente da energia elétrica para o refino e a indústria de mineração, nos quatro últimos anos, correspondeu por volta de 10% do total de energia elétrica consumida no setor manufatureiro com média mensal de 1,019 milhões de MWh (RESENDE, *et al.*, 2021). Apesar do aumento da produção brasileira de minério de ferro, o baixo nível pluviométrico ocorrido nos últimos anos afetou o sistema elétrico provocando o acionamento das usinas térmicas, com um custo de produção muito maior ao das hidrelétricas elevando os preços. Na busca por soluções as indústrias têm se dedicado em ações de eficiência para diminuir a utilização e, conseqüentemente, o custo com energia elétrica, pois o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da mineração em si e do processamento mineral, serão mais significativos no futuro do que são atualmente, provocando nestes setores uma crescente pressão pela redução (HAQUE, 2022). Moinhos de bolas são máquinas utilizadas para moer e diminuir o tamanho de materiais úmidos ou secos, sendo capazes de ter uma grande resistência para

que cada uma das partículas receba um tratamento uniforme. Geralmente é o maior consumidor de energia numa usina de beneficiamento e afeta significativamente os gastos operacionais (WAMBEKE, *et al.*, 2018), sendo que a cominuição corresponde por até 4 % do consumo global de energia elétrica de todo o processo (BORTNOWSKI, *et al.*, 2021). Kallembach, (2012); Amiri e Zare, (2019) e Bortnowski, *et al.*, (2021), estimam que de 50% à 80 % da energia elétrica consumida no processamento mineral esteja associada às operações de britagem e moagem. Energia renovável é a denominação utilizada para as fontes naturais de energia que conseguem se renovar e assim não se esgotam (EISAPOUR, *et al.*, 2021). O crescimento e o desenvolvimento industrial no século XX, principalmente com a exploração de combustível fóssil, levou a um aumento do GEE que impactou diretamente no meio ambiente (PANG, *et al.*, 2019; TIWARI, *et al.*, 2021). Para reduzir o impacto ambiental, iniciaram buscas de tecnologias comprometidas com a redução do aquecimento global (SOLNTSEV, 2018; RAJORIA, *et al.*, 2020; NUKUSHEVA, *et al.*, 2021). Foram explorados como fontes de energia renováveis a solar, eólica, hídrica e geotérmica (SHEIKHOLESLAMI, *et al.*, 2021; GAWUSU, *et al.*, 2022), sendo a energia solar vista como uma das grandes responsáveis pela redução da queima de combustíveis fósseis diminuindo significativamente a concentração de dióxido de carbono na atmosfera (ROCKSTROM, *et*

al., 2009). Painel Fotovoltaico (PV) é um dispositivo projetado para transformar a energia solar diretamente em eletricidade e a corrente elétrica produzida é uma corrente contínua. A transformação da luz em energia elétrica, por meio do PV, é realizada através do processo fotoelétrico, que normalmente acontece quando os fótons presentes na luz solar reagem à descarga de elétrons e, assim, os elétrons liberados produzem eletricidade (AL-WAELI, et al., 2020; ASWAD, et al., 2021). Segundo levantamentos realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEL (2022) e pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica- ABSOLAR (2020), o Brasil alcançou a potência instalada de 4.460MW em 2020, obtendo um crescimento de 45 % em relação ao ano anterior. Porém, apesar de o Brasil ser um país privilegiado pela irradiação solar comparado a outros países, a geração solar fotovoltaica opera somente em torno de 1,6 % (BRASIL, 2019). O objetivo deste trabalho é fazer um estudo simulado do aproveitamento de energia solar para diminuir os custos de energia elétrica dos quatro moinhos de bolas em uma mineradora de ferro.

MATERIAL E MÉTODOS

No Brasil, as grandes mineradoras equivalem a somente 2%, a maioria são compostas por micro e pequenas empresas com produção entre 10 a 100 mil t/ano. Os moinhos cilíndricos de bolas têm a finalidade de efetuar a moagem de materiais reduzindo a granulometria muito finas. Neste trabalho foi estudado em uma pequena mineradora quatro moinhos de bolas. Cada moinho possui a dimensão de 2,9 m de diâmetro e 4,6 m de comprimento, TCS de 76 %, potência do motor de 447 Kw. Por ser um sistema *on grid* há uma subestação de energia própria para fornecer a sua necessidade energética, sendo usadas para produzir, transformar, converter, regular e distribuir energia, ou seja, são vários equipamentos responsáveis por aumentar ou diminuir a tensão da rede elétrica, sendo seu principal componente o transformador. O painel solar com 144 células, medindo 2094x 1134 x 35 mm, monocristalino. STC (Condições padrões de teste): Potência máxima (P_{max})545 W, Tensão máxima de energia (V_{mp})41,07 V, Corrente de potência máxima (I_{mp}) 13,27 A, Tensão de circuito aberto (Voc) 49,65 V, Corrente de curto circuito (I_{sc}) 13,94 A, Eficiência do módulo 21,1 %, Temperatura de operação -40°C a +85°C, Coeficientes de temperatura: P_{max}: (-) 0,35 %/°C, Voc: (-) 0,28%/°C, I_{sc}: 0,048 %/°C, irradiancia 1000 W/m², área 2,2 m². Inversor *string* é um aparelho que converter a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, que são em corrente e tensões contínuas (CC), em tensões e correntes alternadas (CA). Trifásicos, 136 kW, medindo 1008x678x343 mm. Entrada CC: Potência máxima de entrada 400 kW, Tensão máxima de entrada 1500 V, Faixa de operação MPPT 500 ~ 1500 V, Tensão de partida 550 V, Tensão nominal de entrada 1160 V, Corrente máxima de entrada por MPPT 30 A, Corrente máxima de curto por MPPT 50 A, Número de MPPTs 12, Número de strings por MPPT 2. Saída CA: Potência nominal de saída 250kW, Potência nominal aparente de saída 250kVA, Potência ativa máxima de saída 235kW, Potência aparente máxima de saída 235 kVA, Potência nominal (40°C) 250kW, Potência máxima(40°C) 235kW, Tensão nominal de saída 800 V e eficiência máxima 99.0%.

Índice de irradiação solar: Para a obtenção da irradiação solar foi utilizado os mapas solarimétricos do sistema SunData v 3.0, da região do Quadrilátero Ferrífero, localizada no centro sul do Estado de Minas Gerais, com cerca de 7.000 Km², aproximadamente na latitude 20°15'S e longitude 43°30'O. De acordo com o CRESESB (2022), o local apresenta como média de irradiação solar (I_{rs}) no plano inclinado (20°N) 4,88 kWh/m²/dia, conforme Tabela 1.

Modelagem matemática do dimensionamento da usina fotovoltaica: A energia elétrica na usina são unidades consumidores do grupo A (média e alta tensão), subgrupo A1 ≥ 230 kW/h, demanda contratada de potência ativa que é disponibilizada pela distribuidora e que deve ser totalmente paga seja utilizada ou não durante o período de faturamento. Existem três postos tarifários, do horário de ponta, onde o período é definido pela concessionária (3h) consecutivas, com

exceção de sábado, domingo e feriados federais, horário intermediário formado pela hora anterior e posterior ao período de ponta (2h) e horário fora de ponta que é composto pelas horas complementares aos períodos de ponta e intermediário (CARI, 2020).

Cálculos

Energia Gerada (E_g): Divisão dos custos da operação da demanda da energia entre a tarifa de ponta e da tarifa fora de ponta, disposto na Equação 1.

$$E_g = \frac{T_p}{T_{fp}} \quad (1)$$

$$E_g = \frac{0,596440681}{0,35945334}$$

$$E_g = 1,6592 \text{ kWh/dia}$$

Onde: T_p: tarifa de ponta [R\$]; T_{fp}: tarifa fora de ponta [R\$].

Cálculo do custo de disponibilidade (ECD): Valor que a concessionária cobra para disponibilizar energia elétrica ao consumidor. Utiliza-se a demanda contratada de 230 kW/h no valor de R\$ 152,00, conforme Equação 2.

$$ECD = C \cdot D_{contr} \quad (2)$$

$$ECD = 152,00 \cdot 230$$

$$ECD = \text{R\$ } 34.960,00$$

Sendo: C: custo da energia elétrica [R\$]; D_{contr}: demanda contratada [kW/h].

Geração necessária (G_n): Soma do custo de disponibilidade pela divisão entre a energia gerada pelo consumo fora de ponta, dividido por 30 dias, Equação 3.

$$G_n = C_{mp} + (E_g \cdot C_{mfp}) / 30 \text{ dias} \quad (3)$$

$$G_n = 34.960,00 + (1.6592 \cdot 1.622) / 30 \text{ dias}$$

$$G_n = 1.255,04 \text{ kWh/dia}$$

Onde: C_{mp}: consumo médio de ponta [R\$]; E_g: energia gerada [Kwh/dia]; C_{mfp}: consumo médio fora de ponta [R\$].

Potência da usina (P_u): Para se determinar a potência da usina é feita a divisão entre a multiplicação da energia gerada pela irradiação solar no plano inclinado e pela multiplicação entre a irradiação solar incidente no plano dos módulos pela performance ratio, conforme Equação 4.

$$P_u = \frac{E_g \cdot G}{H_{tot} \cdot PR} \quad (4)$$

$$P_u = \frac{1,6592 \cdot 1}{4,88 \cdot 0,85}$$

$$P_u = 4.000 \text{ kWp}$$

$$P_u = 4,00 \text{ MWp}$$

Sendo: E_g: energia gerada [kWh/dia]; G: irradiancia do local STC [W/m²]; H_{tot}: irradiancia solar incidente no plano dos módulos [kWh/m²/dia]; PR: performance ratio.

Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos (TM): A Equação 5, determina a quantidade de módulos necessário para a usina, fazendo a divisão entre as potências da usina e do módulo.

$$TM = \frac{P_u}{E_{modulo}} \quad (5)$$

$$TM = \frac{4.000}{0,545}$$

$$TM = 7.339 \cong 7.340 \text{ módulos}$$

Onde: TM : total de módulos [adimensional]; P_u : potência da usina [kWp]; E_{modulo} : potência do módulo [kWp].

Módulos fotovoltaicos por série (string) (MD_s): No cálculo do STC $V_{oc}49,65V$, foi utilizado fator de segurança + 10% = 54,61 V, dividido pela tensão máxima de entrada do inversor, conforme Equação 6.

$$MD_s = \frac{T_{\text{máx inv}}}{STC_{VOC}} \quad (6)$$

$$MD_s = \frac{1500}{54,61}$$

$$MD_s = 27$$

Sendo: $T_{\text{máx inv}}$: tensão máxima de entrada do inversor [V]; STC_{VOC} : tensão de circuito aberto do painel solar [V].

Quantidade de strings (Q_{st}): Divisão entre o total de módulos pelos módulos em série. Equação 7.

$$Q_{st} = \frac{TM}{MD_s} \quad (7)$$

$$Q_{st} = \frac{7.340}{27}$$

$$Q_{st} = 272$$

Onde: TM : total de módulos [adimensional]; MD_s : módulos por série (string)[adimensional].

Nova quantidade de módulos fotovoltaicos ($T_{m\text{ novo}}$): Com os dados da Equação 7, determina o novo número de módulos, disposto na Equação 8.

$$T_{m\text{ novo}} = MD_s \cdot Q_{st} \quad (8)$$

$$T_{m\text{ novo}} = 27 \cdot 272$$

$$T_{m\text{ novo}} = 7.344$$

Onde: TM : número total de módulos [adimensional]; E_{modulo} : potência do módulo [W].

Eficiência de somente um módulo (η_{mod} %): Para estabelecer a área necessária da usina, calcula-se a eficiência de somente um módulo, fazendo a divisão entre a eficiência do módulo pela multiplicação entre a área do módulo solar fotovoltaico pela taxa de radiação solar em STC, disposto na Equação 9.

$$\eta_{\text{mod}} = \left(\frac{E_{\text{modulo}}}{A \cdot R_{\text{solar}}} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

$$\eta_{\text{mod}} = \left(\frac{545}{2,2 \cdot 1.000} \right) \cdot 100$$

$$\eta_{\text{mod}} = 24,8$$

Sendo: η_{mod} : eficiência do módulo [%]; E_{modulo} : potência do módulo [W]; A : área necessária para instalação do sistema fotovoltaico [m²]; R_{solar} : taxa de radiação solar em STC= 1000 [W/m²].

Cálculo da área de instalação do sistema fotovoltaico (A_{total} /m²): Dividindo o valor da potência da usina pelo resultado da Equação 9, determina-se a área necessária para instalação do sistema fotovoltaico, conforme Equação 10.

$$A_{\text{total}} = \left(\frac{P_u}{\eta_{\text{mod}}} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

$$A_{\text{total}} = \left(\frac{4.000}{24,8} \right) \cdot 100$$

$$A_{\text{total}} = 16.129$$

Onde: A : área necessária para instalação do sistema fotovoltaico [m²]; P_u : valor da potência da usina [kWp]; η_{mod} : eficiência do módulo [%].

Dimensionamento do inversor para a usina (N_{inv}): Quantidade de inversores para a usina, Equação 11.

$$N_{\text{inv}} = \frac{P_u}{P_{\text{ns inv}}} \quad (11)$$

$$N_{\text{inv}} = \frac{4.000}{250}$$

$$N_{\text{inv}} = 16 \text{ inversores}$$

Sendo: P_u : valor da potência da usina [kW]; $P_{\text{ns inv}}$: potência nominal de saída do inversor [kW].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho uma usina fotovoltaica ligada à rede (*on-grid* ou *grid-tie*), foi projetada em uma área de 16.129 m², composta por 7.344 módulos de placas fotovoltaicas, sendo 27 módulos em série, perfazendo 272 strings ligados em 16 inversores. Todo o processo gera uma potência de 4.000 kWp. A energia produzida é levada para uma subestação para compensar a energia elétrica gasta por um moinho de bolas com potência de 373 Kw, conforme Figura 1.

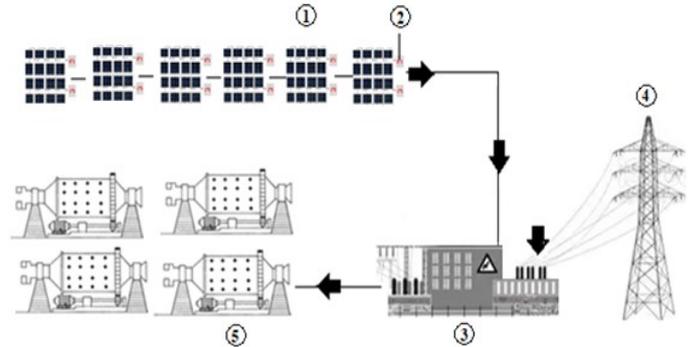


Figura 1. Planta do sistema: 1- Placas solares; 2- Inversor string; 3- Subestação de energia elétrica; 4- Torre de transmissão de energia elétrica; 5- Moinho de bola

Na Tabela 2, foi realizada a multiplicação incluindo os dias do mês, potência instalada (kWh), radiação solar (kWh/m²) e rendimento do inversor, para se determinar a energia mensal produzida, que apresentou durante os doze meses o total de 7047652 kWh e média de 587304 kWh, sendo que no mês de novembro mostrou o menor índice com 510840 kWh, em virtude da menor incidência solar 4,30 kWh/m² e no mês de agosto ocorreu o maior índice com 685001 kWh e uma incidência solar muito maior com 5,58 kWh/m². Já nos demais meses a variação ficou entre 557172 a 628452 kWh. Com relação à potência mensal do moinho de bolas, pode-se mensurar a quantidade de energia gasta pelo mesmo através da potência consumida deste equipamento, que apresentou poucas variações em cada mês, mantendo-se muito próximos entre 1287360 kWh a 1330272 kWh, exceto no mês de fevereiro que apresentou 1201536 kWh por ter somente 28 dias, perfazendo um total de 15662880 kWh e média de 1305240 kWh. Na demanda de energia da concessionária é apresentado o consumo de energia excedente utilizado para alimentar o moinho de bolas. Esse consumo de energia demandado pela concessionária é demonstrado em comparação com a potência consumida pelo moinho de bolas que teve um total de 8615228 kWh

Tabela 1. Índice de irradiação solar- Plano inclinado [kWh/m² dia]

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| 4,86 | 5,33 | 4,74 | 4,76 | 4,56 | 4,69 | 4,90 | 5,58 | 5,29 | 4,87 | 4,30 | 4,66 | 4,88 | 1,28 |

Fonte: CRESESB (2022)

Tabela 2. Energia mensal produzida

| Mês | Dias | Potência Instalada (kWp) | Radiação Solar (kWh/m ²) | Rendimento do Inversor | Energia Mensal Produzida pela Usina (kWh) | Potência de 4 Moinhos de Bolas (kWh) | Trabalho Moinho de Bolas (h/dia) | Potência Mensal dos 4 Moinhos de Bolas (kWh) | Demanda de Energia da Concessionária (kWh) |
|-------|------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Jan | 31 | 4.000 | 4,86 | 0,99 | 596614 | 1788 | 24 | 1330272 | 733658 |
| Fev | 28 | 4.000 | 5,33 | 0,99 | 590990 | 1788 | 24 | 1201536 | 610546 |
| Mar | 31 | 4.000 | 4,74 | 0,99 | 581882 | 1788 | 24 | 1330272 | 748390 |
| Abr | 30 | 4.000 | 4,76 | 0,99 | 565488 | 1788 | 24 | 1287360 | 721872 |
| Mai | 31 | 4.000 | 4,56 | 0,99 | 559786 | 1788 | 24 | 1330272 | 770486 |
| Jun | 30 | 4.000 | 4,69 | 0,99 | 557172 | 1788 | 24 | 1287360 | 730188 |
| Jul | 31 | 4.000 | 4,90 | 0,99 | 601524 | 1788 | 24 | 1330272 | 728748 |
| Ago | 31 | 4.000 | 5,58 | 0,99 | 685001 | 1788 | 24 | 1330272 | 645271 |
| Set | 30 | 4.000 | 5,29 | 0,99 | 628452 | 1788 | 24 | 1287360 | 658908 |
| Out | 31 | 4.000 | 4,87 | 0,99 | 597841 | 1788 | 24 | 1330272 | 732431 |
| Nov | 30 | 4.000 | 4,30 | 0,99 | 510840 | 1788 | 24 | 1287360 | 776520 |
| Dez | 31 | 4.000 | 4,66 | 0,99 | 572062 | 1788 | 24 | 1330272 | 758210 |
| Total | | | | | 7047652 | | | 15662880 | 8615228 |
| Média | | | | | 587304 | | | 1305240 | 717936 |

Fonte: Autores, 2022

e média de 717936 kWh, durante todo o período analisado, onde se constata que nos meses de fevereiro, agosto e setembro, em que a energia produzida pelo sistema fotovoltaico foi maior em virtude da maior incidência solar, a demanda da concessionária foi menor.

CONCLUSÃO

O mundo está cada vez mais preocupado com o aumento e o desenvolvimento industrial desordenado, causando impactos ambientais muitas vezes irreversíveis e, com isso, a utilização de fontes naturais de energias ganham cada vez mais espaço. Atualmente vários países têm diminuído a utilização de combustíveis fósseis, preocupados, principalmente, com o aumento do aquecimento global. A energia fotovoltaica está passando por um grande crescimento com potencial quase ilimitado, pois a luz solar fornece uma energia mais limpa sem a presença de carbono. Neste trabalho foi projetada a planta e realizado o dimensionamento de um arranjo fotovoltaico para diminuir a energia elétrica gasta por um moinho de bolas. Concluiu-se que, a energia produzida anualmente pela usina foi de 7047652 kWh, sendo a média mensal de 587304 kWh, e demonstrando que a energia mensal produzida pelo sistema fotovoltaico gerou economia, em média de 45% para a potência do moinho de bolas mostrando a eficiência na utilização dos painéis solares aplicados na mineração.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. 2020. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Infográfico Solar. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 11 abr 2022.
- Al-Waeli, A. H.; Kazem, H. A.; Chaichan, M. T. and Sopian, K. 2020. A review of photovoltaic thermal systems: Achievements and applications. *Int J Energy Res*. DOI: 10.1002/er.5872.
- Amiri, S. H.; Zare, S. 2019. Influence of grinding and classification circuit on the performance of iron ore beneficiation – A plant scale study. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. p.1–10. DOI:10.1080/08827508.2019.1702982.
- ANNEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. 2022. Geração Distribuída. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em 11 abr 2022.
- Aswad, T. S. N.; Razali, M. A. B. and Al-Waily, M. 2021. Numerical study of the shape obstacle effect on improving the efficiency of photovoltaic cell. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. v. 44 2. p. 209-224. ISSN: 1024-1752.
- Bortnowski, P.; Gladysiewicz, L.; Król, R. and Ozdoba, M. 2021. Energy efficiency analysis of copper ore ball mill drive systems. *Energies*. v. 14. issue 6. p. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14061786>.
- BRASIL. 2019. Ministério de Minas e Energias. Secretaria de Energia Elétrica- Departamento de Gestão do Setor Elétrico. Disponível em: < <http://antigo.mme.gov.br/documents/20182/6dac9bf7-78c7-ff43-1f03-8a7322476a08>>. Acesso: 12 abr 2022.
- Cari, E.P. T. 2020. Introdução à sistemas fotovoltaicos, dimensionamento e instalação. Disponível em: < http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/wp-content/uploads/2020/09/Apostila_Modulo1_Introducao_a_Sistemas_Fotovoltaicos_Revisa_12set2020.pdf>. Acesso em: 22 ago 2022.
- CRESESB. 2022. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito- CEPEL- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: < <http://www.cresesbcepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 12 abr 2022.
- Eisapour, A. H.; Eisapour, M.; Hosseini, M J.; Shafaghat, A. H.; Sardari, P. T. and Ranjbar, A. A. 2021. Toward a highly efficient photovoltaic thermal module: Energy and exergy analysis. *Renewable Energy*. v. 169. p. 1351-1372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.110>.
- Gawusu, S.; Zhang, X.; Jamatutu, S. A.; Ahmed, A.; Amadu, A. A. and Miensah, E. D. 2022. The dynamics of green supply chain management within the framework of renewable energy. *International Journal of Energy Research*. v. 46. Issue 2. p. 684-711. DOI: <https://doi.org/10.1002/er.7278>.
- Haque, N. 2022. Chapter 20 - Life cycle assessment of iron ore mining and processing. *Iron Ore Second Edition. Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. p. 691-710. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-03685-3>.
- Kallembach, R. D. C. 2012. Investigação da moagem de misturas binárias em moinhos de bolas. 139 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro:RJ.
- Nukusheva, A.; Ilyassova, G.; Rustembekova, D.; Zhamiyeva, R. and Arenova, L. 2021. Global warming problem faced by the international community: international legal aspect. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*. v. 21. p. 219–233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10784-020-09500-9>.
- Pang, W.; Cui, Y.; Zhang, Q.; Wilson, G.J. and Yan, H. 2019. A comparative analysis on performances of flat plate photovoltaic/thermal collectors in view of operating media, structural designs, and climate conditions. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*.v. 119. March. 109599. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109599.
- Rajoria, C. S.; Kumar, R.; Sharma, A.; Singh, D. and Suahag, S. 2020. Development of flatplate building integrated photovoltaic/thermal BIPV/T system: A review.*Materials Today: Proceedings*. v. 46. Part 11. p. 5342-5352. DOI:10.1016/j.matpr.2020.08.790.
- Resende, M.; Leal, J. and Simoni, J. 2021. Electricity demand in their on orein dustry:Evidence from Brazil. *Economics Bulletin*. v. 41. n.3. p. 929-937.
- Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K. *et al.*2009. A safe operating space for humanity. *Nature*. v. 461. p. 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
- Sheikholeslami, M.; Farshad, S. A.; Ebrahimpour, Z. and Zafar, S. 2021. Recent progress on flat plate solar collectors and photovoltaic systems in the presence of nanofluid: A review. *Journal of Cleaner Production*. v. 293. 126119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126119>.
- Solntsev, A. M. 2018. Climate change: International legal dimension. *Moscow Journal of International Law*. v. 1061. p. 60–78. DOI: <https://doi.org/10.24833/0869-0049-2018-160-78>.
- Tiwari, A.; Alashoar, O. A. and Dimri, N. 2020. Modeling and validation of photovoltaic thermoelectric flat plate collector PV-TE-FPC. *Energy Conversion and Management*. v. 205. 112378. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112378.
- Wambeke, T.; Elder, D.; Miller, A.; Benndorf, J. and Peattie, R. 2018. Real-time reconciliation of a geometallurgical model based on ball mill performance measurements – a pilot study at the Tropicana gold mine. *Mining Technology*, 127:3, 115-130. DOI: 10.1080/25726668.2018.1436957.
