

ANÁLISE COMPARATIVA DE EMISSÃO DE CO₂ E PREÇO DE COMERCIALIZAÇÃO DE AGREGADOS NATURAIS E RECICLADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA/GO

Emilly Lara Augusto Morais¹

Guilherme Cintra Araujo²

Sarah Pires de Araújo³

Weber Batista da Silva⁴

Thomas Leonardo Marques de Castro Leal⁵

Marcela Leão Domiciano⁶

RESUMO

Para o desenvolvimento da construção civil no país, há a necessidade de utilização de agregados naturais de boa qualidade. No entanto, a depender de sua finalidade, a disponibilidade e qualidade destes pode ser comparada à de um agregado reciclado. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa de agregados naturais e reciclados de duas empresas da região metropolitana de Goiânia-GO. Comparou-se a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na fase de transportes dos materiais e os dos preços de venda dos materiais reciclados e naturais. O estudo foi pautado na análise de dados coletados in loco por meio de visitas técnicas, em uma pedreira e uma usina de reciclagem, com posterior análise de vantagens e desvantagens de cada sistema produtivo. Foi possível identificar vantagens no processo produtivo de agregados reciclados, com preços mais competitivos, o que contribui com a sustentabilidade na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Agregados reciclados, Sustentabilidade, Construção civil, Pedreira.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO₂ EMISSIONS AND SALE PRICE OF NATURAL AND RECYCLED AGGREGATES IN THE METROPOLITAN REGION OF GOIÂNIA/GO

ABSTRACT

For the development of civil construction in the country, there is a need to use good quality natural aggregates. However, depending on their purpose, their availability and quality can be compared to that of a recycled aggregate. The objective of this work is to carry out a comparative analysis of natural and recycled aggregates from two companies in the metropolitan region of Goiânia-GO. The emission of carbon dioxide (CO₂) during the transport phase of materials and the sale prices of recycled and natural materials were compared. The study was based on the analysis of data collected in loco through technical visits, in a quarry and a recycling plant, with subsequent analysis of advantages and disadvantages of each production system. It was possible to identify advantages in the production process of recycled aggregates, with more competitive prices, which contributes to sustainability in the civil construction industry.

Keywords: Solid waste, Recycled aggregates, Sustainability, Civil construction, Quarry.

Recebido em 10 de outubro de 2024. Aprovado em 23 de novembro de 2024

¹ Engenheira Civil pelo Centro Universitário de Goiânia - Faculdades Objetivo. emilly.lara97@gmail.com

² Engenheiro Civil pelo Centro Universitário de Goiânia - Faculdades Objetivo. guilhermecintraaraujo@gmail.com

³ Engenheira Civil pelo Centro Universitário de Goiânia - Faculdades Objetivo. sarahpiresdearaujo@gmail.com

⁴ Engenheiro Civil pelo Centro Universitário de Goiânia - Faculdades Objetivo. weberbatista90@gmail.com

⁵ Professor do curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - Campus Goiânia. thomas.leal@ifg.edu.br

⁶ Professora do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). marcela.domiciano@ifg.edu.br

INTRODUÇÃO

As explorações dos agregados naturais, realizadas em pedreiras, geram impactos ambientais negativos ocasionados, especialmente, pela alteração da paisagem (André, Alvarez & Rivero, 2019). De acordo com Pontes, Lima e Silva (2019), esses impactos ambientais negativos ocasionados pelas atividades mineradoras podem ser: interferências ocorridas nas águas superficiais; deterioração da qualidade do ar pela emissão de gases e poeiras; vibrações e ruído; ultra lançamento de fragmentos de rochas - causados pela energia de explosivos; erosão da zona de lavra; migração de aves e mamíferos e alteração paisagística.

No entanto, de acordo com Gomes (2014), a exploração de uma pedreira pode gerar também impactos positivos, como, por exemplo, geração de empregos, circulação de riquezas na região, melhoria na qualidade socioeconômica da população e fortalecimento do poder público, através da arrecadação de tributos.

Diante desse cenário, uma alternativa seria o uso de agregados reciclados, que são beneficiados por usinas de reciclagem. Segundo Brasileiro e Matos (2015) e Domiciano *et al.* (2020), os agregados reciclados podem apresentar semelhanças de comportamentos em relação aos agregados naturais. O uso de resíduos de construção e demolição (RCD) reciclados é bastante benéfico, uma vez que pode ser considerado uma estratégia para reduzir a exploração da matéria prima natural e minimizar os impactos gerados pelos RCD que são dispostos inadequadamente.

Ressalta-se que os RCD, devido à ausência de locais apropriados para seu descarte, podem ocasionar impactos ambientais na sociedade. Por isso, a sua reciclagem pode ser uma alternativa em relação aos agregados naturais produzidos em jazidas/pedreiras (Feil & Schreiber, 2017; Di Maria, Eyckmans & Van Acker, 2018). A preocupação com os impactos negativos ocasionados pelo descarte irregular dos RCD está em consonância com o conceito de desenvolvimento sustentável, além de ser uma solução socialmente responsável, ecologicamente correta e viável em termos financeiros (Feil & Schreiber, 2017; Lara & Oliveira, 2017; Monteiro, 2020; Rossi, 2017).

Um marco importante para o gerenciamento de RCD, em âmbito nacional, foi a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei Federal nº 12.305/2010. De acordo com Leal, Araújo e Silva (2021), os geradores devem dar prioridade à não geração de resíduos e, secundariamente, à reciclagem, sendo estes responsáveis pela implantação de programas de gerenciamento de RCD nos seus empreendimentos, estabelecendo procedimentos necessários para o manejo e destinação adequada dos resíduos. A Resolução nº 307 (Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2002) define quatro classe de resíduos para a construção civil, sendo os RCD classificados como resíduos classe A, isto é, aqueles que podem ser reutilizados, como, por exemplo, argamassas, concretos, tijolos, telhas, placas de revestimento, dentre outros.

Evidencia-se assim que a otimização dos materiais reciclados na construção civil vem ganhando cada vez mais espaço nos canteiros de obras, especialmente devido à legislação nacional. Tais materiais podem ser originados da reciclagem de demolições de obras, o que transforma um problema social em geração de renda e economia dos recursos naturais (Pinto, 1999; Salomão, Malagute, Lorentz & Gonçalves De Paula, 2019; Vieira & Pereira, 2015; Wu, Zuo, Zillante, Wang & Yuan, 2019).

Os autores Fleury, Siqueira Neto e Santos (2017) estudaram o cenário de geração e destinação de RCD na Região Metropolitana da cidade e constataram que existia uma geração anual total de, aproximadamente, 1,11 milhões de toneladas de RCD. Ainda segundo os autores, à época, apenas 25,7 mil toneladas eram destinadas à usina de reciclagem, o que representa 2,33% do total gerado (Fleury, Siqueira Neto & Santos, 2017).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa entre os processos de fabricação de agregados naturais, em uma pedreira, e de agregados reciclados, em uma usina de reciclagem, ambas localizadas na região metropolitana de Goiânia - GO e apresentar uma possibilidade de uso do material reciclado em substituição ao material natural.

MATERIAL E MÉTODOS

Em relação aos objetivos, essa pesquisa pode ser classificada como descritiva, já que este tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade; quanto aos procedimentos, esta pode ser classificada como uma pesquisa de campo, a pesquisa de campo caracterizada pelas investigações em que, além da análise documental, realiza-se a coleta de dados junto a pessoas, com o recurso de diferentes tipos de pesquisa (Silveira & Córdova, 2009).

Esse estudo foi realizado na cidade de Goiânia, Goiás. A Figura 1 apresenta a localização da pedreira e da usina de reciclagem nas quais houve visitas in loco, realizando uma descrição dos processos de produção da pedra, do agregado natural, e da usina de reciclagem, do agregado reciclado, a fim de compará-los. Para isso, durante as visitas, foram feitos registros fotográficos durante o horário de funcionamento normal da empresa e foram acompanhadas por um dos responsáveis do local.

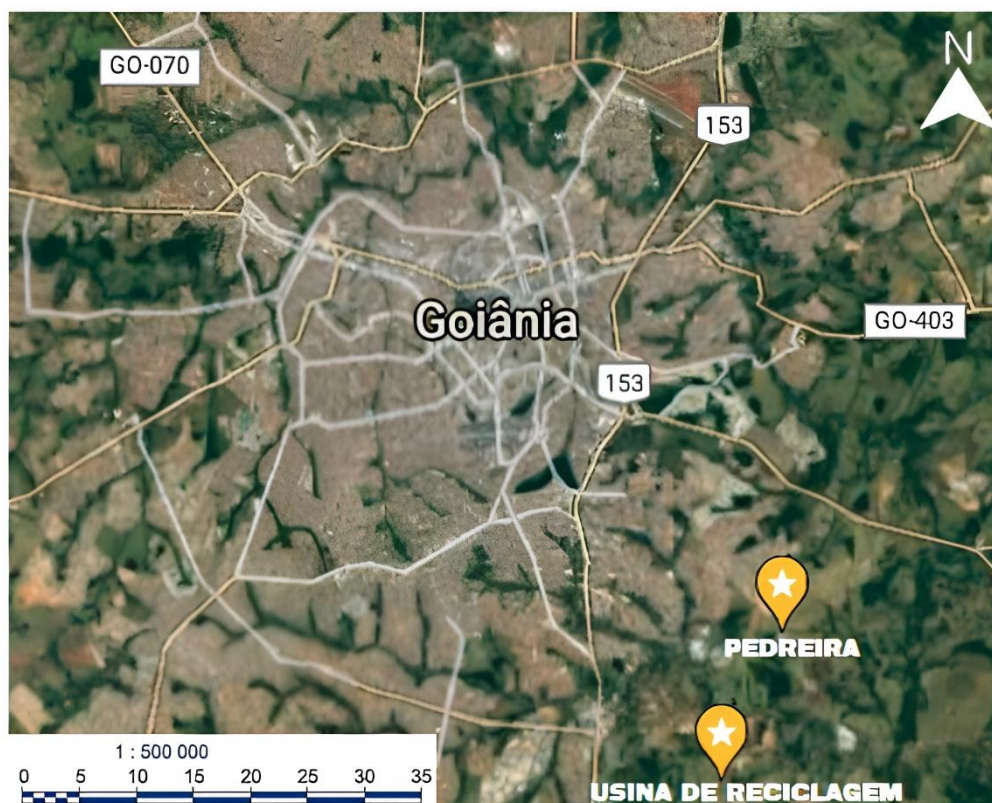


Figura 1. Localização das empresas (Google Earth, 2023).

Após a identificação dos processos produtivos, realizou-se uma análise e comparação entre os referidos processos, incluindo análise de preço de venda dos agregados. Por fim, aplicou-se a análise SWOT a ambos os processos. A análise SWOT (do inglês Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) é uma ferramenta amplamente utilizada no planejamento estratégico para avaliar os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças de uma organização, projeto ou plano (Valentin, 2001). Essa ferramenta é muito utilizada por sua simplicidade e praticidade, sendo uma estrutura fácil de adotar para categorizar fatores ambientais significativos, tanto internos quanto externos (Ghazinoory, Abdi & Azadegan-Mehr, 2011).

Para verificar o aspecto ambiental no que tange à emissão de CO₂ durante o transporte de materiais das empresas até o centro urbano, aplicou-se a metodologia proposta por Coelho *et al.* (2009) que considera a potência do veículo para se calcular o fator de emissão de CO₂ por tempo. Assim, considerou-se o coeficiente de emissão de CO₂ – por litro – para veículos pesados (com consumo de 3,4 km/l) igual a 2,604 kg/l (MMA, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Processo produtivo da pedreira

O complexo industrial da pedreira utilizada para estudo, foi instalado há 45 anos, iniciando suas atividades em 10/05/1974 e em 1980 a usina de asfalto, que funcionou até janeiro de 2017, quando foi desativada. Após um longo processo de adaptações para reaver a licença de funcionamento o complexo foi reativado em 25 de julho de 2018. Com a medida, a gestão recebeu reforço para a produção de insumos que são utilizados em obras e serviços de infraestrutura da capital. O processo produtivo da empresa inclui a:

1. Detonação;
2. Desmonte;
3. Transporte;
4. Britagem;
5. Peneiramento;
6. Armazenamento.

Vale ressaltar que para o desmonte da rocha, na pedreira em estudo, é considerado o fluxo inicial de operação e decorre do processo de detonação da jazida através de empresas terceirizadas no ramo de detonação.

Na primeira etapa, a rocha é perfurada com perfuratriz a uma profundidade de acordo com o projeto de detonação. Em seguida, os furos são carregados com a injeção por bombeamento de um agente explosivo de alta energia e velocidade. Os detonadores são posicionados e interligados com fios, sendo acionados quando todo o conjunto estiver preparado, e por fim, na área de risco tiver ausência de pessoas.

A situação das rochas após a detonação é considerada como desmonte primário. Já o desmonte secundário trata-se da fragmentação, por rompedores hidráulicos, das rochas de maiores proporções.

Após a detonação ocorre o transporte dos materiais. Nesta etapa, os fragmentos de rochas são carregados por intermédio da pá carregadeira dispostos em caminhões e caçambas para logo após serem transportadas da jazida para o alimentador do sistema de britagem.

Na fase de britagem, ocorre a redução dos diâmetros das rochas antes de serem destinadas a construção civil, a fim de se levar em consideração a sua aplicação. Nesta etapa, o material rochoso de micaxisto é descarregado no britador primário, o qual é reduzido para macadame, brita-2, brita-1, brita-0 e pó de brita.

Além do britador primário, há um britador secundário, que minimiza os materiais para brita-2, brita-1, brita-0 e pó de brita, e, um britador terciário, o qual produz brita-1, brita-0 e pó de brita. A utilização dos britadores permite que os agregados atinjam as dimensões desejadas.

Dentre os materiais produzidos após britagem, destaca-se que há diversificação das pedras de maiores proporções, que são: i) pedra macadame (25 a 300 mm), ii) pedra marroada (100 a 400 mm) e iii) gabiões com dimensões variáveis de comprimento (1.50 m e de 2 a 6 m), largura (1 ou 2 m) e altura (0.17,0.23,0.30,0.50 ou 1,00 m).

Após a britagem, os agregados seguem para a fase de peneiramento, na qual os agregados são agitados em malhas, sendo possível separar e definir as suas dimensões. Além disso, é importante frisar que as variações granulométricas dos agregados produzidos pela pedreira em análise estão entre o pó de brita (0 a 4,8 mm), brita 0 (4,8 a 9,5 mm), brita 1 (9,5 a 19 mm) e brita 2 (19 a 25mm).

Finalizado o peneiramento, os agregados são devidamente armazenados. O armazenamento dos agregados após passar por todo o processamento é efetuado de duas maneiras distintas:

- i) a céu aberto, quando os agregados são dispostos em pilhas cones elevados por correias transportadoras nas proximidades do sistema de britagem, e
- ii) armazenagem em galpão para evitar que os agregados absorvam umidade.

A Figura 2 apresenta as etapas de britagem, peneiramento e armazenamento dos agregados. A Figura 3 apresenta alguns dos agregados produzidos pela pedreira.

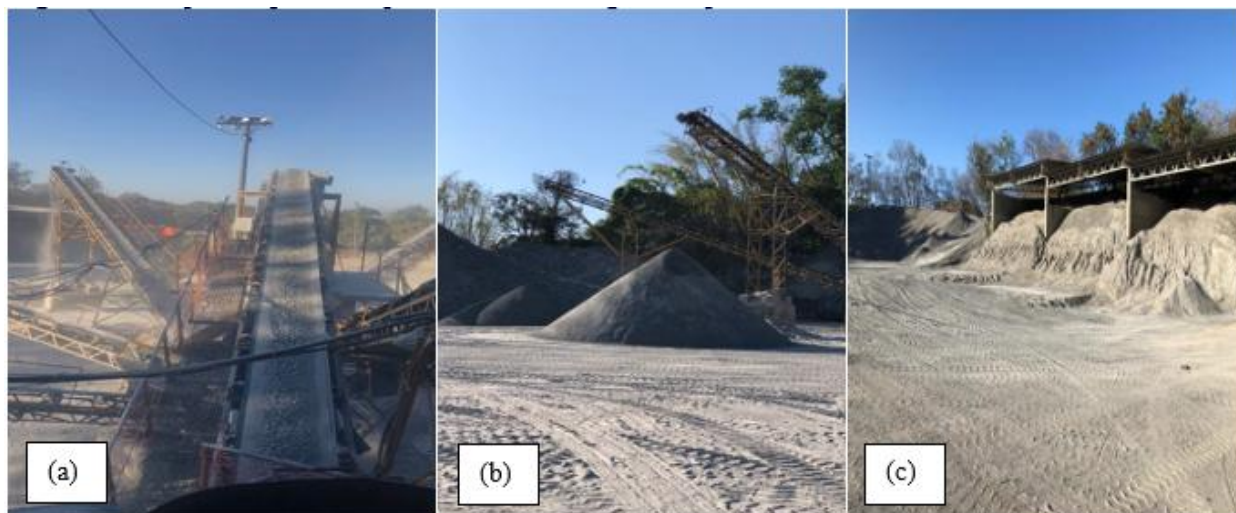


Figura 2. Etapas do processo produtivo: a) britagem, b) peneiramento, c) armazenamento (Autores, 2023).

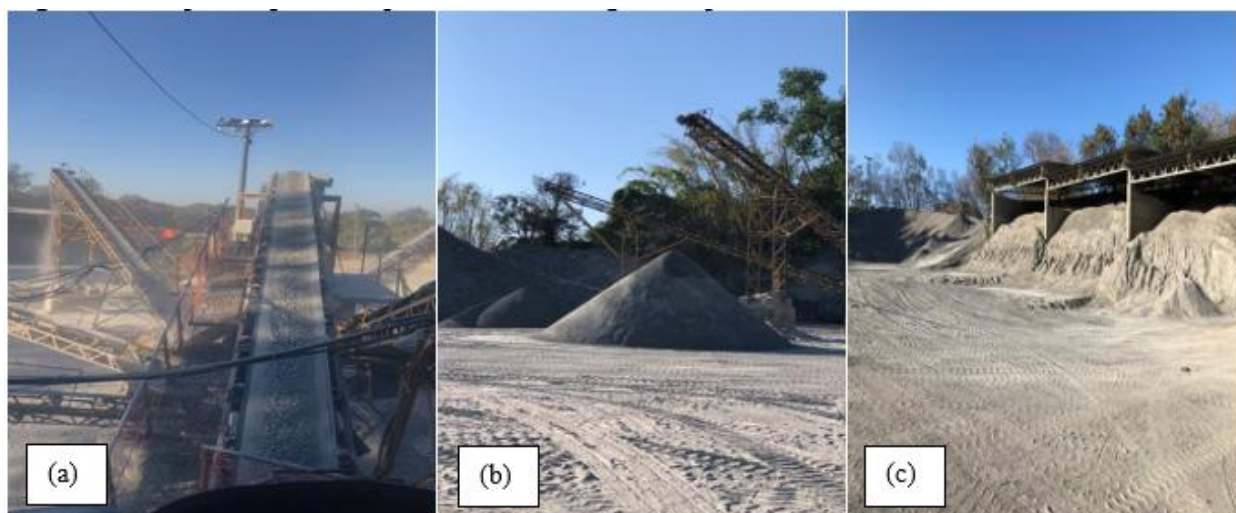


Figura 3. Agregados produzidos: a) pedrisco, b) brita 0, c) brita 1 (Autores, 2023).

O responsável pelo local informou que a pedreira trabalha atualmente com dois turnos de 8 horas, dessa forma, pode-se estimar a capacidade produtiva da referida pedreira. Considerando uma capacidade de produção dos equipamentos de britagem (britador de mandíbula 8050) de aproximadamente 60ton/horas, com 01 turno de 08h, é possível produzir: $60 \times 8 = 480$ toneladas (ton). O que implica:

- 1 dia (turno): $60 \times 8 = 480,0$ (ton)
- 1 mês: $480 \times 22 = 10.560,0$ (ton)
- 1 ano: $10.560 \times 12 = 126.720,0$ (ton)
- 2 turnos anualmente: $126.720,0 \times 2 = 253.440,0$ (ton).

Processo produtivo da usina de reciclagem

A usina de reciclagem deste estudo iniciou suas operações em 2010. É a primeira usina de reciclagem de rejeitos da construção civil em Goiás e é vencedora de dois prêmios no ramo da sustentabilidade.

Vale ressaltar que a usina de reciclagem objetiva transformar o que antes era entulho em agregados reciclados, mitigando impactos ambientais negativos decorrente do descarte inadequado dos resíduos, além de gerar renda, reaproveitar esse material e reduzir o uso de recursos naturais.

As visitas realizadas na usina foram acompanhadas pelo engenheiro responsável do local, o qual apresentou o processo produtivo da referida usina, o qual inclui:

1. Especificação;
2. Triagem/separação;
3. Britagem;
4. Peneiramento;
5. Transporte;
6. Armazenamento.

A usina recebe os RCD por meio de caminhões e/caçambas, que descarregam o resíduo em um local específico na usina. Após descarregados, ocorre o devido armazenamento e triagem desses materiais para posteriormente serem beneficiados e comercializados. O material recém-chegado à usina passa por uma triagem, onde as impurezas são retiradas, tais como: sacos de cimentos, plástico, papelão, pregos, madeira, vergalhão, entre outros. Após a triagem desses resíduos, ocorre a separação de forma mecânica e manual.

Para o processo de triagem, os resíduos que chegam à usina são transportados por uma pá carregadeira de rodas para um bocal que alimenta o britador. São levados por esteiras para então ser feita a remoção dos materiais ferrosos através de um eletroímã.

Após a triagem e separação, os resíduos são destinados ao processo de britagem. O processo de britagem é de suma importância, por influenciar na forma e granulometria dos agregados. A usina utiliza o britador de mandíbula. Os agregados produzidos dependem do estoque da empresa e também dos pedidos mais solicitados. Terminada a britagem, os agregados passam pelo peneiramento, momento em que ocorre a separação por tamanho e granulometria em suas respectivas peneiras. Para que chegue no peneiramento, o material é transportado por uma esteira até as peneiras vibratórias. Ao longo da esteira há um ímã que separa pedaços de metais que não foram separados no processo de triagem.

A etapa de peneiramento é realizada por três peneiras vibratórias posicionadas verticalmente, para separação do material em granulometrias diferentes que formam os produtos finais do processo de reciclagem.

Após o peneiramento, a usina produz materiais distintos, como, por exemplo: i) areia (que é como o pó de brita), ii) brita 0, iii) brita 1, iv) BGR e v) Rachão. A empresa tem capacidade de produzir cem mil toneladas ao ano.

Os materiais comercializados pela usina são usados desde a implantação de base e sub-base de pavimentações, inclusive foi utilizado em alguns pontos na construção do aeroporto de Goiânia. A empresa não tem nenhum cliente público. Após o peneiramento, os agregados são armazenados em pilhas para serem comercializados.

De acordo com informações obtidas durante a visita, os agregados reciclados produzidos pela usina de reciclagem apresentam uma densidade aproximada de $1,3 \text{ kg/m}^3$ e o valor de venda custa em média R\$ 25,00 (vinte e cinco reais) por tonelada. Já a densidade do agregado natural é aproximadamente $1,8 \text{ kg/m}^3$. A título de exemplificação, caso um cliente compre dez metros cúbicos de agregado natural, obterá 18 toneladas, enquanto um cliente que comprar 10 metros cúbicos do agregado reciclado levará o equivalente a 13 toneladas.

A Figura 6 apresenta algumas etapas do processo produtivo da usina de reciclagem. A Figura 4 apresenta alguns dos agregados produzidos pela pedreira.



Figura 4. Etapas do processo produtivo: a) resíduos recebidos, b) triagem/separação, c) abastecimento do britador, d) britagem (Autores, 2023).



Figura 5. Agregados produzidos: a) brita 0, b) brita 1, c) areia (Autores, 2023).

Emissão de CO₂ durante o transporte para o centro urbano

Para verificar o aspecto ambiental referente à emissão de CO₂ durante o transporte de materiais, considerou-se o coeficiente de emissão de CO₂/L para veículos pesados (com consumo de 3,4 km/l) igual a 2,604 kg/l (MMA, 2013). Acerca da potência do veículo, conforme metodologia proposta por Coelho (2009), o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2022), estabelece que a potência para veículos de transporte ou tração de cargas possui limite mínimo de 4,2 kWh/t. Com isso, adotou-se o fator de emissão de 748 g/kWh (Carvalho, 2011) e foi obtido um coeficiente de emissão de CO₂ por minuto de 0,0524 kg/min.

Diante disso, analisou-se a emissão de CO₂ durante o transporte em horários distintos - às 09h00, às 14h00 e às 18h00 - os quais apresentam diferentes tempos de tráfegos, bem como diferentes caminhos para transporte (a depender do horário de transporte), conforme Tabela 1.

Empresa	Transporte às 09h00		Transporte às 14h00		Transporte às 18h00	
	Distância ao centro urbano (km)	Tempo de transporte (min)	Distância ao centro urbano (km)	Tempo de transporte (min)	Distância ao centro urbano (km)	Tempo de transporte (min)
Pedreira	15,1	45	14,1	22	15,4	55
Usina de Reciclagem	17,8	55	17,4	30	18,9	70

Tabela 1. Distância das empresas ao centro urbano e tempo de tráfego – em horários distintos (Autores, 2023).

Percebe-se que o transporte dos materiais às 18h00 apresenta o maior tempo de tráfego, bem como as maiores distâncias percorridas (pelo fato de existirem caminhos alternativos até o centro da região metropolitana de Goiânia). Considerando os fatores de emissão de CO₂ retromencionados, foi possível obter os gráficos que apresentam a quantidade de CO₂ emitida (kg) em relação à distância ao centro urbano (kg) e ao tempo de transporte (min), conforme apresentado na Figura 6.

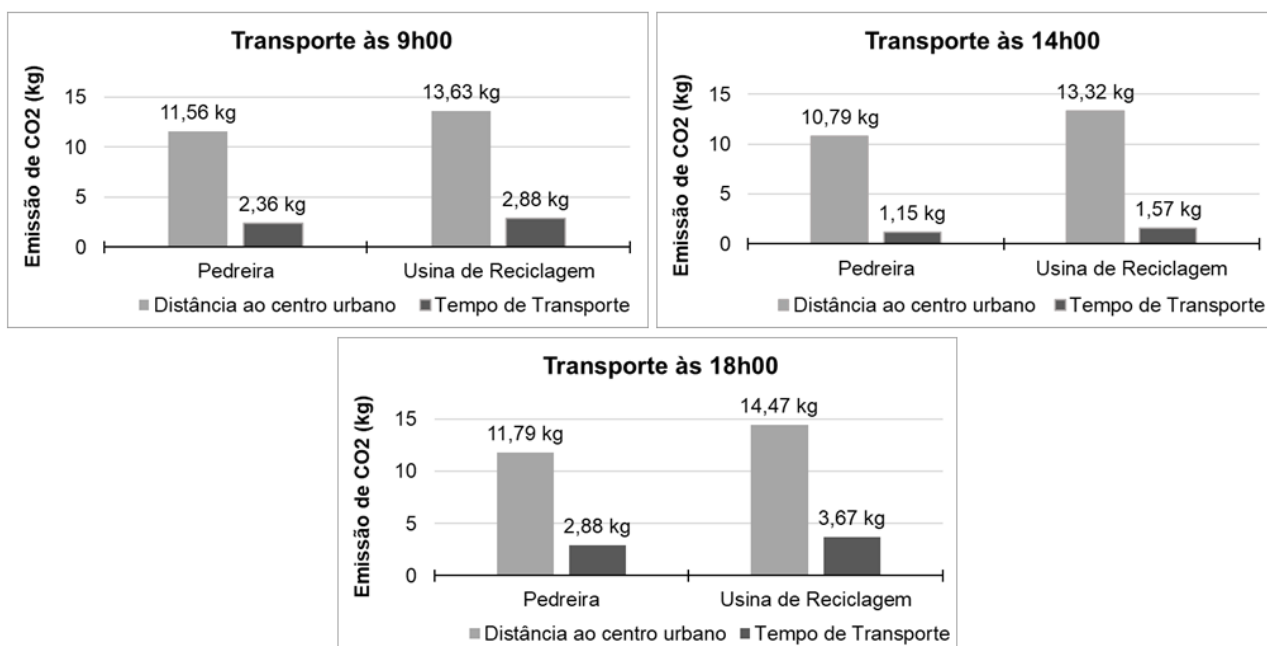


Figura 6. Emissão de CO₂ em diferentes horários de transporte (Autores, 2023).

O trajeto de ambas as empresas ao centro às 18h00 apresentou as maiores emissões, sendo cerca de 14,77 kg de CO₂ emitidos pela pedreira e 18,14 kg de CO₂ emitidos pela usina. Já o

trajeto às 14h00, apresentou as menores emissões, sendo 11,94 kg de CO₂ emitidos pela pedreira e 14,89 kg de CO₂ emitidos pela usina. Neste sentido, evidencia-se que as emissões de CO₂ aumentam na medida em que se aumenta a distância de transporte e o tempo de percurso.

Vale ressaltar que, embora as emissões de CO₂ representem um impacto ambiental significativo, existem outros impactos produzidos durante as fases da exploração de pedreiras (André, Alvarez & Rivero, 2019; Pontes, Lima e Silva, 2019). Neste sentido, apesar de a pedreira em estudo apresentar as menores emissões de CO₂ durante o transporte ao centro urbano, o uso de agregados reciclados mostra-se como um caminho ambientalmente correto e em sintonia com o conceito de desenvolvimento sustentável.

Salienta-se que a existência da usina de reciclagem próxima a região metropolitana de Goiânia/GO possibilita uma redução do descarte irregular de RCD, além de incentivar a utilização de RCD-R na construção civil.

Preço de venda dos agregados e análise comparativa

Visando realizar uma análise comparativa de preço de comercialização dos agregados naturais e agregados reciclados, foram obtidas informações a respeito do preço de venda dos referidos agregados em quatro pedreiras e uma usina de reciclagem, localizadas na região metropolitana de Goiânia/GO.

Ressalta-se que a pedreira na qual foram realizadas visitas não exerce atividades remuneradas, sendo toda sua produção encaminhada para obras de construção e reforma do município. Sendo assim, não há como fazer levantamento e comparações de preços. Por esse motivo, foram escolhidas outras pedreiras, também na região metropolitana de Goiânia, para fazer o levantamento do preço dos materiais disponíveis. A Tabela 2 apresenta os valores de venda de agregados.

Local	Preço por tonelada (R\$/ton)			
	Brita 0	Brita 1	Areia fina	Areia Grossa
Pedreira A	R\$ 73,30	R\$ 66,00	R\$ 66,00	R\$ 72,59
Pedreira B	R\$ 55,00	R\$ 45,00	R\$ 75,00	R\$ 80,00
Pedreira C	R\$ 44,00	R\$ 33,00	R\$ 33,00	R\$ 40,00
Pedreira D	R\$ 42,00	R\$ 36,00	R\$ 30,00	R\$ 38,00
Usina de reciclagem	R\$ 27,00	R\$ 27,00	R\$ 25,00*	

* Nota: A usina de reciclagem produz apenas um tipo de areia (semelhante ao pó de brita)

Tabela 2. Preço de venda dos agregados (Autores, 2023).

É possível perceber que a brita 0 comercializada pela Pedreira A é 74,5% mais cara que a Pedreira D, e 171,5% mais cara que a Usina de reciclagem. Em relação a brita 1, o valor de venda da Pedreira A mostra-se 46,7% superior em relação à Pedreira B e 144,5% superior em relação à usina.

Em relação às areias, os valores comercializados pela Pedreira B superam as demais Pedreiras. Considerando que a usina de reciclagem não apresenta a subdivisão em areia fina e grossa, não foi possível realizar a comparação entre as Pedreiras e a Usina para este tipo de agregado.

Em relação ao processo produtivo dos agregados naturais e agregados reciclados, percebe-se que os dois processos produtivos são similares, porém o processo produtivo de agregados reciclados se apresenta como uma alternativa menos onerosa, menos burocrática. Essas vantagens são evidenciadas no estudo de Paz (2020), o qual comparou o ciclo de vida dos dois tipos de agregado, chegando a conclusão de que as categorias de impacto (consumo de energia, emissão de dióxido de carbono (CO₂) e consumo de água) do agregado natural são maiores do que o agregado reciclado.

O grande problema é a falta de exploração desse mercado sustentável, e as limitações de uso desse material. Os agregados reciclados apresentam possibilidade de utilização como agregados para concreto não estrutural (Rao, Jha & Misra., 2007), material de preenchimento em base e sub-base de pavimentos (Leite, Motta, Vasconcelos & Bernucci., 2011; Herrador, Perez, Garach & Ordenez, 2012; Ossa, García & Botero, 2016) e material de preenchimento em estruturas de solo reforçado (Santos, 2011; Domiciano, Santos & Lins da Silva, 2020).

Além disso, o processo produtivo de agregado natural precisa de uma grande quantidade de explosivos e maquinários variados, necessita de licenças ambientais, além da licença do exército para portar os explosivos e as explosões causam perigo de danos às pessoas, fauna e flora local. Já a produção do material reciclado, apesar de existir gasto em seu processo produtivo, ocorre o beneficiamento de um material que seria descartado e o torna novamente utilizável.

Análise SWOT

A análise ocorreu a partir da discussão dos pesquisadores acerca dos aspectos observados durante toda a pesquisa, incluindo a coleta de dados e da revisão de literatura. A Figura 7 compila a análise realizada, comparando ambos os processos.

<p>Forças (Strengths)</p> <p>Agregado Natural</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta resistência e durabilidade, adequada para aplicações que exigem desempenho estrutural. Amplamente disponível e tradicionalmente utilizado, o que facilita a aceitação no mercado. <p>Agregado Reciclado</p> <ul style="list-style-type: none"> Redução significativa dos impactos ambientais, pois reutiliza resíduos de construção e demolição. Preços mais competitivos, tornando-se uma opção econômica e viável. Contribui para a sustentabilidade ao minimizar a extração de recursos naturais e o descarte inadequado de resíduos. 	<p>Fraquezas (Weaknesses)</p> <p>Agregado Natural</p> <ul style="list-style-type: none"> Processo de produção ambientalmente impactante, com emissão de CO₂, poluição e degradação da paisagem. Elevado consumo de energia e água durante a extração e processamento. Necessidade de licenças ambientais e regulamentações rigorosas, especialmente em relação ao uso de explosivos. <p>Agregado Reciclado</p> <ul style="list-style-type: none"> Limitações de uso em projetos estruturais devido a menor resistência comparada ao agregado natural. Variação na qualidade do material reciclado, que pode depender do tipo e condição dos resíduos utilizados. Maior tempo de transporte e emissões de CO₂ em certos casos, dependendo da localização das instalações de reciclagem
<p>Oportunidades (Opportunities)</p> <p>Agregado natural</p> <ul style="list-style-type: none"> Inovações tecnológicas que possam reduzir os impactos ambientais e aumentar a eficiência energética. Expansão de novos mercados, como produtos de maior valor agregado derivados de agregados naturais. <p>Agregado reciclado</p> <ul style="list-style-type: none"> Crescente demanda por materiais sustentáveis na construção civil, impulsionada por regulamentações ambientais e incentivos governamentais. Possibilidade de ampliar o uso em outros segmentos, como bases de pavimentos e enchimentos, onde os requisitos estruturais são menos rigorosos. Adoção de tecnologias avançadas para melhorar a triagem e reciclagem dos materiais, aumentando a qualidade do produto final. 	<p>Ameaças (Threats)</p> <p>Agregado natural</p> <ul style="list-style-type: none"> Restrições regulatórias cada vez mais rigorosas quanto à extração de materiais naturais, devido aos impactos ambientais. Concorrência crescente de agregados reciclados e outros materiais sustentáveis, que podem reduzir a demanda. <p>Agregado reciclado</p> <ul style="list-style-type: none"> Concorrência com agregados naturais em locais onde o custo do agregado natural é mais baixo e a disponibilidade é alta. Percepções negativas sobre a qualidade e aplicabilidade do agregado reciclado em projetos de maior exigência técnica. Flutuações no mercado de resíduos de construção e demolição, que podem afetar a oferta de materiais para reciclagem

Figura 7. Análise SWOT aplicado aos processos produtivos analisados

Os resultados da análise SWOT sugerem que, para aproveitar plenamente as oportunidades dos agregados reciclados, é essencial promover um alinhamento entre políticas ambientais e práticas da indústria da construção. Isso é importante pois, embora o concreto com agregados reciclados reduza a geração de resíduos e o consumo de recursos abióticos, ele pode aumentar emissões de CO₂ e consumo energético, dependendo da logística e do ajuste nas proporções de cimento (Martínez-Lage, Vázquez-Burgo & Velay-Lizancos, 2020).

O uso de agregados de concreto reciclado pode oferecer vantagens ambientais substanciais, especialmente em regiões onde o transporte de agregado natural é mais oneroso devido à localização de jazidas naturais distantes dos centros urbanos (McGinnis *et al.*, 2017).

CONCLUSÃO

Diante desse estudo, é possível concluir que apesar de a usina de reciclagem apresentar as maiores emissões de CO₂ durante o transporte ao centro urbano, ela produz agregados reciclados que representam uma solução para o grande volume de resíduos de construção e demolição gerados pela construção civil, uma vez que possibilita a reintrodução desse material na cadeia produtiva. Além disso, o uso de agregados reciclados evita o descarte dos resíduos em locais inapropriados, bem como a superlotação de aterros.

Por meio dessa pesquisa foi possível encontrar similaridades nos processos produtivos dos agregados naturais e dos agregados reciclados, bem como diferenças nos impactos positivos e negativos dos dois processos. Contudo, ainda há pouco espaço no mercado para o material reciclado, o que expõe um longo caminho a ser percorrido para atingir a confiabilidade de uso desse.

No que tange aos preços de comercialização, foi possível perceber que, de acordo com os valores obtidos das pedreiras e da usina de reciclagem, o agregado reciclado é encontrado por um preço inferior ao valor do material natural das pedreiras, podendo chegar à quase um terço do valor, porém bem menos acessível. Vale ressaltar que há várias pedreiras que fornecem agregado para as obras dos municípios, ao passo que há, no Estado de Goiás, apenas uma única usina de reciclagem.

Para futuros estudos, sugere-se a avaliação do ciclo de vida comparativa de ambos os processos, com produtos com a mesma finalidade, fornecendo uma análise quantitativa. Dentre as limitações da pesquisa, é possível citar a dificuldade de coleta de dados devido ao distanciamento social durante a pandemia e a ausência de dados sistematizados das empresas.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, J. C., ALVAREZ, F. L. & RIVERO, J. F. L. (2019). Caracterização dos impactos ambientais e sociais na exploração de rochas e minerais industriais no desenvolvimento local no Município de Sumbé (Angola). **Revista Eletrônica Cadernos CIMEAC – UFMT**, 9(1). <https://doi.org/10.18554/cimeac.v9i1.3868>
- BRASILEIRO, L. L. & MATOS, J. M. E. (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, 61(358), 178-189. <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>
- CARVALHO, C. H. R. (2011). Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros - **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**. Recuperado em 03 de ago de 2023 de https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf.
- COELHO, M. C.; FREY, H. C.; ROUPHAIL, N. M.; Zhai, H.; Pelkman, L. (2009). Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**. 14, (2), 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.005>

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2002). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Recuperado de <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html> em 17 de mar de 2023.

DIAS, A., NEZAMI, S., SILVESTRE, J., KURDA, R., SILVA, R., MARTINS, I., & BRITO, J. (2022). Environmental and Economic Comparison of Natural and Recycled Aggregates Using LCA. **Recycling**. <https://doi.org/10.3390/recycling7040043>.

DI MARIA, A., EYCKMANS, J. & VAN ACKER, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. **Waste Management**, 75, 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.028>

DOMICIANO, M. L.; SANTOS, E. C. G. & LINS DA SILVA, J. (2020). Geogrid mechanical damage caused by recycled construction and demolition waste (RCDW): Influence of grain size distribution. **Soils and Rocks**, 43, 231-246. <https://doi.org/10.28927/SR.432231>

FEIL, A. A. & SCHREIBER, D. (2017). Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cad. EBAPE.BR**, 14(3), 667-681. <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395157473>

FLEURY, M. P., SIQUEIRA NETO, N. & SANTOS, E. C. G. dos. (2017). **Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na Região Metropolitana de Goiânia-GO**. In: IV Simpósio da Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro-Oeste (Geocentro), 2017, Goiânia. Anais do Simpósio da Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro-Oeste (Geocentro 2017). Goiânia: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2017. p. 634-639.

GHAZINOORY, S., ABDI, M., & AZADEGAN-MEHR, M. (2011). Swot Methodology: A State-of-the-Art Review for the Past, A Framework for the Future. **Journal of Business Economics and Management**, 12, 24-48. <https://doi.org/10.3846/16111699.2011.555358>.

GOMES, M. S. (2014). Extração de granito e impactos ambientais em Sobrado-PB. Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal da Paraíba/PB. 61p.

HERRADOR, R., PEREZ, P., GARACH, L. & ORDONEZ, J. (2012). Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing. **Journal of Transportation Engineering**, 138(2), 182-190. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000320](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000320)

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2011). Portaria nº 194, de 27 de Abril de 2022. Revisa o estoque regulatório com vistas à revogação de medida regulatória em razão da ausência de competência legal do Inmetro, conforme artigo 3º da Lei nº 9.933, de 20 de dezembro de 1999, para a sua expedição - Registro do Peso Bruto Total (PBT) e da Capacidade Máxima de Tração (CMT).

LARA, L. G. A. & OLIVEIRA, S. A. (2017). A ideologia do crescimento econômico e o discurso empresarial do desenvolvimento sustentável. **Cad. EBAPE.BR**, 15(2). <https://doi.org/10.1590/1679-395159387>

LEITE, F. C., MOTTA, R. S., VASCONCELOS, K. L. & BERNUCCI, L. (2011). Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. **Construction And Building Materials**, 25, 2972-2979. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.105>

MCGINNIS, M., DAVIS, M., ROSA, A., WELDON, B., & KURAMA, Y. (2017). Quantified sustainability of recycled concrete aggregates. **Magazine of Concrete Research**, 69, 1203-1211. <https://doi.org/10.1680/JMACR.16.00338>.

MARTÍNEZ-LAGE, I., VÁZQUEZ-BURGO, P., & VELAY-LIZANCOS, M. (2020). Sustainability evaluation of concretes with mixed recycled aggregate based on holistic approach: Technical, economic and environmental analysis. **Waste management**, 104, 9-19 . <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.044>.

Ministério do Meio Ambiente – MMA (2013). Inventário Nacional de emissões atmosféricas por veículos rodoviários. Recuperado de https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviarios_2013.pdf em 03 de ago de 2023.

- MONTEIRO, A. R. (2020). Educação ambiental: um itinerário para a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida nas cidades. *Revista de Direito da Cidade*, 12, 830-850. <https://doi.org/10.12957/rdc.2020.42078>
- OSSA, A., GARCÍA, J. L. & BOTERO, E. (2016). Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for pavement construction industry. **Journal Of Cleaner Production**, 135, 379-386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.088>
- PAZ, C. F. (2020). Inventário do ciclo de vida aplicado à produção de agregados a partir de resíduos de construção e demolição. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, Paraná. 2020.
- PINTO, T. P. (1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. 189 p. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. 1999.
- PONTES, J. C., LIMA, V. L. A. & SILVA, V. P. (2016). Impactos ambientais do desmonte de rocha com uso de explosivos em pedra de granito de Caión-RN. *Geociências*, 35(2), 267-276, 2016.
- RAO, A., JHA, K. N. & MISRA, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>
- ROSSI, S. de. (2017) Diagnóstico e plano de melhoria da gestão dos resíduos sólidos (classe II) em uma Universidade Federal. 149p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.
- SALOMÃO, P. E. A., MALAGUTE, L. S., LORENTZ, L. P. A. & GONÇALVES DE PAULA, L. T. (2019). Reutilização dos resíduos gerados pela construção civil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, 8(10), e268101366. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i10.1366>
- SANTOS, E. C. G. (2011). Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino. 216 f. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- SILVEIRA, D. T. & CÓRDOVA, F. P. (2009). A pesquisa científica. In: Gerhart, T. E. & Silveira, D. T. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 33-44.
- VALENTIN, E. (2001). Swot Analysis from a Resource-Based View. **Journal of Marketing Theory and Practice**, 9, 54 - 69. <https://doi.org/10.1080/10696679.2001.11501891>.
- VIEIRA, C. S. & PEREIRA, P. M. (2015). Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.023>
- WU, H., ZUO, J., ZILLANTE, G., WANG, J. & YUAN, H. (2019). Status quo and future directions of construction and demolition waste research: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, 240, 118163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118163>