



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2021) v. 8, n. 2, pp. 27–36
<https://doi.org/10.21712/lajer.2021.v8.n2.p27-36>

Diagnóstico da energia elétrica na extração de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo

Diagnostic of electric energy in the extraction of dimensional stones in the state of Espírito Santo

Yolacir Carlos de Souza Santos^{1,*}, Renata Gomes de Jesus², João Antônio Vasconcelos¹

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética, Instituto Federal do Espírito Santo-Ifes, campus Vitória, ES, Brasil

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética, Instituto Federal do Espírito Santo-Ifes, campus Vitória, ES, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: yolacir@yahoo.com.br

Received: 17 August 2021 | Accepted: 20 September 2021 | Published online: 09 January 2022

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo a elaboração do diagnóstico do uso da energia elétrica no setor extrativo de rochas ornamentais capixaba, utilizando-se como ferramenta a análise das informações dos Relatórios Anuais de Lavra apresentados à Agência Nacional de Mineração, bem como a aplicação de questionários direcionados às empresas do setor extrativo do Espírito Santo. As informações obtidas através dos Relatórios Anuais de Lavra propiciaram o entendimento das principais fontes de energia elétrica e do indicador de intensidade energética referente à produção das rochas ornamentais. Por sua vez, as análises dos dados apresentados como resposta aos questionários oportunizaram o entendimento de uma forma mais depurada das principais fontes de energia elétrica, bem como a percepção das empresas no tocante à gestão da energia elétrica, ações de eficiência energética e conhecimento da norma ISO 50001. Por fim, verificou-se que o setor extrativo mineral se apresenta com uma grande oportunidade na temática de gestão e eficiência energética.

Palavras-chave: rochas ornamentais, diagnóstico energético, gestão da energia e eficiência energética.

Abstract: This study aimed to prepare a diagnostic of the use of electricity in the extractive sector of dimensional stones in Espírito Santo, using as a tool the analysis of information from the Annual Mining Reports (RAL's) presented to the National Mining Agency (ANM), as well as the application of questionnaires aimed at companies in the extractive sector in Espírito Santo. The information obtained through the RAL's provided an understanding of the main sources of electrical energy of the energy intensity indicator referring to the production of dimensional stones. The analysis of the data presented through the questionnaires provided the opportunity for a more refined understanding of the main sources of electric energy, as well as the perception of companies regarding electric energy management, energy efficiency actions and knowledge about the ISO 50001 standard. Finally, it was found that the mineral extraction sector presents itself with a great opportunity in terms of energy management and energy efficiency.

Keywords: dimensional stones, energetic diagnostic, energy management, energy efficiency.

1. Introdução

No contexto da sustentabilidade, a temática da eficiência energética nas atividades de mineração tem papel preponderante nos três aspectos fundamentais do desenvolvimento sustentável. No aspecto econômico, propicia diminuição do custo da energia, melhor utilização dos recursos; no aspecto social, contribui para conscientização energética dos trabalhadores e clientes, auxiliando na garantia energética para futuras gerações e melhoria da imagem do setor perante a sociedade; e por fim, no aspecto ambiental, propicia redução das emissões de CO₂ (Palmure, 2016).

O setor mineral, a nível mundial, consolida-se como o segundo maior consumidor de energia, e a utilização deste importante insumo, por sua vez, ocorre em todas as operações unitárias, sejam estas, na exploração, exploração e beneficiamento (Purhamadani et al., 2021). Neste, de forma geral, a energia é utilizada sob a forma da eletricidade, de energia térmica (calor ou resfriamento) e de combustíveis líquidos (Awuah-Offei, 2016). Holmberg et al. (2017) destacam que o setor mineral é responsável por um consumo estimado de 4 a 7% da energia mundial. Nesta esteira, e adentrando ao contexto nacional, verifica-se, desde o ano de 2012, iniciativas do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) no sentido de priorização de ações de gestão do uso de energia no setor, seja na dimensão econômica (redução de custos operacionais) quanto na ambiental (diminuição da pegada de carbono do setor). Esta mesma organização social, no contexto das eleições gerais de 2018, elencou diversas oportunidades para o setor mineral, e muito destas, vinculadas à questão energética, como por exemplo, a busca do desenvolvimento de base tecnológica, visando a implementação de ações de energia limpa e adoção/substituição de energias de matriz fósseis por energias renováveis, destacando formas alternativas de geração e armazenamento de energia (IBRAM, 2018).

Por outro lado, dentro do contexto mineral brasileiro, o setor de rochas ornamentais pode ser definido como uma atividade extrativa com característica de baixa intensidade tecnológica no processamento de recursos minerais, reduzidas exigências em termo de escala mínima de produção, caráter exógeno de inovação tecnológica incorporada de maneira geral, a partir dos equipamentos e com capacidade empreendedora do dirigente como fator crítico para a sua competitividade (Spínola, Guerreiro; Bazan, 2004). Em se tratando do estado do Espírito Santo, dados do antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), apontam que no ano de 2017, existiam 257 minas para extração de rochas ornamentais em operação que foram responsáveis pela produção de 2.720.516 toneladas, gerando uma receita bruta de R\$ 511.316.482,00 (DNPM, 2018). Chiodi Filho (2018), por sua vez, destaca em termos da produção bruta, valores ligeiramente superiores aos apresentados pelo DNPM, sendo estes da ordem de 3.400.000 toneladas, o que representa 37% de toda a produção brasileira de rochas ornamentais.

Assim, e considerando todo o contexto acima descrito, e visando o desenvolvimento de futuras ações de eficiência energética, faz-se importante o diagnóstico, do ponto de vista do uso da energia elétrica, do setor de extração de rochas ornamentais, sendo este o objetivo principal do presente artigo.

2. Referencial teórico

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define rocha ornamental como sendo o “material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética” (ABNT, 2013, p. 1). Em termos mercadológicos, e não petrográficos, os três principais grupos de rochas ornamentais são as rochas silicáticas, abrangendo os monozitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásicos/basaltos e os próprios granitos; as rochas carbonáticas, tais como mármore, travertinos dentre outros, e por fim, as rochas silicosas tais como quartzitos, metaglomerados e quartzo (Abirochas, 2019).

Em termos de produção mundial, o Brasil consolida-se como quarto maior produtor de rochas ornamentais, estando atrás da China, Índia e Turquia, e como o quinto maior exportador, estando atrás dos países acima destacados, e ainda, da Itália (Montani, 2017). Observado o cenário nacional, verifica-se que os estados do Espírito Santo e Minas Gerais se destacam como os maiores produtores de rochas ornamentais do Brasil, sendo responsáveis por nada menos do que 57% da produção brasileira (Chiodi Filho, 2018). Em se tratando das terras capixabas, verifica-se a existência de atividades de extração de rochas ornamentais, em quase a totalidade dos seus 78 municípios. Contudo, algum destes municípios apresentam uma maior relevância em termos de produção mineral, como por exemplo, os municípios de Barra de São Francisco, Nova Venécia e Ecoporanga, quando se trata de rochas silicáticas de colorações brancas e amarelas, os municípios de Colatina, Alegre e Aracruz com rochas silicáticas de colorações pretas, os municípios de Venda Nova do Imigrante, Castelo, Afonso Cláudio com rochas silicáticas de colorações acinzentadas, os municípios de Baixo Guandu e Pancas com rochas silicáticas de colorações esverdeadas, e por fim, os municípios de Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Vargem Alta, responsáveis por toda a produção de mármore do estado espírito-santense (Sardou Filho, 2013).

Em se tratando da exploração propriamente dita, Vidal et al. (2014) a define como uma atividade que objetiva a remoção de material útil ou economicamente aproveitável, a partir de maciços rochosos e/ou matacões, tendo como produto desta, blocos de arestas com dimensões variáveis, visando o ulterior aproveitamento, a partir de etapas posteriores de beneficiamento. Com relação à metodologia da lavra, a extração mineral pode ser classificada como céu aberto ou subterrânea, com predominância em nosso país de atividades de lavra pelo método a céu aberto. O ciclo de operações para extração de rochas ornamentais,

pode ser subdividido nas seguintes etapas unitárias: decapeamento do maciço rochoso/matacão, desmonte primário (separação do "filão" do seio da rocha), tombamento do filão, desmembramento da prancha em blocos e movimentação de blocos (Maior, 2013).

Em se tratando de tecnologia de lavra utilizado no estado do Espírito Santo, o trabalho desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia (MME) na região noroeste do estado, identificou que os equipamentos mais utilizados na extração de rochas silicáticas eram nesta ordem: perfuratrizes manuais, compressores (móveis e estacionários), máquinas de fio diamantado, escavadeiras hidráulicas, martelos fundo de furo (DTH), perfuratrizes sobre rodas e caminhões em geral (MME, 2013). Do ponto de vista energético, a extração de rochas ornamentais no Estado do Espírito Santo tem como fontes primárias energéticas, a energia elétrica proveniente das concessionárias ou geradas através de equipamentos a diesel e ainda, a energia gerada a partir da queima de combustíveis fósseis, principalmente para o funcionamento dos principais equipamentos móveis (MME, 2013; Sardou Filho, 2013).

Acerca de estudos na temática energética da indústria de extração de rochas ornamentais no Brasil, destaca-se os trabalhos realizados pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), no âmbito do Inventário do Ciclo de Vida das rochas ornamentais (ICV Rochas), onde pode ser destacado o trabalho de Castro et al. (2016), em que restou verificado que em termos de energia, são consumidos 0,65 kWh em energia elétrica e 17,41 kg de óleo diesel, para produção de 1 metro cúbico de granito na mina. Por sua vez, Gadioli et al. (2018), obtiveram resultados divergentes, concluindo pela necessidade de 50,88 kWh em energia elétrica e 9,99 kg de óleo diesel, para produção do mesmo volume de granito. Na Itália e Grécia, grandes *players* mundiais de extração de mármore, merecem destaque os trabalhos de Taxiarchou e Kostopoulou (2007), Founti et al. (2010), Traverso et al. (2010), Gazi et al. (2012) e Capitano et al. (2014).

Taxiarchou e Kostopoulou (2007) ao analisarem a extração de rochas ornamentais realizadas na Grécia, concluíram que a extração de granitos possui consumo energético da ordem de 2 a 2,5 vezes maior, quando comparada à extração de mármore. Founti et al. (2010), analisaram o potencial de economia de energia em uma pequena empresa de extração de mármore na Grécia, concluindo que os geradores a diesel, em função de suas características construtivas, geravam um excedente de 35,8% de energia elétrica necessária às operações de lavra.

Traverso et al. (2010) realizaram o estudo de avaliação de ciclo de vida (ACV) da cadeia produtiva do mármore italiano, levando em consideração as atividades de extração, beneficiamento primário e secundário.

Gazi et al. (2012) ao analisar, sob a ótica da avaliação ambiental e eficiência energética, as operações de uma típica empresa de extração de mármore na Grécia, observaram que a maior demanda energética era proveniente das atividades de beneficiamento, e que a energia utilizada nas atividades extrativas de mármore provinham, quase em sua totalidade, de combustíveis fósseis, motivo pelo qual, as ações de eficiência nesta etapa, estavam diretamente correlacionadas à ganhos ambientais, principalmente na redução de gases do efeito estufa.

Capitano et al. (2014) ao analisarem a atividade de extração de mármore italianos sob o ponto de vista ambiental, observaram a utilização das seguintes fontes de energia: óleo diesel (utilizado nos equipamentos de transporte e carregamento), explosivos, água e energia elétrica. Do estudo de Capitano et al. (2018), ao se analisar a extração de mármore na região italiana de Custonaci, verificou-se a necessidade de 10,97 Kwh em energia elétrica para produção de 1 m³.

Dos países ibéricos, destaca-se o trabalho de Mendoza et al. (2013), que ao analisar a extração de granitos da Espanha, verificou que o maior consumo energético das atividades na extração estava associado às operações de transporte e carregamento de blocos, estando o consumo de energia elétrica restrito às atividades de corte com máquinas de fio diamantado.

Por sua vez, Catarino et al. (2016) destacaram a necessidade da implementação de ações de eficiência no uso da energia na extração de mármore portuguesa, no contexto do desenvolvimento sustentável. Vintro et al. (2014) através da análise de questionários aplicadas às empresas de extração mineral da região de Catalunha (britas e rochas ornamentais), verificaram que 50% das empresas adotam práticas de controle e redução de energia em seus processos produtivos.

Crishna et al. (2011) ao realizar os estudos das fontes energéticas utilizadas na extração de rochas ornamentais no Reino Unido, verificaram que a atividade de extração estava diretamente atrelada ao uso de combustíveis fósseis, ficando o uso da energia elétrica às atividades de bombeamento de água e aos escritórios nas proximidades das minas.

Estudos de inventário do ciclo de vida (ICV) de granito, do *Natural Stone Council*, Universidade do Tennessee, identificaram a necessidade de uma demanda de energia elétrica de 51,87 kWh para a extração

de 1 tonelada de granito em minas instaladas nos Estados Unidos e Canadá (NATURAL STONE COUNCIL, 2009).

3. Procedimentos metodológicos

O procedimento metodológico utilizado para o alcance do objetivo do presente trabalho foi estruturado em duas etapas distintas, a saber: a coleta e tratamento das informações da matriz energética elétrica apresentadas pelas empresas mineradoras através dos RAL's ano-base 2018 e a coleta e tratamento das informações de empresas mineradoras que responderam ao questionário encaminhado por meio de endereço eletrônico.

3.1 Obtenção das informações da matriz energética

O RAL estatuído pelo Código de Mineração (Decreto Lei nº 227/1967) constitui-se da forma pela qual, anualmente, os detentores de direitos minerários junto à ANM que possuam títulos autorizativos de lavra¹ vigentes, apresentam as informações de suas atividades de extração mineral. Atualmente, esta declaração é realizada por intermédio da ferramenta denominada *RalWeb*. Dos dados obrigatórios de serem apresentados através do RAL, destacamos: informações relativas às minas operacionalizadas pela empresa (localização, situação operacional; nome etc.), escala de produção da mina, volume comercializado, recuperação da lavra, aspectos ambientais, principais insumos utilizados para a produção mineral, matriz energética etc.

Desta forma, e a partir das informações disponibilizadas pela ANM, realizou-se para a obtenção das informações de interesse do presente trabalho, as etapas descritas na Figura 1.

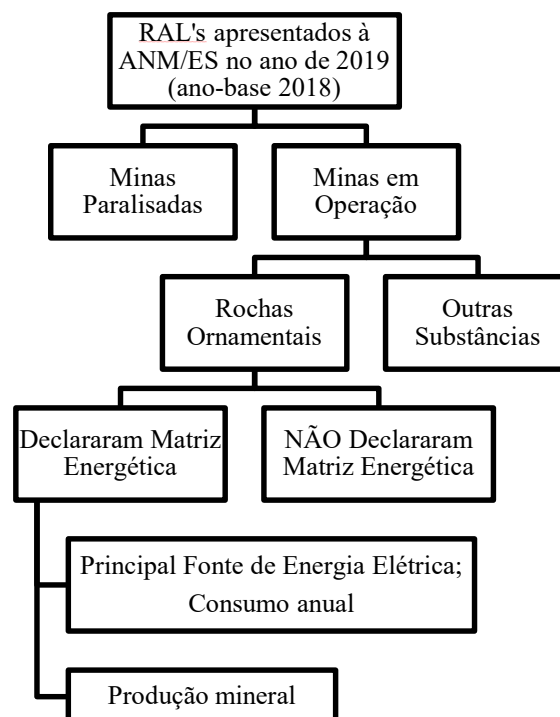


Figura 1. Representação das etapas descritas para obtenção das informações referentes às minas de extração de rocha ornamental em operação no ano-base 2018.

A partir dos dados referentes as minas de rochas ornamentais que estiveram em operação no ano-base de 2018, foi realizada a consulta de forma individualizada, no intuito de verificar se uma determinada empresa realizou a declaração de sua matriz energética, de tal sorte, que nas empresas em que houve a declaração desta informação, foi possível a verificação da matriz energética principal para aquisição de energia elétrica necessária às operações (terceiros ou geração própria), bem como o balanço da energia elétrica referente ao ano-base em estudo. Ademais, foi possível a obtenção dos volumes produzidos em cada uma das minas onde houve a declaração da matriz energética. Tais informações propiciaram a realização do cálculo do indicador de intensidade energética (kWh/tonelada produzida).

¹ Autorização do Governo Federal para realizar atividades de extração mineral

A partir de então, e buscando uma melhor análise das informações obtidas, houve a subdivisão das rochas ornamentais em dois subgrupos: rochas silicáticas e rochas carbonáticas.

3.2 Questionários aplicados aos representantes das empresas

A análise dos dados obtidos através da etapa destacada no item 3.1 propiciou o conhecimento de forma quantitativa da energia elétrica utilizada na extração de rochas ornamentais. Contudo, restaram diversas questões a serem respondidas, tais como: entendimento da motivação do uso de uma determinada fonte em detrimento de outras, consumo energético por equipamento, identificação do nível de conhecimento das empresas em relação ao consumo da energia elétrica, e por fim, a forma que a gestão deste importante insumo tem sido conduzida na etapa extrativa de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo.

Desta feita, e objetivando a obtenção das respostas das questões acima destacadas, houve a formulação de questionários que foram encaminhados aos representantes das empresas que possuíam minas em operação no estado do Espírito Santo no ano-base 2018, destacando, que a captação dos endereços eletrônicos foi realizada através das informações cadastradas no RAL, bem como no sítio eletrônico dos sindicatos representativos do setor no estado do Espírito Santo. Os questionários foram realizados com a utilização de ferramenta *Google Forms* e encaminhados às empresas no mês de dezembro de 2019, ficando disponíveis para resposta até o final do mês de março de 2020.

4. Resultados e discussões

4.1 Informações disponibilizadas nos relatórios anuais de lavra (ano-base 2018)

Da análise das informações dos RAL's ano-base de 2018, restou verificado que das 271 minas em que houve declaração de produção, 171 minas declararam no campo adequado, a matriz da energia elétrica de suas atividades, sendo destas, 142 minas produtoras de rochas silicáticas e 29 minas produtoras de rochas carbonáticas.

Em relação ao total geral de produtoras de rochas silicáticas, o número de 142 representa o percentual de 61% do total de minas que extraíram este material no ano de 2018; e em relação as fontes da energia elétrica, 107 minas declararam energia elétrica provenientes das concessionárias, 22 declararam a utilização de geradores a diesel, e por fim, 13 com a utilização de ambas as fontes.

Em relação ao consumo anual de energia elétrica, verificou-se que 34,92% das fontes de energia apresentadas no ano de 2018 tiveram um consumo anual inferior a 9.999 kWh/ano, valor este, comparável ao consumo de residências no Estados Unidos (Fedrigo et al., 2009). Tal situação, poderia ser explicada *a priori* pela declaração, por parte do empreendedor, de informação não condizente à realidade do empreendimento mineiro. Contudo, e ao considerarmos o contexto da atividade de extração de rochas ornamentais, podem haver situações em que a metodologia de lavra esteja relacionada a realização de cortes cíclicos, onde há um predomínio das operações de perfuratrizes que dependem quase exclusivamente do suprimento de ar provenientes de compressores, sendo estes, em sua maioria, movidos a motores diesel, situação esta em que poderia haver subnotificação do consumo de energia elétrica da empresa. Nestas situações, poderá ocorrer o fato em que energia elétrica declarada a ANM, seja referente, quase que exclusivamente, às edificações de apoio das atividades extrativas, o que prejudica sobremaneira a análise do conjunto dos dados.

Em termos do indicador de intensidade energética, definida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), como montante de energia necessária para produção de uma unidade de produto final ou serviço, sendo esta, a razão entre um indicador energético e um indicador de atividade, verificou-se a necessidade de 21,40 kWh de energia elétrica para a produção de 1 tonelada de rocha silicática, valor este, próximo ao encontrado por Gadioli et al. (2018).

Em relação ao total geral de produtoras de rochas carbonáticas, o número de 29 corresponde ao percentual de 72,5% das minas que estiveram em operação no ano de 2018, e em relação as fontes de energia elétrica, 23 declararam que esta era proveniente das concessionárias e 6 de geradores a diesel. No que tange ao consumo de energia elétrica, 40% do total das minas, declararam a ANM consumo de energia inferior a 9.999 kWh/ano, o que não condiz *a priori* com as atividades de extração de mármore. Nesta temática, as mesmas situações descritas em relação às rochas silicáticas poderiam se aplicar às rochas carbonáticas. Em relação ao indicador energético, verificou-se a necessidade do consumo de 35,19 kWh em energia elétrica para a produção de 1 tonelada de rocha carbonática, valor este, muito acima ao encontrado no trabalho de Capitano et al. (2018), e em sentido contrário aos dados obtidos por Taxiarchou

e Kostopoulou (2007). Esta situação, *a priori*, poderia ser explicada pela falta de qualidade das informações prestadas junto à ANM.

4.1 Análise das respostas das empresas de extração de rocha ornamental do estado do Espírito Santo

No período compreendido entre dezembro de 2019 e março de 2020, um total de 18 empresas responderam ao questionário disponibilizado por intermédio do *Google Forms*. Estes, em sua maioria, foram respondidos pelos engenheiros vinculados às operações da mina, havendo, entretanto, respostas realizadas pelos sócios-administradores das empresas. Cabe destacar, que o convite para participação na pesquisa foi extensivo à todas as empresas que tiveram minas em operação no estado no ano de 2018, totalizando 292 *e-mails* encaminhados. Contudo, em relação a representatividade das empresas respondentes, verifica-se que estas, foram responsáveis no ano de 2018, pela produção de 33,61% da produção de rochas silicáticas e 44,44% das rochas carbonáticas. Em relação a número de minas operacionalizadas pelas empresas participantes da pesquisa, tem-se o somatório de 38, correspondendo a 14% das minas em operação no estado do Espírito Santo no ano de 2018.

Destacamos nas Figuras 2, 3, 4 e 5 a caracterização das empresas participantes da pesquisa, no que se refere ao número de minas em operação, produção mineral, número de colaboradores e tipologia do material extraído.

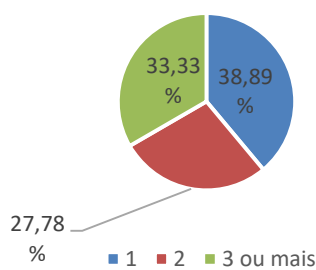


Figura 2. Número de minas em operação no ano de 2018.

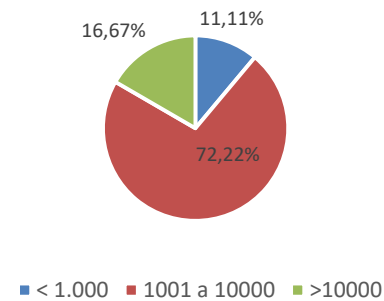


Figura 3. Produção mineral (t/ano) no ano de 2018.

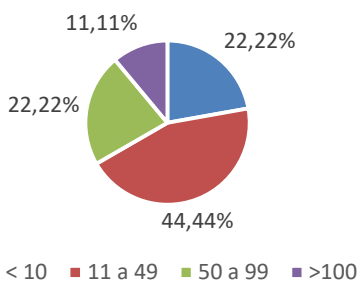


Figura 4. Número de colaboradores nas minas no ano de 2018.

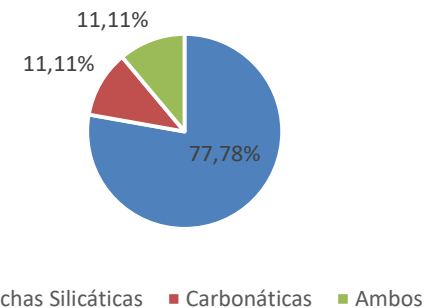


Figura 5. Tipologia do material extraído nas minas.

Observando os dados acima destacados, verifica-se a existência de aderência à realidade do setor de extração de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo, visto que, 76% das minas em operação no estado capixaba possuem produção mineral abaixo de 10.000 toneladas/ano (DNPM, 2018).

Em relação às fontes de obtenção de energia elétrica em suas operações de lavra, destacamos na Figura 6, as repostas apresentadas pelas empresas participantes.

Cabe destacar que o percentual acima destacado, refere-se à fonte de obtenção de energia elétrica com maior citação por parte dos participantes da pesquisa, visto que para este quesito, foi oportunizado a possibilidade de mais de uma resposta. Isto posto, verifica-se o predomínio do apontamento da utilização de geradores a diesel como principal fonte da obtenção da energia elétrica necessária ao processo produtivo. Ainda nesta temática, o total de 7 empresas declaram a utilização de geradores a óleo diesel como única fonte de energia elétrica de suas atividades, sendo que destas, 5 empresas destacaram como motivo principal para tal fato, a inexistência de redes de distribuição nas proximidades de seu empreendimento; e as restantes, alegaram tanto a obrigatoriedade de ser firmar contratos de fornecimento de energia elétrica quanto o alto custo da energia elétrica adquirida junto às Concessionárias. Merece ainda destaque, o fato de que o percentual de 27,77% das empresas participantes declaram a utilização de duas fontes de energia elétrica distintas (gerador a diesel e concessionárias/mercado livre), o que pode explicar, em certo grau, o

percentual de minas que declararam no RAL consumo de energia inferior a 9.999 kW/ano, uma vez que, pode ter ocorrido tão somente a declaração do consumo de energia derivado da concessionárias/mercado livre, sem realizar-se a medição da energia elétrica dos geradores a diesel e dos compressores móveis que utilizam motores a diesel. Em relação a este último, o percentual de 51,1% das empresas participantes, declararam possuir tais equipamentos em suas operações mineiras.

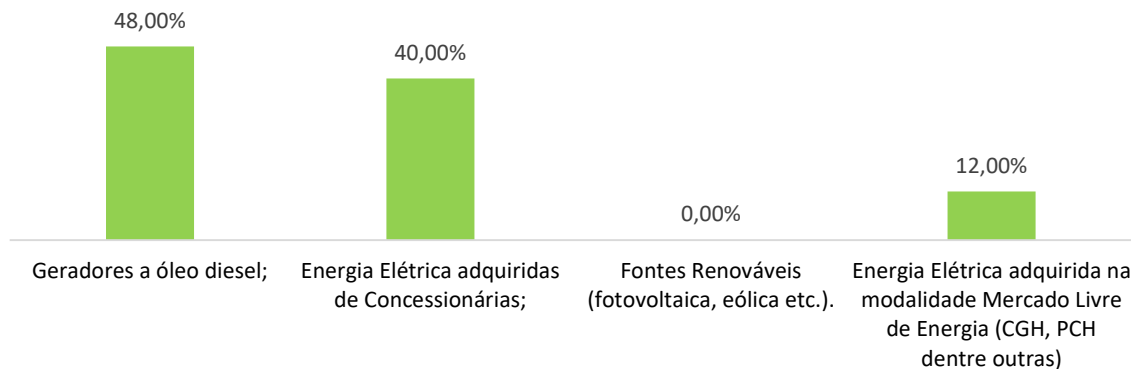


Figura 6. Fontes para obtenção de energia elétrica nas atividades de extração de rochas ornamentais.

Outro ponto interessante, a partir da análise da Figura 6, refere-se ao apontamento da existência da utilização de energia elétrica adquirida sob o modelo do mercado livre de energia, fatia esta, que deverá ter um aumento percentual ao longo dos próximos anos, visto que as novas resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), propiciam a mais consumidores à escolha pela forma de aquisição da energia elétrica. Por outro lado, verifica-se a inexistência da utilização de fontes renováveis de energia, principalmente de energia fotovoltaica.

Em relação ao custo da energia elétrica (adquiridas de concessionárias e diesel utilizado para geração) necessárias às operações de extração de rocha ornamental, os participantes da pesquisa, informaram os termos descrito na Figura 7.

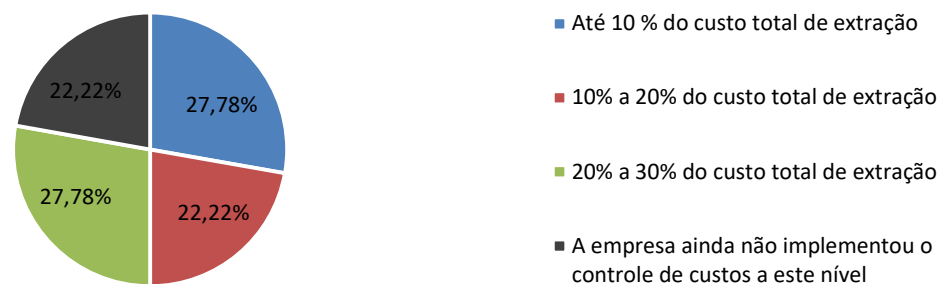


Figura 7. Custo da energia elétrica das atividades de extração mineral.

Conforme se extrai da Figura 7, verifica-se que as respostas a este quesito se apresentam de forma equânime. A este respeito, destacamos que o trabalho de Founti et al. (2010), encontrou valores próximos a 10% do custo total. Por outro lado, é digno de nota, o considerável percentual das empresas participantes que não implementaram mecanismos para apuração do custo deste importante insumo em seus processos produtivos.

Do total de participantes, o percentual de 55,6% respondeu não realizar ações de avaliação de suas instalações e processo de extração mineral com foco na redução do consumo de energia elétrica. Sobre a motivação para tal fato, o percentual de 50% destacou que tal situação deriva do desconhecimento acerca desta temática; enquanto o percentual de 30% entende a necessidade da realização destas avaliações, contudo, encontra dificuldade de assessoria técnica especializada; e apenas 20% dos participantes, entendem que a questão não é importante para empresa na atualidade. A título de comparação, merece destaque que no trabalho realizado por Vintro et al. (2014), verificou-se que apenas 18% das empresas de rochas ornamentais catalãs, realizavam auditorias de energia em seus processos produtivos. As empresas que informaram avaliar os processos produtivos com foco na redução da energia elétrica, declararam, a implementação, dentre outras, das seguintes ações: uso de luminárias LED, redução da potência dos maquinários, paralisação das atividades no horário de ponta, atualização dos equipamentos elétricos, manutenção das redes de ar comprimido e operação adequada das máquinas de fio diamantado.

No que se refere a percepção da importância da implementação de ações que tenham como foco a redução do consumo de energia, o percentual de 94,4% dos participantes atribuíram nota igual ou maior que 7, em uma escala de 1 a 10, o que demonstra a importância da temática na visão das empresas do setor. Em relação ao conhecimento de ações de eficiência energética e da Norma ISO 50.001, 72,11 % dos respondentes atribuíram nota menor ou igual a 5, o que denota um grande desconhecimento acerca desta temática.

5. Conclusão

Analisando o setor de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo do ponto de vista energético, em especial, aspectos da energia elétrica utilizadas nos processos produtivos, verificou-se, tendo como base os RAL's, um predomínio da utilização da energia proveniente das concessionárias; situação esta, diferente da encontrada nas informações apresentadas pelas empresas participantes da pesquisa. Tal situação pode ser explicada, *a priori*, pela subnotificação da utilização de geradores a diesel quando da apresentação do RAL, sobremaneira, impactada pela utilização de compressores de ar, muito das vezes utilizando-se da energia mecânica proveniente de motores a diesel.

Em se tratando indicador de intensidade energética (kWh/t) verificou-se, em relação às rochas silicáticas, valores próximos ao encontrado por Gadioli et al. (2018), situação esta diversa, em se tratando de rochas carbonáticas, quando comparadas aos trabalhos de Taxiarchou e Kostopoulou (2007) e Capitano et al. (2018). Analisando sobre o prisma de consumo anual, verificou-se *a priori*, a existência de dados não compatíveis à dimensão das operações de lavra, o que pode ser explicado, em uma primeira análise, por questões específicas à atividade de rocha ornamental propriamente dita.

Em relação à gestão deste importante insumo, a maior parte das empresas participantes do presente trabalho, demonstraram o interesse em relação a esta temática; por outro lado, em face da inexistência de maior conhecimento acerca do tema e por falta de empresas especializadas, a implementações de ações efetivas apresentam-se bastante restritas. Ainda nesta seara, é inegável o desconhecimento das empresas participantes, principalmente em relação às ações de eficiência energética e da Norma ISO 50.001. Merece ainda atenção, o percentual de empresas que sequer têm ciência do custo da aquisição/geração de energia em seus processos produtivos.

Por todo o acima exposto, é possível verificar a existência de diversas oportunidades em relação à temática energética no setor de extração mineral de rochas ornamentais, sejam estas relacionadas à estudos de novas fontes de energia elétrica (fotovoltaica e eólica); gestão do uso da energia elétrica e por fim ações de eficiência energética que não se restrinjam a troca de equipamentos. Por fim, como sugestões de trabalhos futuros, poderiam ser realizados estudos vinculados à energia de forma mais ampla, e em todo o setor produtivo de forma geral (transporte e beneficiamento) abordando o consumo do diesel, bem como estudos específicos sob a utilização de energia de fontes renováveis e ações de eficiência energética deste importante setor industrial, que contribuirá também pela busca do desenvolvimento sustentável no setor.

Referências bibliográficas

- Abirochas (2019) *As Rochas Ornamentais e de Revestimento*, Projeto Academia das Rochas. Brasília, DF.
- ABNT NBR 15012: Rochas para revestimento de edificações-Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- Awuah-Offei, K (2016) 'Energy efficiency in mining: A review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations', *Journal of Cleaner Production*, v.117, pp.89-97. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.035>>.
- Capitano, C, Peri, G e Rizzo, G (2014) 'Is the Eco-label EU Decision for hard coverings really capable of capturing the environmental performances of the marble productive chain? A field verification by means of a life cycle approach', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v.19, pp.1022–1035.
- Capitano, C, Peri, G, Raimondi, C e Rizzo, G (2018) 'Energy and environmental analysis of marble productive sites: "by phases" and "by single process" combined approach', *Energy Procedia* v. 148, pp. 1183–1190.
- Castro, NF et al. (2016) 'Inventário do Ciclo de Vida das Rochas Ornamentais'. In: *IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste* CETEM. pp. 284-297, João Pessoa, PB. <<https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2016/STRO604.pdf>>

- Catarino, J, Henriques, J e Maia, A (2016) ‘Eco-efficiency in Portuguese companies of marble sector’, *International Journal of Sustainable Engineering*, v. 9, pp. 35-46.
- Chiodi Filho, C (2018) *O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais*. Abirochas, Brasília, DF.
- Crishna, N, Banfill, PFG e Goodsir, S (2011) ‘Embodied energy and CO2 in UK dimension stone’, *Resources, Conservation and Recycling*, v.55, pp. 1265–1273.
- DNPM (2018). *Anuário Mineral Estadual - Espírito Santo*. Brasília, 2018.
- Fedrigo, NS, Gonçalves, G e Lucas, PF (2009) ‘Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro’, In: *Relatório de Iniciação Científica*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Disponível em: <https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_ic/IC2009_Natalia.pdf>
- Founti, MA, Giannopoulos, D e Laskaridis, K (2010) *Environmental Management aspects for energy saving in natural stone quarries*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267200037_ENVIRONMENTAL_MANAGEMENT_ASPECTS_FOR_ENERGY_SAVING_IN_NATURAL_STONE_QUARRIES>
- Gadioli, MCB, Castro, NF e Wardermurem, CER (2018) ‘Life Cycle of Brazilian natural stones’. In: *VI Congresso Internacional de Rochas Ornamentais*, CETEM. pp. 196-199.
- Gazi, A, Skevis, G e Founti, M (2012) ‘Energy efficiency and environmental assessment of a typical marble quarry and processing plant’, *Journal of Cleaner Production* v.32, pp.10-21.
- Holmberg, K, Päivi, K-R, Pirita, H, Kati V e Ali E (2017) ‘Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry’, *Tribology International*, v.115, pp. 116–139, 2017. <<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.010>>.
- IBRAM (2018). *Políticas Públicas para a Indústria Mineral*. 1.ed. – Brasília, DF. Disponível em: https://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2020/11/PP_Ind_Mineral_WEB_final-1.pdf. (Acessado em 01 maio 2021).
- Maior, GRS (2013) *Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com ênfase na Lavra por bancadas ultra-altas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, PE.
- Mendoza, JMF, Feced, M, Feijoo, F, Josa A, Gabarrell, X e Rieradevall, J (2014) ‘Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate’, *The International Journal of Life Cycle*, v.19, pp. 153-165.
- MME (2013) *Bases para o ordenamento e desenvolvimento sustentável da mineração de rochas ornamentais no noroeste do Espírito Santo*. Brasília, DF.
- Montani, C (2017) *XXVIII Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2017*. Aldus, Carrara, Itália.
- Natural Stone Council (2009) *Granite Dimensional Stone Quarrying and Processing: A Life-Cycle Inventory*. University of Tennessee, EUA.
- Palmure, SD (2016) *Energy Efficiency and carbon dioxide emissions across different scales of iron ore mining operations in Western Australia*. Tese de Doutorado, Edith Cowan University, Austrália.
- Purhamadani, E, Bagherpour, R e Tudeszki, H (2021) ‘Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher systems’, *Journal of Cleaner Production*, v. 291, 2021. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125228>>
- Sardou Filho, R, Matos, GMN, Mendes, VA e Iza, ERHF (2013) *Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo*, CPRM, Brasília, DF.
- Spínola, V, Guerreiro, LF e Bazan, R (2004) *A indústria de rochas ornamentais: estudo de mercado 02/04*. Bahia: Desenhahia - Agência de Fomento do Estado da Bahia.
- Taxiarchou, M e Kostopoulou, I (2007) *Life Cycle Analysis of dimensional stones production*. Milos (Greece). Disponível em: <www.sdimi.org/papers_2007/taxiarchou.pdf>.
- Traverso, M, Rizzo, G e Finkbeiner, M (2010) ‘Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble’, *International Journal of Life Cycle*, v.15, pp.104-114.

Vidal, FWH, Azevedo HCA e Castro, NF (2014) *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*, CETEM. Rio de Janeiro, RJ.

Vintro, C, Sanmiquel, L e Freijo, M (2014) 'Environmental sustainability in the mining sector: evidence from Catalan companies', *Journal of Cleaner Production*, v. 84, pp. 155-163.