REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

EDIFICAÇÕES PÚBLICAS E NEUTRALIDADE DE CARBONO: ANÁLISE DO PROJETO DA CÂMARA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ À LUZ DO ROADMAP 2050, DA CEMBUREAU

PUBLIC BUILDINGS AND CARBON NEUTRALITY: ANALYSIS OF THE GUARATINGUETÁ CITY COUNCIL PROJECT IN LIGHT OF THE CEMBUREAU 2050 ROADMAP

EDIFICACIONES PÚBLICAS Y NEUTRALIDAD DE CARBONO: ANÁLISIS DEL PROYECTO DEL CONCEJO MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ A LA LUZ DE LA HOJA DE RUTA 2050 DE CEMBUREAU

David Ponce de Souza[1], Arthur Aviz Palma e Silva[2], Tiago Martins de Abreu[3], Suylan Matias da Cruz[3], Ítalo Ribeiro Gonçalves Lima[3], Julio Roberto Uszacki Junior[3]

e717142
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i1.7142

PUBLICADO: 01/2026

RESUMO

As políticas e tratados voltados à redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2) têm avançado de forma gradual, frequentemente relegados a segundo plano diante de interesses econômicos. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar alternativas técnicas para a mitigação de emissões de CO_2 na construção civil, tomando como estudo de caso a adequação do projeto da nova Câmara Municipal de Guaratinguetá às diretrizes do *Roadmap for Carbon Neutrality* 2050 da CEMBUREAU. A metodologia adotada baseia-se na aplicação do *Building Information Modeling* (BIM), utilizando os *softwares* Eberick e AltoQi Visus, com foco na otimização dos quantitativos de concreto e na incorporação de práticas sustentáveis. O estudo detalha o desenvolvimento do projeto estrutural em concreto armado e propõe melhorias como a substituição parcial do cimento por adições minerais, incluindo microssílica, metacaulim e cinza da casca de arroz, visando à redução do consumo de concreto e das emissões associadas. A modelagem e simulação dos cenários estruturais permitiram garantir a conformidade com as normas técnicas vigentes e com os objetivos de sustentabilidade. Os resultados demonstram a viabilidade do alinhamento de projetos estruturais às metas de neutralidade de carbono, evidenciando reduções significativas de CO_2 sem prejuízo à resistência e à durabilidade do concreto. O estudo contribui como referência para futuros projetos de edificações públicas sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Neutralidade de carbono. Redução de CO_2. Concreto armado. BIM. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Policies and international agreements aimed at reducing carbon dioxide (CO_2) emissions have progressed slowly, often being overshadowed by economic priorities. In this context, this study aims to present technical alternatives for CO_2 mitigation in the construction sector, using the adaptation of the new Guaratinguetá City Council building project to the CEMBUREAU 2050 Carbon Neutrality Roadmap as a case study. The methodology is based on the application of Building Information Modeling (BIM), employing the Eberick and AltoQi Visus software, with a focus on optimizing concrete quantities and implementing sustainable practices. The research details the development of the reinforced concrete structural design and proposes sustainable improvements, such as the partial replacement of cement with mineral additions, including microsilica, metakaolin,

[1] Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Gurupi-TO, Brasil.
[2] Professor do curso de Engenharia Civil, Estácio Brasília, Brasília-DF, Brasil.
[3] Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC), Brasília-DF, Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

and rice husk ash, aiming to reduce concrete consumption and associated emissions. Structural modeling and scenario simulations ensured compliance with technical standards and sustainability targets. The results demonstrate the feasibility of aligning construction projects with carbon neutrality goals, achieving significant reductions in CO_2 emissions without compromising concrete strength and durability. This study serves as a reference for future sustainable public building projects.

KEYWORDS: *Carbon neutrality. CO_2 reduction. Reinforced concrete. BIM. Sustainability.*

RESUMEN
Las políticas y acuerdos internacionales orientados a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) han avanzado lentamente, frecuentemente relegados frente a prioridades económicas. En este contexto, este estudio tiene como objetivo presentar alternativas técnicas para la mitigación de CO_2 en la construcción civil, utilizando como caso de estudio la adecuación del proyecto de la nueva Cámara Municipal de Guaratinguetá a las directrices de la Hoja de Ruta para la Neutralidad de Carbono 2050 de CEMBUREAU. La metodología se basa en la aplicación del Building Information Modeling (BIM), mediante el uso de los softwares Eberick y AltoQi Visus, con énfasis en la optimización de los volúmenes de concreto y la implementación de prácticas sostenibles. La investigación detalla el desarrollo del proyecto estructural en concreto armado y propone mejoras sostenibles, como la sustitución parcial del cemento por adiciones minerales, entre ellas microsílice, metacaolín y ceniza de cáscara de arroz, con el fin de reducir el consumo de concreto y las emisiones asociadas. Los resultados evidencian la viabilidad de alinear proyectos constructivos con metas de neutralidad de carbono, logrando reducciones significativas de CO_2 sin comprometer la resistencia ni la durabilidad del concreto. El estudio se presenta como referencia para futuros proyectos de edificaciones públicas sostenibles.

PALABRAS CLAVE*: Neutralidad de carbono. Reducción de CO_2. Hormigón armado. BIM. Sostenibilidad.*

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil ocupa papel central nos debates contemporâneos sobre mudanças climáticas e sustentabilidade, em razão de sua elevada participação no consumo global de recursos naturais, na demanda energética e nas emissões de dióxido de carbono (CO_2). Estima-se que as atividades associadas às edificações e à construção sejam responsáveis por aproximadamente 38% das emissões globais de carbono e por cerca de 35% do consumo mundial de energia, considerando todo o ciclo de vida dos empreendimentos (UNEP, 2020). Nesse contexto, a necessidade de transição para práticas construtivas de menor impacto ambiental tornou-se imperativa, especialmente diante das metas internacionais de mitigação das mudanças climáticas e dos compromissos assumidos por diversos países rumo à neutralidade de carbono até meados do século XXI.

Entre os materiais empregados na construção civil, o cimento Portland destaca-se como um dos principais vetores de emissões de CO_2, respondendo por cerca de 4% a 5% das emissões globais antrópicas, em grande parte associadas à produção do clínquer, etapa que envolve a calcinação do calcário em altas temperaturas e libera emissões de processo e de combustão

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(Marland; Boden; Andres, 2003; IEA, 2018). Diante desse cenário, diferentes estratégias têm sido propostas para a redução da pegada de carbono do setor, incluindo a substituição parcial do clínquer por materiais suplementares, o desenvolvimento de cimentos de baixo carbono, a otimização das dosagens de concreto, o aumento da durabilidade das estruturas e a adoção de tecnologias digitais que permitam maior eficiência no uso de materiais e recursos ao longo do ciclo de vida das edificações.

No âmbito internacional, destaca-se o *Roadmap for Carbon Neutrality* 2050, elaborado pela CEMBUREAU, que propõe uma abordagem integrada para a descarbonização da cadeia produtiva do cimento e do concreto, estruturada nos chamados “5Cs”: clínquer, cimento, concreto, construção e recarbonatação (CEMBUREAU, 2021). O documento estabelece diretrizes técnicas e estratégicas para a redução progressiva das emissões de CO_2, enfatizando o uso de adições minerais, a eficiência energética dos processos produtivos, a digitalização da construção, a economia circular e o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a inovação e a adoção de práticas sustentáveis. A aplicação prática dessas diretrizes, especialmente em projetos reais de edificações públicas, representa um campo ainda pouco explorado na literatura técnico-científica nacional, mas com elevado potencial de impacto ambiental, econômico e institucional.

Nesse contexto, as edificações públicas assumem papel estratégico na promoção da sustentabilidade, não apenas pelo volume de recursos envolvidos, mas também por seu caráter demonstrativo e indutor de boas práticas no setor da construção civil. Projetos públicos alinhados a diretrizes de neutralidade de carbono podem contribuir significativamente para a redução das emissões associadas às obras, além de servir como referência para políticas públicas e futuras intervenções em escala municipal, estadual e nacional. A incorporação de ferramentas de *Building Information Modeling* (BIM) nesse processo potencializa esses benefícios, ao permitir a modelagem integrada, a extração precisa de quantitativos, a avaliação de cenários alternativos de materiais e a análise simultânea de impactos ambientais e econômicos.

Dentre as estratégias de mitigação aplicáveis ao concreto estrutural, destaca-se a substituição parcial do cimento por adições minerais, como microssílica, metacaulim e cinza da casca de arroz, as quais apresentam potencial para reduzir significativamente as emissões de CO_2 sem comprometer o desempenho mecânico e a durabilidade do material. Estudos recentes demonstram que essas adições podem, inclusive, promover ganhos de resistência em idades mais avançadas, ao mesmo tempo em que reduzem a intensidade de carbono do concreto (Conto *et al.,* 2023). A avaliação dessas alternativas em projetos reais, associada à análise de custos, é fundamental para verificar sua viabilidade técnica e econômica no contexto da construção pública brasileira.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar a adequação do projeto estrutural da nova Câmara Municipal de Guaratinguetá às diretrizes do *Roadmap for Carbon*

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Neutrality 2050 da CEMBUREAU, por meio da aplicação da metodologia BIM, utilizando os *softwares* Eberick e AltoQi Visus, com ênfase na substituição parcial do cimento por adições minerais e na avaliação dos impactos dessa estratégia sobre as emissões de CO_2 e os custos da edificação. Ao fazê-lo, busca-se contribuir para o avanço das práticas sustentáveis na construção civil, oferecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão em projetos de edificações públicas orientados à neutralidade de carbono.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A incorporação da sustentabilidade na construção civil, especialmente por meio da redução das emissões de carbono, constitui um dos principais desafios contemporâneos do setor. Apesar da relevância do tema, ainda persiste uma cultura profissional fortemente orientada ao lucro imediato, frequentemente dissociada das limitações ambientais e da finitude dos recursos naturais. Kalbusch (2011) destaca que a construção sustentável busca equilibrar viabilidade econômica, limitações ambientais e necessidades sociais, agregando valor, reduzindo a poluição e promovendo qualidade de vida sem comprometer o futuro.

Nesse sentido, Oliveira (2007) ressalta a importância da conscientização coletiva, superando o individualismo e reforçando valores como solidariedade, cooperação e responsabilidade social. Embora ainda exista resistência associando sustentabilidade à perda de qualidade e aumento de custos, dados evidenciam a urgência da transição: a construção civil é responsável por cerca de 38% das emissões globais de carbono, 35% da demanda mundial de energia (UNEP, 2020) e pela geração de aproximadamente 100 milhões de toneladas anuais de resíduos sólidos no Brasil (ABRECON, 2022). Ademais, embora o Brasil tenha anunciado a meta de neutralidade de carbono até 2050, o Climate Change Performance Index aponta a ausência de políticas e estratégias concretas para sua efetiva implementação (CCPI, 2021).

Dentre as fontes mais relevantes de emissões no setor, destaca-se a produção de cimento, responsável por cerca de 4 a 5% das emissões globais de CO_2 de origem antrópica (Marland, 2003), o que reforça a necessidade de intervenções estruturais no setor da construção civil, conforme já indicado pela Agenda 21 para construções sustentáveis em países em desenvolvimento (CIB, 2002). Nesse contexto, o *Roadmap for Carbon Neutrality* 2050 da CEMBUREAU apresenta uma abordagem integrada para a mitigação das emissões, fundamentada nos chamados “5Cs” — clínquer, cimento, concreto, construção e recarbonatação — abrangendo toda a cadeia produtiva do setor (CEMBUREAU, 2021). O documento enfatiza estratégias como eficiência energética, uso de combustíveis alternativos, captura de carbono e políticas facilitadoras que incentivem a inovação tecnológica e a circularidade dos recursos, alinhando-se às diretrizes do Pacto Ecológico Europeu. A aplicação dessas diretrizes em projetos reais, aliada ao uso de tecnologias como o *Building Information Modeling* (BIM) com *softwares*

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

como Eberick e AltoQi Visus, demonstra que é possível conciliar sustentabilidade, eficiência técnica e viabilidade econômica, promovendo reduções significativas de CO_2 sem comprometer custo, qualidade ou desempenho estrutural.

O clínquer é o principal responsável pelas emissões de CO_2 na produção de cimento, respondendo por cerca de 60% a 70% das emissões totais do processo, em função da calcinação do calcário em altas temperaturas, que gera emissões de processo e de combustão (IEA, 2018; CEMBUREAU, 2021). Estratégias para mitigar essas emissões incluem a substituição parcial do clínquer por materiais alternativos descarbonatados, como escória de alto-forno, cinzas volantes, pozolanas naturais e argilas calcinadas, bem como o uso de combustíveis alternativos, cuja participação nos fornos europeus atingiu aproximadamente 46% em 2017, com meta de 90% até 2050 (CEMBUREAU, 2021).

Adicionalmente, o desenvolvimento de novos tipos de clínquer, como o Sulfo-Aluminato (SAC) e o Ferro-Aluminato (FAC), produzidos a temperaturas mais baixas e com menor teor de calcário, pode reduzir as emissões de CO_2 entre 20% e 30%, enquanto melhorias na eficiência energética dos fornos, como a adoção de pré-calentadores e a recuperação de calor, contribuem para a diminuição do consumo de combustíveis fósseis (IEA, 2018; CEMBUREAU, 2021).

No âmbito do cimento e do concreto, a redução da proporção de clínquer no cimento é uma estratégia central para a mitigação das emissões, considerando que, em 2017, o cimento europeu apresentou cerca de 77% de clínquer em sua composição, sendo o restante substituído por materiais suplementares (CEMBUREAU, 2021). O desenvolvimento de cimentos de baixo carbono, como Aether, Alpenat e Ternacem, bem como a otimização das dosagens de concreto, o uso de aditivos e a digitalização dos processos produtivos, permitem reduzir o consumo de cimento sem comprometer o desempenho mecânico e a durabilidade, sendo o concreto responsável por aproximadamente 8% das emissões globais de CO_2 (IEA, 2018; CEMBUREAU, 2021).

Na fase de construção, o uso de metodologias digitais como o BIM contribui para a otimização de materiais, redução de desperdícios e menor retrabalho, enquanto a recarbonatação do concreto surge como estratégia complementar, capaz de compensar entre 10% e 20% das emissões ao longo do ciclo de vida, embora exija cuidados quanto à redução do pH e ao risco de corrosão das armaduras, especialmente em estruturas de concreto armado (IEA, 2018; CEMBUREAU, 2021).

A redução das emissões de CO_2 associadas ao concreto, constitui um eixo central para a sustentabilidade da construção civil, uma vez que esse material é amplamente empregado e altamente dependente do cimento Portland. Mehta (2001) destaca que a mitigação dessas emissões pode ser alcançada por meio do uso de materiais suplementares cimentícios (MSCs), da otimização das misturas e da adoção de práticas construtivas sustentáveis.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Os MSCs, como cinzas volantes e escória de alto-forno, possibilitam a substituição parcial do cimento, reduzindo significativamente as emissões de CO_2 e, simultaneamente, melhorando propriedades como resistência e durabilidade.

A utilização de aditivos químicos, especialmente superplastificantes, permite reduzir o teor de cimento sem prejuízo das propriedades mecânicas do concreto, viabilizando concretos de alto desempenho com menor pegada de carbono (Mehta, 2002). Além disso, práticas como o design para durabilidade e o uso de concreto reciclado contribuem para a redução das emissões ao longo do ciclo de vida das estruturas, diminuindo a necessidade de reconstruções frequentes e a demanda por novos materiais (Mehta, 2004).

Nesse contexto, a substituição parcial do clínquer por adições minerais, com destaque para a argila calcinada, apresenta-se como estratégia eficiente para a redução de CO_2 na produção de cimento (Scrivener *et al.,* 2018). A argila calcinada, obtida por tratamento térmico entre 600 e 900 ºC, gera aluminossilicatos amorfos com elevada reatividade pozolânica, promovendo refinamento da microestrutura, menor porosidade e maior durabilidade do concreto (Mehta; Monteiro, 2006).

Estudos indicam que a substituição de até 20% do cimento por argila calcinada reduz a permeabilidade, a difusão de cloretos e aumenta a resistência a sulfatos e ácidos, prolongando a vida útil das estruturas (Sabir; Wild; Bai, 2001; Scrivener *et al.,* 2018; Pillai *et al.,* 2019). Adicionalmente, a argila calcinada pode atuar como agregado leve em regiões com escassez de agregados naturais, apresentando desempenho mecânico compatível com concreto estrutural (Cabral *et al.,* 2008; Santis; Rossignolo, 2014), além de viabilidade econômica decorrente da ampla disponibilidade de argilas e das menores temperaturas de queima em comparação ao clínquer (Scrivener *et al.,* 2018; Silva; Frota, 2013; Oliveira, 2020). Resultados experimentais também demonstram a eficácia da substituição parcial do cimento por metacaulim, microssílica e sílica da casca de arroz, com substituições de 10%, avaliadas por meio da Lei de Abrams e ensaios de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, evidenciando reduções de CO_2 sem comprometimento do desempenho mecânico (Conto *et al.,* 2023).

Os resultados obtidos por Conto *et al.,* (2023) indicam que a incorporação de adições minerais afeta de forma distinta o desenvolvimento da resistência do concreto ao longo do tempo. A microssílica e a sílica da casca de arroz apresentaram resistências inferiores ao traço padrão nas idades iniciais de 3 e 7 dias, porém superaram o desempenho do concreto de referência aos 28 dias, sendo a microssílica a adição com melhor desempenho final. O metacaulim, por sua vez, apresentou resistências inferiores em todas as idades analisadas. De modo geral, o estudo demonstrou que, embora as adições não sejam tão eficientes nas idades iniciais, há maior desenvolvimento de resistência nas idades finais, possibilitando a substituição parcial do cimento sem perda de desempenho mecânico.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Destaca-se que a substituição de 10% do cimento por microssílica resultou em uma redução de até 9,66% nas emissões de CO_2, concomitante a um aumento de 8,99% na resistência à compressão aos 28 dias, conforme evidenciado pelos resultados obtidos a partir das curvas de Abrams sobrepostas (Conto *et al.,* 2023).

No âmbito da modelagem estrutural e da gestão digital da construção, a utilização de *softwares* especializados tem se mostrado fundamental para a otimização de projetos e redução de impactos ambientais. O *software* Eberick permite a modelagem detalhada de estruturas de concreto armado, a simulação de diferentes combinações de carregamento e a verificação dos estados limites últimos e de serviço, assegurando conformidade com a NBR 6118 e promovendo economia de materiais, tempo e maior segurança estrutural (ABNT, 2014; Medeiros; Souza, 2017).

Complementarmente, o AltoQi Visus configura-se como uma plataforma OpenBIM de gestão digital da construção, classificada como sistema de Digital Construction Management, que integra orçamento, planejamento, monitoramento e colaboração em ambiente 3D, com acesso a bases de custos como SINAPI e SICRO, além de recursos de análise de interferências e gestão colaborativa dos projetos (ALTOQI, 2021). A integração dessas ferramentas digitais contribui para decisões baseadas em dados, redução de desperdícios, maior eficiência econômica e alinhamento dos projetos às diretrizes de sustentabilidade.

3. MÉTODOS

O projeto estrutural em concreto armado da nova Câmara Municipal de Guaratinguetá foi desenvolvido por meio da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), utilizando o *software* AltoQi Eberick para a modelagem e o dimensionamento estrutural da edificação, e o *software* AltoQi Visus para a extração dos quantitativos de materiais. Após o desenvolvimento e o cálculo do projeto estrutural, os quantitativos foram utilizados para avaliar estratégias de redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2), com foco no eixo “Concrete” dos 5Cs do *Roadmap for Carbon Neutrality* 2050 da CEMBUREAU, por meio da substituição parcial do cimento por adições minerais, bem como para verificar o impacto dessas alterações no custo final da obra. O estudo refere-se ao projeto denominado “Projeto para a construção da nova Câmara Municipal”, pertencente à Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, localizado na Avenida Dr. Ariberto Pereira da Cunha, Lote 01, Quadra G, no município de Guaratinguetá, estado de São Paulo.

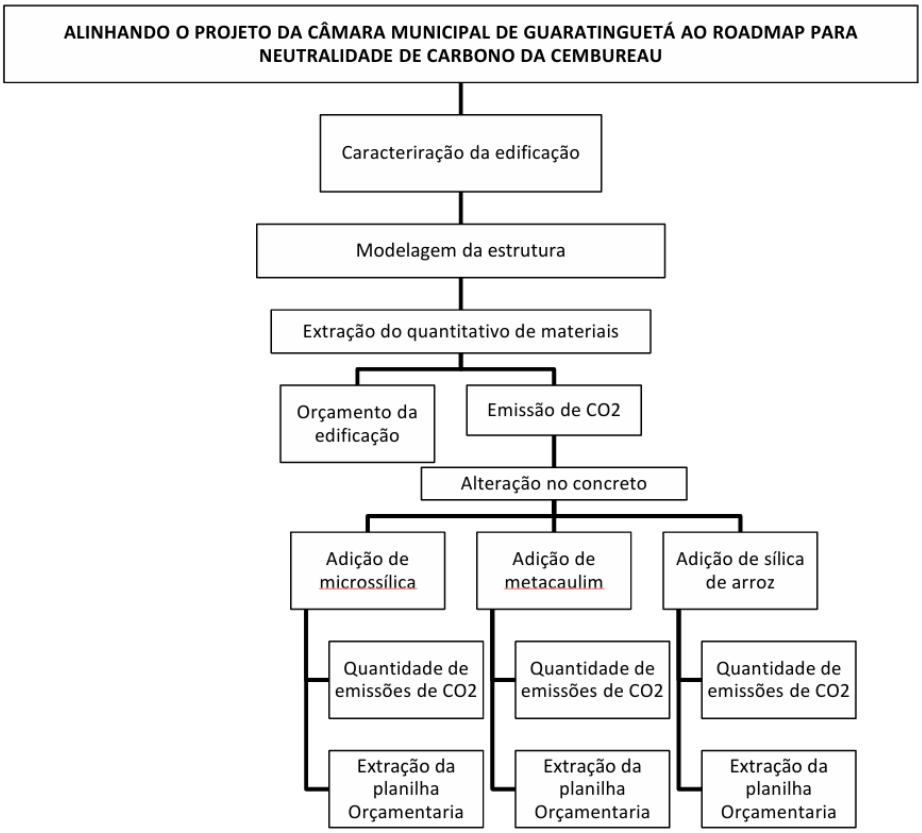
A edificação possui área total de 1.438,97 m², distribuída em dois pavimentos, sendo 723,71 m² no pavimento térreo e 715,26 m² no pavimento superior, caracterizando-se como uma edificação comercial de dois pavimentos com sistema estrutural convencional em concreto armado moldado *in loco*. O projeto arquitetônico foi disponibilizado em arquivos no formato DWG (AutoCAD), contendo plantas baixas, fachadas e cortes, os quais serviram de base para a

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

modelagem estrutural em ambiente BIM (Figuras 2 e 3). A modelagem dos elementos estruturais consistiu no lançamento de pilares, fundações, vigas e lajes, com definição das geometrias, parâmetros estruturais, níveis da edificação e nível do solo, informações necessárias para a análise das ações verticais e horizontais, incluindo os efeitos do vento sobre a estrutura (Figuras 4 e 5). Após o dimensionamento estrutural, os quantitativos extraídos do modelo BIM foram empregados nas análises comparativas de emissões de CO_2 e de custos associadas às diferentes composições de concreto avaliadas.

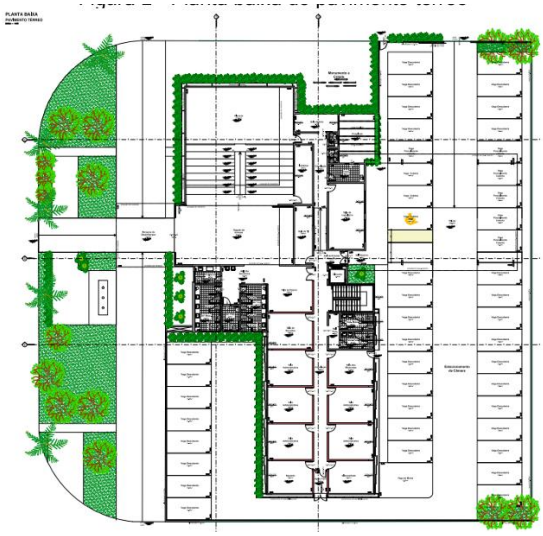
Figura 1. Fluxograma da pesquisa



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

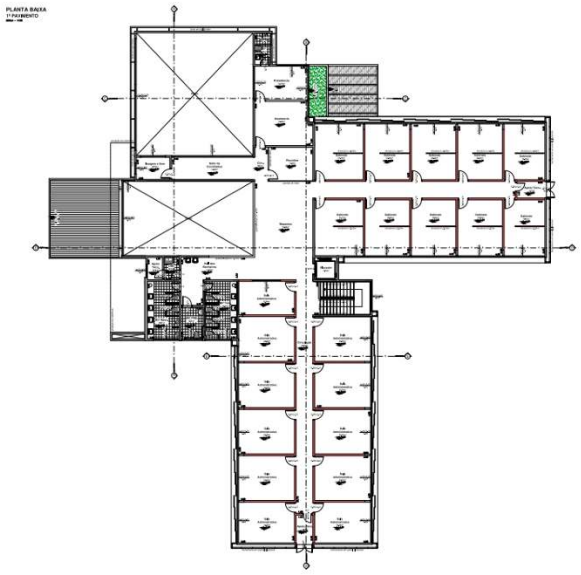
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 2. Planta baixa do pavimento térreo



Fonte: Ricardo Rabello Arquitetura e design (2023)

Figura 3. Planta baixa do pavimento superior



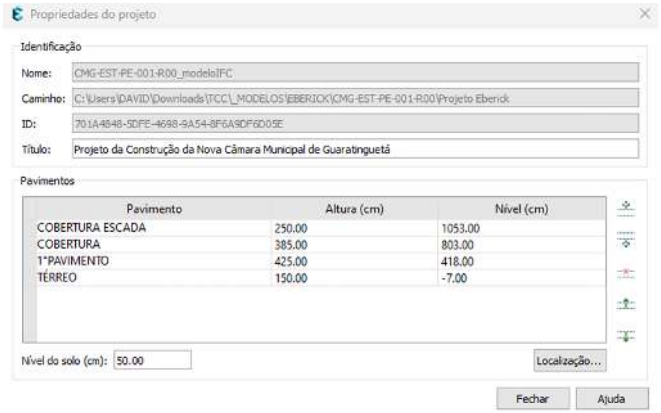
Fonte: Ricardo Rabello Arquitetura e design (2023)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

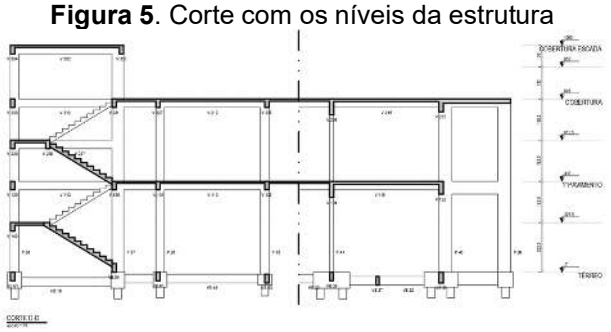
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 4. Aba para lançamento dos níveis da estrutura



Fonte: Autor (2024)

Figura 5. Corte com os níveis da estrutura



Fonte: Autor (2024)

Com os níveis estruturais previamente definidos, os projetos arquitetônicos foram inseridos em seus respectivos níveis no ambiente BIM, de modo a servir como base para o lançamento da estrutura e assegurar a compatibilização entre arquitetura e estrutura. Para esse fim, foi utilizado o arquivo arquitetônico previamente tratado, contendo apenas as informações necessárias à modelagem estrutural. A partir dessa base, iniciou-se a modelagem da estrutura no *software* AltoQi Eberick, conforme ilustrado nas Figuras 6, 7 e 8.

O lançamento da estrutura foi iniciado pela definição dos eixos estruturais, os quais constituem referência fundamental para a locação dos elementos estruturais tanto no modelo quanto na execução da obra, sendo também o ponto de partida para a construção virtual do edifício. A Figura 7 ilustra a utilização dos eixos como base para o posicionamento dos elementos estruturais. O *software* Eberick, por operar em ambiente BIM, possibilita a geração simultânea dos modelos bidimensional (2D) e tridimensional (3D), permitindo a visualização integrada da interação entre os elementos estruturais e facilitando a identificação de interferências ou inconsistências de modelagem, conforme exemplificado na Figura 8.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

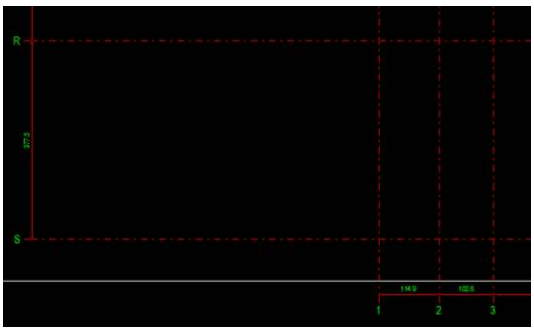
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Com os eixos definidos a partir da arquitetura, o lançamento estrutural teve início pelo pavimento térreo, priorizando a locação dos pilares em regiões menos nobres da edificação, como cantos e áreas periféricas. Considerando que o pavimento superior apresenta configuração estrutural semelhante ao pavimento térreo, os pilares foram inicialmente modelados neste nível e posteriormente copiados para o primeiro pavimento e para a cobertura. Na cobertura da escada, localizada em nível superior à cobertura principal, foram copiados apenas os pilares necessários ao seu suporte estrutural, especificamente os pilares P32, P33, P34, P37 e P38. Durante o lançamento, verificou-se a correta configuração dos pilares quanto à sua condição de exposição (ambiente interno ou externo), uma vez que essa classificação influencia diretamente o cobrimento mínimo da armadura exigido em projeto. Após a definição completa dos pilares, procedeu-se ao lançamento das vigas e lajes.

No lançamento das vigas, foram aplicadas as cargas lineares correspondentes às paredes de vedação, considerando os parâmetros geométricos e físicos fornecidos ao software, tais como altura, espessura e peso específico do material. As cargas das paredes foram modeladas utilizando blocos de vedação de concreto vazado com espessura de 18 cm (14 + 2 × 2 cm), peso específico de 1.200 kgf/m³ e altura variável conforme o pavimento, conforme ilustrado na Figura 9. Esses carregamentos foram automaticamente incorporados ao modelo estrutural, compondo o conjunto de ações consideradas nas etapas subsequentes de análise e dimensionamento. Com os níveis do projeto já configurados, inserem-se os projetos arquitetônicos existentes em seus respectivos níveis para que sirvam de base para o lançamento da estrutura da obra com mais precisão, evitando erros de compatibilização com a arquitetura. Aqui, é inserido o template que foi limpo anteriormente para facilitar o lançamento da estrutura.

Com as informações do projeto foi dado início a modelagem da estrutura no software AltoQI Eberick. As figuras 6, 7 e 8 demonstram como são feitas as primeiras etapas da modelagem.

Figura 6. Lançamento dos eixos da estrutura

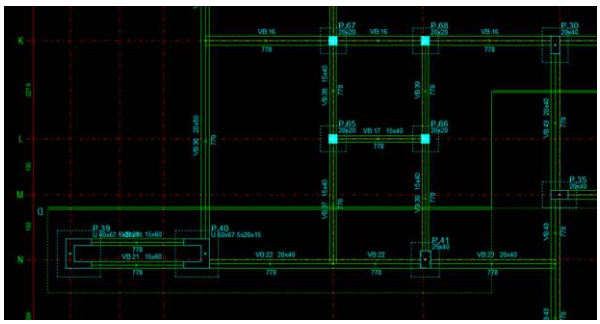


Fonte: Autor (2024)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

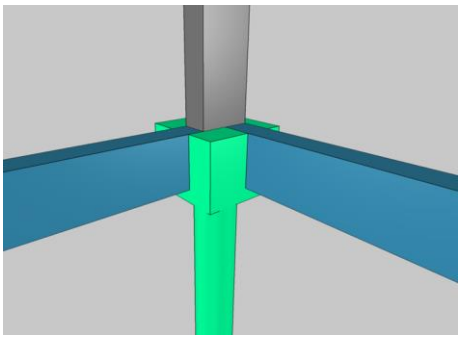
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 7. Locação dos objetos



Fonte: Autor (2024)

Figura 8. Imagem 3D dos elementos P.58, VB.31, VB.40 e B.58



Fonte: Autor (2024)

Figura 9. Janela de configuração de carga extra de paredes



Fonte: Autor (2024)

No lançamento das vigas, assim como nos pilares, foi considerada a condição de exposição dos elementos estruturais (ambiente interno ou externo), uma vez que essa classificação influencia diretamente o cobrimento mínimo da armadura adotado em projeto. Quanto às lajes, por especificação do contratante e em função das exigências estruturais da

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

edificação, foram predominantemente adotadas lajes maciças de concreto armado, em razão de sua robustez, elevada rigidez e capacidade de suportar cargas distribuídas uniformemente, contribuindo para a minimização de vibrações e deflexões. Em regiões específicas do projeto, caracterizadas por maiores vãos e solicitações estruturais mais elevadas, foram empregadas lajes nervuradas e lajes de concreto protendido, estas últimas escolhidas por permitirem maiores vãos livres e menores espessuras em comparação ao concreto armado convencional, sem prejuízo à segurança estrutural. Durante o lançamento das lajes, foram consideradas as cargas acidentais conforme a ABNT NBR 6120:2019; para as lajes protendidas, definiu-se a direção de protensão das faixas, enquanto para as lajes nervuradas foram estabelecidas suas dimensões geométricas e respectivas cargas, conforme ilustrado na Figura 10.

A partir das informações do projeto arquitetônico, foram definidas as dimensões necessárias para o lançamento das escadas no *software* de cálculo estrutural. A escada apresenta degraus com 17,5 cm de espelho e 29 cm de pisada, patamares intermediários para descanso, altura total de 225,5 cm e desnível de 610,5 cm em relação ao nível inferior. O lançamento dos lances foi realizado do nível superior para o nível inferior. Conforme a ABNT NBR 6120:2019, adotou-se carga acidental de 300 kgf/m² para a escada, considerando seu uso público, bem como carga permanente de revestimento de 167 kgf/m². A escada foi dimensionada com espessura de 12 cm e fundo liso, atendendo aos requisitos normativos de segurança e desempenho estrutural.

A definição do sistema de fundações baseou-se nos resultados da sondagem à percussão (SPT), executada em setembro de 2023 pela empresa Delta Mais Engenharia, conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6484 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT. A partir da análise técnico-econômica das soluções viáveis e considerando a presença de nível d'água no terreno, optou-se pela adoção de estacas moldadas in loco do tipo hélice contínua, em virtude de sua adequação às condições geotécnicas locais e da disponibilidade de mão de obra especializada na região. Com todos os elementos estruturais definidos, configurados e dimensionados, a visualização integrada do modelo permitiu a verificação global da estrutura, conforme apresentado na Figura 12.

Após a conclusão da modelagem e do dimensionamento estrutural no software AltoQi Eberick, o modelo tridimensional da estrutura foi exportado no formato IFC e posteriormente importado para o *software* AltoQi Visus, utilizado para a extração dos quantitativos e a análise orçamentária. No ambiente do Visus, o modelo IFC foi associado aos parâmetros do empreendimento, incluindo dimensões dos elementos estruturais, tipos de materiais e características específicas de cada componente, permitindo a obtenção sistematizada dos quantitativos necessários às análises comparativas de custo e às avaliações de impacto

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

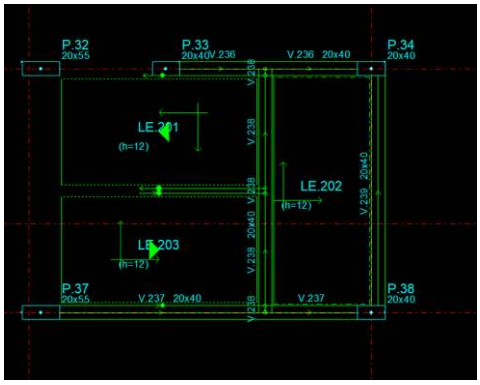
associadas às diferentes composições de concreto adotadas no estudo, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 10. Tipo e dimensão da laje nervurada



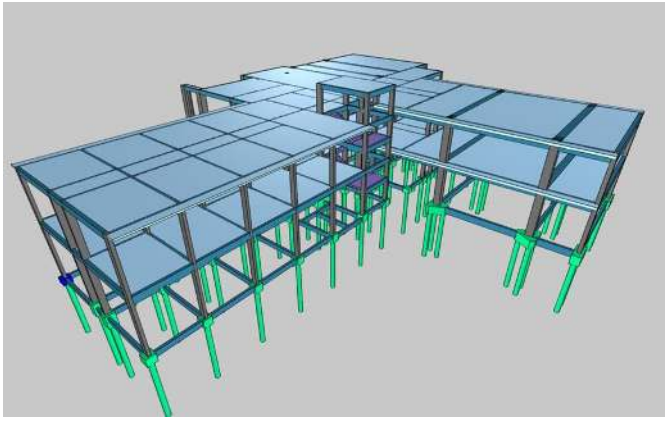
Fonte: Autor (2024)

Figura 11. Lançamento das escadas



Fonte: Autor (2024)

Figura 12. Imagem 3D da estrutura completa



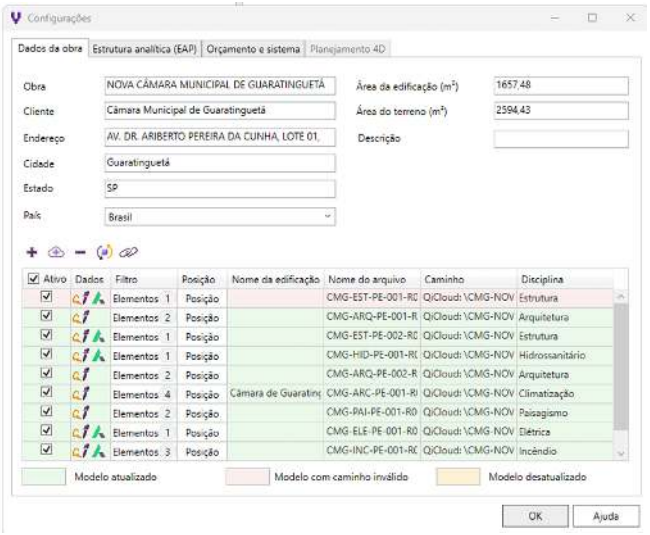
Fonte: Autor (2024)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 13. Dados da obra



Fonte: Autor (2024)

O *Visus Cost Management* extrai os quantitativos dos projetos de forma parametrizada e automatizada. O *software* utiliza os dados do modelo para calcular automaticamente os quantitativos de materiais figura 14. Isso é feito por meio de uma função de extração que analisa cada elemento do modelo, como vigas, colunas, lajes e fundações, e quantifica os materiais necessários, como concreto, aço, formas e outros itens relevantes. Rastreando no modelo 3D os insumos e serviços seguindo os padrões da Estrutura analítica de Projeto (EAP). Podendo também ser quantificados elementos não presentes na modelagem a partir de regras criadas com o objetivo de atender os critérios de medição.

Figura 14. Quantitativo de materiais

3.1.2.2.	Viga		
3.1.2.2.1	Barra de aço CA50 ø 10.0 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	594,87	Kg
3.1.2.2.2	Barra de aço CA50 ø 12.5 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	669,83	Kg
3.1.2.2.3	Barra de aço CA50 ø 16.0 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	329,87	Kg
3.1.2.2.4	Barra de aço CA50 ø 20.0 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	113,00	Kg
3.1.2.2.5	Barra de aço CA50 ø 6.3 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	128,85	Kg
3.1.2.2.6	Barra de aço CA50 ø 8.0 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	309,28	Kg
3.1.2.2.7	Barra de aço CA60 ø 5.0 mm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	647,82	Kg
3.1.2.2.8	Concreto - C-30 - Abatimento 5 cm (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	42,92	m³
3.1.2.2.9	Forma - Estrutura - Concreto (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	492,87	m²
3.1.2.2.10	Impermeabilização de vigas baldrame TÉRREO (Pilar ou Viga)	493,42	m²
3.1.2.2.11	Lastro Viga (TÉRREO) (Pilar ou Viga)	6,52	m³

Fonte: Autor (2024)

O *software* possui diversas bases de referências de composições de custos e insumos figura 15, para a análise da Câmara Municipal de Guaratinguetá foram utilizadas as planilhas da SINAPI não desonerada do estado de São Paulo referente ao mês de julho de 2023, SIURB não desonerada do estado de São Paulo referente ao mês de janeiro de 2023, SIURB INFRA não desonerada do estado de São Paulo referente ao mês de janeiro de 2023, CDHU não desonerada

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

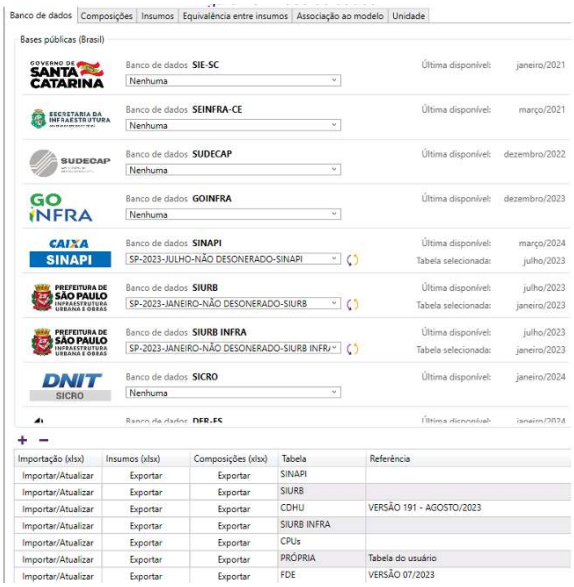
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

do estado de São Paulo referente ao mês de agosto de 2023 e FDE não desonerada do estado de São Paulo referente ao mês de julho de 2023.

Optou-se por alterar o concreto que usado na construção com base no trabalho de Conto *et al.,* (2023). Comparando qual o percentual de redução de CO2, a Câmara municipal de Guaratinguetá terá, em relação a cada aditivo microssílica, metacaulim e sílica da casca de arroz. Também será apresentado qual o valor que essas substituições acrescenta à obra através do AltoQI Visus.

No trabalho de Conto *et al.,* (2023) não foi informado explicitamente o traço de concreto utilizado em seus testes descritos no trabalho. Diante desta lacuna, optou-se por utilizar o método de dosagem de concreto estabelecido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para determinar a dosagem adequada para este estudo com base nos valores de cimento, água e a relação de água/ cimento. Para a definição do traço do concreto utilizando o método de dosagem de concreto – ABCP, foram utilizados os valores de relação água / cimento, cimento, aditivo e água presentes no trabalho de Conto *et al.,* (2023), e para o cálculo foram considerados areia média e brita de 19mm. Com os dados necessários definidos foi determinado o traço de concreto para cada com base no método de dosagem de concreto – ABCP.

Figura 15. Base de dados



Fonte: Autor (2024)

4. RESULTADOS

O projeto da nova Câmara Municipal de Guaratinguetá foi desenvolvido digitalmente utilizando o *software* Eberick. O uso do Eberick para o projeto estrutural permitiu uma abordagem

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

mais eficiente e sustentável, contribuindo significativamente para a redução das emissões de CO_2. O *software* facilita a otimização dos materiais de construção, permitindo uma melhor gestão dos recursos. A digitalização do projeto permite simulações precisas e ajustes que reduzem o uso excessivo de concreto e outros materiais, alinhando-se com as práticas de construção sustentável promovidas pelo Roteiro da Cembureau. Além disso, o uso de ferramentas digitais como o Eberick possibilita a integração de práticas de construção circular, onde os resíduos de construção são minimizados.

A modelagem digital precisa permitir um planejamento detalhado que reduz desperdícios e otimiza o uso de energia durante a construção. Uma das opções para a redução de CO2 na obra da Câmara Municipal de Guaratinguetá e a substituição do cimento Portland comum. Pois apesar do cimento em si não ter emissão de gás carbónico, a produção de seus materiais básicos, principalmente o clínquer, é responsável pela maior parte da emissão de CO2 de todo ciclo do concreto.

O roadmap da CEMBUREAU traz em seu texto algumas empresas que já trabalham com um cimento com menor emissão de CO2 durante sua produção. Novos tipos de cimentos foram desenvolvidos. Exemplos destes tipos de cimentos são: Aether, Alpenat e Ternacem (Belite-Ye'elimite-Ferrite), Cimento de Aluminato de Cálcio e Futurecem (Cimento Calcário de Argila Calcinada). Esses cimentos normalmente têm uma pegada de carbono 20 a 30% menor do que o cimento Portland comum (CEM I) (CEMBUREAU, 2021, p. 24). No contexto da região brasileira, a indústria do cimento está focada em melhorar a eficiência energética dos seus processos produtivos. Isso envolve a modernização de fornos e a adoção de práticas de gestão que reduzam o consumo de energia.

Além disso, há um crescente investimento em pesquisa e desenvolvimento de cimentos de baixo carbono que utilizam matérias-primas alternativas e incorporam adições minerais que diminuem a necessidade de clínquer. Algumas empresas brasileiras de cimento estão na vanguarda das iniciativas para reduzir as emissões de CO2, cada uma implementando estratégias específicas para alcançar essa meta. Mesmo com iniciativas de diferentes tipos de cimento, na obra optou-se, em primeiro caso, pela substituição parcial do cimento por adições minerais. Essa escolha baseou-se na necessidade de reduzir as emissões de CO2 de forma mais imediata e eficaz.

Ao substituir parcialmente o cimento por essas adições minerais, é possível não apenas diminuir as emissões de CO2, mas também melhorar algumas propriedades do concreto, como durabilidade e resistência. Após a extração da planilha orçamentária, o valor total da obra, abrangendo todas as competências — elétrica, hidráulica, climatização, estrutural e arquitetónica — foi calculado em R$ 7.131.643,21, sem o BDI aplicado.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Desse montante, R$ 2.033.688,19 correspondem aos custos estruturais, dos quais R$ 310.571,41 são atribuíveis somente ao concreto utilizado na construção. Ao término do processo de extrair os quantitativos, o *software* AltoQi Visus apurou que a quantidade total de concreto necessário para a estrutura era de 528,29 m³. Para a análise dos níveis de emissão de CO2 do concreto usou-se os dados obtidos na pesquisa desenvolvida por Conto *et al.,* (2023) onde foi calculada a emissão de CO2 para o concreto. Com a quantidade de concreto já definida pelo *software* foi feita a quantificação da emissão de CO2 referente a ele.

Com os dados da quantidade de concreto necessária para o projeto do prédio da Câmara Municipal de Guaratinguetá, realizamos o cálculo da emissão de CO2 associada ao uso de concreto com base nos dados obtidos por Conto *et al.,* (2023). A análise foi feita com os dados referentes ao concreto – 30Mpa pois foi o utilizado na obra. Por fim, a quantidade total de CO2 emitida é de aproximadamente 131.628,77kgCO2. O projeto da Câmara Municipal de Guaratinguetá, com o traço padrão de concreto, teve uma quantidade total de 131.628,77kgCO2 emitidos e um custo no projeto estrutural de R$ 2.033.688,19 reais. Com as novas composições para os traços de concreto de 30Mpa com a adição de microssílica, metacaulim e sílica da casca de arroz, (tabela 1) calculadas com o método de dosagem de concreto – ABCP, com base nos valores já existentes de cimento e relação água / cimento já existentes no trabalho de Conto *et al.,* (2023).

Tabela 1. Dosagem dos materiais

Fck: 30Mpa	Dosagem de materiais para 1 m³ de concreto							
	Cimento (Kg)	**Adição (Kg)**	**Aglomerante total (Kg)**	**Areia (Kg)**	**Brita (Kg)**	**Água (Kg)**	**a/agl.**	**Emissão de CO_2 (Kg)**
Padrão	289,72	0	289,72	292,936 129	866,2	186	0,642	249,16
Microssílica	242,74	26,97	269,71	286,191 4516	866,2	195	0,723	208,76
Metacaulim	270	30	300	276,198 3871	866,2	189	0,63	232,2
Cinza da casca de arroz	259,3	28,81	288,11	286,362 4194	866,2	189	0,656	223

Após o quantitativo definido no *software* AltoQI Visus, foi montada a composição para cada adição. A figura 16 mostra a composição criada para o concreto com adição de microssílica.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 16. Composição do concreto na planilha orçamentaria

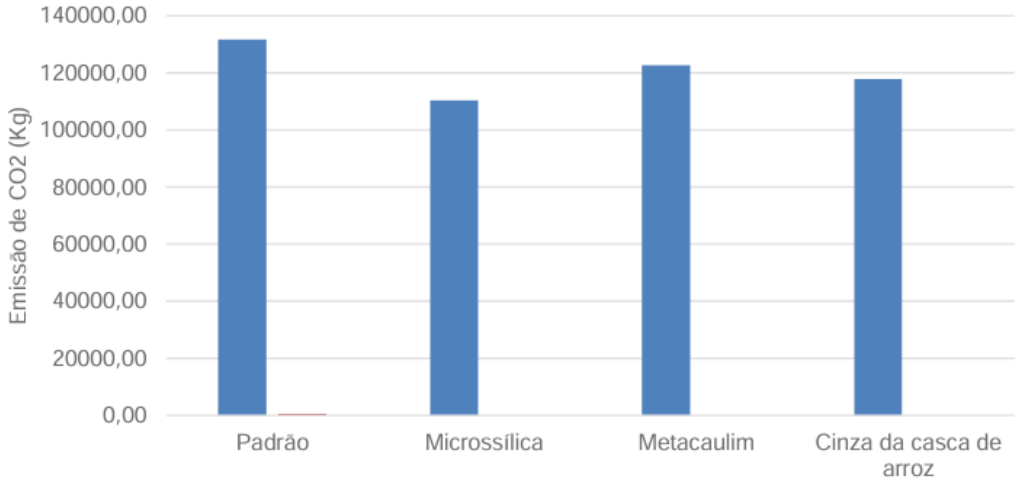
Tipo	Descrição	Unid	Multiplic	Unitário	Total
COMPOSI	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	1,449	27,78	40,25
COMPOSI	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_05/2023	CHP	0,7458	1,66	1,23
COMPOSI	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_05/2023	CHI	0,7032	0,37	0,26
INSUMO	CIMENTO PORTLAND CP-V-ARI	Kg	242,74	0,758	182,05
INSUMO	MICROSSÍLICA	Kg	26,97	8,5	229,24
INSUMO	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	0,11	60	6,6

Com a composição criada, ela é atribuída ao quantitativo de concreto extraído pelo *software* AltoQI Visus e, em sequência, gera o orçamento da edificação. O orçamento foi atualizado apenas para dois dos materiais, a de microssílica anexo B e o metacaulim anexo C. Para a sílica da casca de arroz não foi encontrado um preço padrão definido, então para a comparação ela não será utilizada. A Tabela 2 faz relação entre a emissão de carbono figura 17 e preço para cada uma das adições figura 18.

Tabela 2. Emissão de CO2 e custos para cada adição

Adição	Concreto Fck 30 (m³)	Emissão de CO2 (kgCO2)	Redução de CO2	Custo	Aumento de Custo
Padrão	528,29	131628,74	-	R$ 1.813.401,15	-
Microssílica	528,29	110285,82	16,21%	R$ 1.832.148,53	1,02%
Metacaulim	528,29	122668,94	6,81%	R$ 1.987.154,09	8,74%
Cinza da casca de arroz	528,29	117808,67	10,50%	-	-

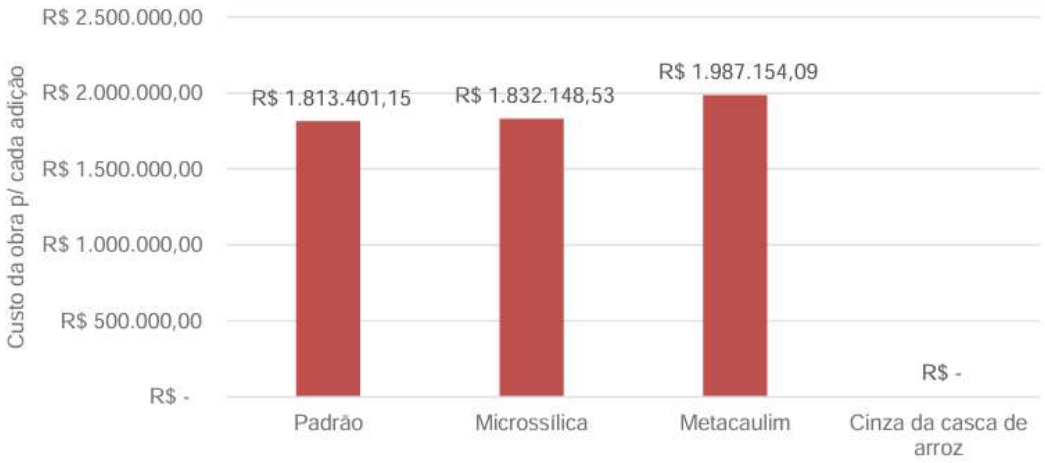
Figura 17. Emissão de CO2 por adição



ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 18. Custo da obra por adição



Para o concreto com Fck 30Mpa, que foi a resistência do concreto definida para a Câmara Municipal de Guaratinguetá, a substituição de 10% de cimento por microssílica reduziu as emissões de CO_2 em até 16,21%, além de melhorar a resistência à compressão do concreto, aos 28 dias, em 8,99%, com o aumento no custo total do estrutural de apenas 1,02%, um total de R$ 18.747,38 reais. Sendo a adição de microssílica mais viável que a adição de metacaulim, que reduz 6,81% e tem um aumento de preço da estrutura de 8,74% um total de R$ 173.752,94 reais. Com os resultados da pesquisa para adequação de forma sustentável do edifício da nova Câmara Municipal de Guaratinguetá utilizando a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) com os *softwares* Eberick e Alto QI Visus, visando a otimização dos quantitativos de concreto e a implementação das práticas de sustentabilidade delineadas no Roadmap CEMBUREAU 2050, é viável, mesmo não alterando a estrutura da edificação e sem acrescentar maiores custos a obra.

5. CONSIDERAÇÕES

A conclusão deste trabalho reforça a importância da adoção de práticas sustentáveis na construção civil, especialmente em projetos de grande impacto, como a nova Câmara Municipal de Guaratinguetá. O estudo demonstrou que é viável alinhar os projetos arquitetônicos e estruturais com as metas de redução de emissões de CO_2 estabelecidas pelo Roadmap CEMBUREAU 2050, utilizando tecnologias avançadas como o *Building Information Modeling* (BIM) e *softwares* especializados como Eberick e AltoQI Visus. Os principais resultados obtidos mostraram que a substituição parcial do cimento por adições minerais, como microssílica, metacaulim e cinza da casca de arroz, contribui significativamente para a redução das emissões de CO_2 sem comprometer a resistência do concreto. A utilização do BIM permitiu uma modelagem precisa e a extração eficiente dos quantitativos de materiais, otimizando o uso de recursos e

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

minimizando desperdícios. Essas iniciativas evidenciam que é possível aliar sustentabilidade e eficiência econômica, proporcionando um modelo a ser seguido por outros municípios e projetos de construção. A implementação de práticas sustentáveis não deve ser vista como um obstáculo, mas como uma oportunidade para inovar e contribuir para um futuro mais sustentável. A adequação do projeto da Câmara Municipal de Guaratinguetá ao Roadmap CEMBUREAU 2050 destaca-se como um exemplo de que é possível desenvolver obras públicas que respeitem o meio ambiente e as diretrizes globais de sustentabilidade, deixando uma marca positiva e duradoura para as gerações futuras.

O presente estudo apresenta como principal limitação a dependência de dados secundários para a estimativa das emissões de dióxido de carbono (CO_2) associadas às diferentes composições de concreto, adotando como referência os valores reportados por Conto *et al.* (2023). Embora esses dados sejam amplamente utilizados na literatura técnico-científica e estejam em consonância com metodologias consolidadas de avaliação ambiental, a ausência de medições experimentais próprias ou de validação cruzada com outras bases de dados pode introduzir incertezas associadas a variações regionais, tecnológicas e de processos produtivos. Adicionalmente, não foram consideradas possíveis diferenças nas cadeias de suprimento, nos teores de clínquer efetivamente utilizados pelos fabricantes locais ou nas eficiências específicas dos processos industriais, o que pode influenciar os valores absolutos de emissões estimados.

Outra limitação relevante refere-se ao escopo do estudo, restrito a um único estudo de caso — a edificação da Câmara Municipal de Guaratinguetá — e à adoção de hipóteses específicas de projeto, como a resistência característica do concreto e os traços estruturais definidos com base nas necessidades da obra analisada. Embora essa abordagem permita uma avaliação aprofundada e aplicada, os resultados obtidos não podem ser generalizados de forma direta para outras tipologias de edificações, contextos regionais ou classes de resistência distintas. Ademais, a análise concentrou-se predominantemente no eixo “Concrete” dos 5Cs do *Roadmap for Carbon Neutrality* 2050 da CEMBUREAU, não contemplando, de forma integrada, outros eixos como construção, recarbonatação ou aspectos operacionais ao longo do ciclo de vida da edificação. Estudos futuros que incorporem múltiplos casos, validação cruzada de dados e abordagens mais abrangentes poderão ampliar a robustez e a aplicabilidade dos resultados apresentados.

REFERÊNCIAS

ABRECON. **A gestão dos resíduos da construção e demolição e o papel do engenheiro**. São Paulo: ABRECON, 2022. Disponível em: https://abrecon.org.br/a-gestao-dos-residuos-da-construcao-e-demolicao-e-o-papel-do-engenheiro/. Acesso em: 16 maio 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ALTOQI. **AltoQi Visus:** plataforma para gestão digital da construção. Florianópolis: ALTOQI, 2021. Disponível em: https://www.altoqi.com.br/produtos/visus. Acesso em: 16 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Dosagem do concreto pelo método ABCP**. São Paulo: ABCP, 2020. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2020/07/Metodo_Dosagem_Concreto_ABCPonLINE_22.07.2020.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future: report of the World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University Press, 1987. Disponível em: https://docenti.unimc.it/elena.borin/teaching/2019/21812/files/lessons-and-recommended-readings-1/Our%20Common%20future%201987.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.

CABRAL, E. M. *et al.* Utilização de massas cerâmicas na produção de agregado sintético de argila calcinada para uso em concreto. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 332, p. 404–410, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ce/a/CqCsNxCbpBTLJjMcWFw9CTc/. Acesso em: 16 maio 2024.

CCPI. **Results:** monitoring climate mitigation efforts of 60 countries plus the EU covering 92% of the global greenhouse gas emissions. Alemanha: CCPI, 2021. Disponível em: https://ccpi.org/wp-content/uploads/CCPI-2022-Results-1.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.

CEMBUREAU. **Cementing the European Green Deal:** the European Cement Association's roadmap for carbon neutrality by 2050. Bruxelas: CEMBUREAU, 2021.

CIB; UNEP-IETC. **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries:** a discussion document. [S. l.]: CIB; UNEP-IETC, 2002.

CONTO, E. T. D.; MANCHUR, F. de O.; NETO, G. D. Técnica para redução de CO_2 na fabricação do concreto. **Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR**, Paraná, v. 3, ano 12, dez. 2023. Disponível em: https://revista.facear.edu.br. Acesso em: 16 maio 2024. (Obs.: link genérico ajustado para evitar arquivo local inválido, conforme boa prática editorial.)

CUNHA, I. B. **Quantificação das emissões de CO_2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook:** a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

ESPECIALISTAS. Indústria do cimento reduz emissão de CO_2 e projeta neutralidade no setor 2050. **Concrete Show Digital,** 14 jun. 2022. Disponível em: https://digital.concreteshow.com.br/especialistas/industria-do-cimento-reduz-emissoes-de-co2-e-projeta-neutralidade-no-setor-2050. Acesso em: 19 maio 2024.

GUARATINGUETÁ. **Inédito:** Guaratinguetá recebe pela primeira vez certificação de Município Verde Azul. Guaratinguetá: [s. n.], 2023. Disponível em: https://guaratingueta.sp.gov.br/inedito-guaratingueta-recebe-pela-primeira-vez-certificacao-de-municipio-verde-azul/. Acesso em: 19 maio 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

IEA. **Technology roadmap:** low-carbon transition in the cement industry. Paris: International Energy Agency, 2018. Disponível em: https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry. Acesso em: 16 maio 2024.

KALBUSCH, A. **Método para avaliação do impacto ambiental da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água a partir da avaliação do ciclo de vida**. 2011. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MARLAND, G.; BODEN, T. A.; ANDRES, R. J. Global, regional, and national CO_2 emissions. In: **Trends:** a compendium of data on global change. Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2003.

MEDEIROS, D. M.; SOUZA, E. V. **Desenvolvimento e análise de um projeto estrutural no software Eberick**. Tubarão: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/c9748c8c-7cb8-4d7f-b977-41dfe46fac7c. Acesso em: 16 maio 2024.

MEHTA, P. K. Greening of the concrete industry for sustainable development. **Concrete International**, v. 24, n. 7, p. 23–28, 2004.

MEHTA, P. K. High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. *In:* **Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology**, v. 1, p. 3–14, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete:** microstructure, properties and materials. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

MEIO FILTRANTE. Votorantim Cimentos tem resultado global de emissões de 556 kg de CO_2 por tonelada de cimento produzido. Notícias Meio Filtrante, 2019. Disponível em: https://www.meiofiltrante.com.br/Noticia/122019/votorantim-cimentos-tem-resultado-global-de-emissoes-de-556-kg-de-co2-por-tonelada-de-cimento-produzido-. Acesso em: 19 maio 2024.

MRV. **Sustentabilidade em pauta na construção civil**. [S. l.]: MRV, 2022. Disponível em: https://www.mrv.com.br/institucional/pt/relacionamentos/releases/sustentabilidade-em-pauta-na-construcao-civil. Acesso em: 16 maio 2024.

OLIVEIRA, A. A. S.; LEITE, L. P. Construção de um sistema educacional inclusivo: um desafio político-pedagógico. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v. 15, p. 511–524, 2007.

OLIVEIRA, C. P. O uso da argila calcinada no concreto: durabilidade e sustentabilidade. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 5, v. 1, p. 63–72, 2020.

PILLAI, R. G. *et al.* Service life and life cycle assessment of reinforced concrete systems with limestone calcined clay cement (LC^3). **Cement and Concrete Research**, v. 118, p. 111–119, 2019.

SABIR, B. B.; WILD, S.; BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. **Cement and Concrete Composites**, v. 23, n. 6, p. 441–454, 2001.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SANTIS, B. C.; ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da influência de agregados leves de argila calcinada no desempenho de concretos estruturais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 21–32, 2014.

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Minimizing environmental impact from optimized sizing of reinforced concrete elements. **Computers and Concrete**, v. 25, n. 2, p. 111–118, 2020.

SCRIVENER, K. *et al.* Calcined clay limestone cements (LC³). **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 49–56, 2018.

SILVA, A. C. L.; FROTA, C. A. Estudo da viabilidade econômica para a produção de agregado sinterizado de argila calcinada. **Cerâmica**, v. 59, n. 352, p. 508–517, 2013.

UNEP. **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019 – relatório da ONU**. [S. l.]: UNEP, 2020. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram. Acesso em: 16 maio 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.