

TECNOLOGIAS EMERGENTES NA CONSTRUÇÃO DE MUROS DE CONTENÇÃO: SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO

Beatriz da Rocha Nascimento (UNISUAM) E-mail: beatrizrochan@souunisuam.com.br
Jeferson Wiliam de Souza (UNISUAM) E-mail: jefersonwiliam@souunisuam.com.br
Renan Fonseca Jerônimo (UNISUAM) E-mail: renan.fonsecaj@souunisuam.com.br
Igor Charlls Siqueira Leite (UNISUAM) E-mail: igor.leite@unisuam.edu.br

Resumo: Tecnologias emergentes na construção de muros de contenção vêm transformando a engenharia civil ao integrar sustentabilidade e inovação tecnológica em soluções cada vez mais eficientes e ecológicas. Essas novas abordagens buscam substituir ou complementar métodos tradicionais que frequentemente apresentam impactos ambientais significativos. Entre as inovações destacam-se o uso de materiais reciclados, como pneus, garrafas PET e resíduos da construção civil, e geossintéticos, que oferecem maior durabilidade e desempenho estrutural. Além disso, técnicas como muros verdes e bioengenharia agregam valor ambiental, favorecendo a drenagem natural, a redução de emissões de CO₂ e a integração paisagística com o meio ambiente. A automação de processos, o uso de drones para mapeamento de terrenos e o monitoramento inteligente por sensores IoT também contribuem para a segurança e a eficiência na execução dessas estruturas. Tais tecnologias reduzem custos operacionais, otimizam tempo e aumentam a precisão nos projetos. A construção sustentável de muros de contenção representa um passo importante para a infraestrutura resiliente e consciente, atendendo às demandas modernas de desenvolvimento urbano aliado à preservação ambiental.

Palavras-chave: Tecnologias emergentes, Muros de contenção, Sustentabilidade na construção.

EMERGING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF RETAINING WALLS: SUSTAINABILITY AND INNOVATION

Abstract: Emerging technologies in the construction of retaining walls have been transforming civil engineering by integrating sustainability and technological innovation into increasingly efficient and environmentally friendly solutions. These new approaches seek to replace or complement traditional methods that often have significant environmental impacts. Innovations include the use of recycled materials, such as tires, PET bottles and construction waste, and geosynthetics, which offer greater durability and structural performance. In addition, techniques such as green walls and bioengineering add environmental value, favoring natural drainage, reducing CO₂ emissions and integrating the landscape with the environment. Process automation, the use of drones for terrain mapping and intelligent monitoring by IoT sensors also contribute to the safety and efficiency in the execution of these structures. Such technologies reduce operating costs, optimize time and increase project accuracy. The sustainable construction of retaining walls represents an important step towards resilient and conscious infrastructure, meeting the modern demands of urban development combined with environmental preservation

Keywords: Emerging technologies, Retaining walls, Sustainability in construction.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias emergentes na construção de muros de contenção desempenha um papel vital para garantir a sustentabilidade dos projetos e mitigar os impactos ambientais. Tais tecnologias possibilitam a redução do consumo de recursos naturais, minimizando a geração de resíduos e aprimorando o processo construtivo, o que resulta em obras mais eficientes e ambientalmente amigáveis. Além disso, as inovações tecnológicas contribuem para a melhoria das características dos muros de contenção, aumentando sua durabilidade e resistência (FEROLDI, 2022).

Entre as principais inovações atualmente empregadas na construção desses muros, destacam-se o uso de materiais reciclados, como pneus e plásticos, que, além de reduzirem o impacto ambiental, proporcionam maior leveza e flexibilidade às estruturas. Outras tecnologias incluem sistemas de drenagem inteligente, que permitem um controle mais eficiente do escoamento da água, prevenindo problemas como erosão e deslizamentos.

Também são adotadas técnicas construtivas mais eficientes, como a utilização de equipamentos automatizados e métodos de construção pré-fabricados (AGUIAR, 2023).

Embora o uso de tecnologias emergentes na construção de muros de contenção traga inúmeros benefícios, os engenheiros e arquitetos enfrentam desafios como a resistência dos materiais, os custos elevados associados à adoção dessas tecnologias e a escassez de mão de obra especializada. Superar esses obstáculos é fundamental para aproveitar as vantagens dessas inovações. A implementação dessas tecnologias pode, ainda, gerar impactos positivos para as comunidades locais, como a valorização imobiliária decorrente da melhoria das infraestruturas urbanas. Além disso, contribui para aumentar a segurança dos moradores contra desastres naturais, como deslizamentos e enchentes, proporcionando uma melhor qualidade de vida nas áreas ao redor das obras (LAM NETO, SANTARÉM, 2021).

A busca por soluções mais sustentáveis, eficientes e econômicas tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas construtivas inovadoras, atendendo à crescente demanda por infraestruturas seguras e sustentáveis. A inovação contínua no campo da engenharia civil é essencial para acompanhar o ritmo acelerado das mudanças tecnológicas e garantir a competitividade do setor. Assim, o constante investimento em pesquisa e desenvolvimento e a incorporação dessas novas tecnologias são cruciais para a evolução da construção civil (MATOS; ANDRADE, 2022).

Existem exemplos concretos de projetos bem-sucedidos ao redor do mundo que utilizam tecnologias emergentes na construção de muros de contenção. Esses casos demonstram os benefícios obtidos com a adoção dessas inovações, como maior durabilidade das estruturas, redução de custos operacionais e diminuição do impacto ambiental. Tais exemplos servem de inspiração para outros profissionais da área, incentivando a adoção de práticas mais sustentáveis e promovendo um futuro mais resiliente e responsável para a construção civil (NETO, CARVALHO, 2022).

2. REVISÃO DE LITERATURA

A sustentabilidade é um aspecto crucial a ser considerado na escolha e aplicação dessas tecnologias emergentes na construção de muros de contenção. A busca por soluções mais sustentáveis visa reduzir o impacto ambiental causado pela obra, promovendo a preservação dos recursos naturais e garantindo a segurança das comunidades próximas. A utilização de materiais reciclados, a redução do consumo de energia e água, bem como a minimização da geração de resíduos são algumas das práticas sustentáveis que podem ser adotadas nesse contexto (BRANCO-TEIXEIRA, 2023).

A inovação na construção civil é fundamental para atender às crescentes demandas de sustentabilidade e eficiência energética. Com a preocupação cada vez maior com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, é essencial que o setor da construção civil busque constantemente por novas tecnologias e práticas construtivas que minimizem o impacto ambiental e otimizem o uso de energia. A inovação nesse contexto não se limita apenas à adoção de materiais mais sustentáveis, mas também engloba novos métodos construtivos, sistemas de gestão e processos mais eficientes (MATOS; ANDRADE, 2022).

Para que as vantagens da inovação na construção civil sejam plenamente aproveitadas, é fundamental investir na capacitação dos profissionais do setor. A formação técnica especializada é essencial para garantir que os profissionais estejam aptos a lidar com as novas tecnologias e processos inovadores na área da construção civil. Existem exemplos práticos bem-sucedidos na implementação de tecnologias emergentes na construção de muros de contenção que demonstram os benefícios obtidos com essa abordagem inovadora. Casos reais

mostram como a utilização de materiais reciclados, sistemas automatizados ou técnicas avançadas de monitoramento podem resultar em estruturas mais resistentes, duráveis e sustentáveis. Esses exemplos servem como inspiração para outras empresas do setor que desejam seguir o caminho da inovação (SUHUI, HAO, YAXIN, LONGFEI, 2024).

As perspectivas futuras para a adoção de tecnologias emergentes na construção civil apontam para um cenário promissor, mas também desafiador. Tendências como a digitalização dos processos construtivos, o uso da robótica e impressão 3D na construção civil indicam um futuro marcado pela automação e pela eficiência energética. No entanto, é necessário superar obstáculos como a resistência à mudança, a falta de investimento em pesquisa e desenvolvimento e a necessidade de regulamentações claras para garantir o sucesso da inovação no setor da construção civil (FEROLDI, 2022).

2.1 Tecnologias sustentáveis aplicadas aos muros de contenção

A utilização de geossintéticos em muros de contenção tem se mostrado uma alternativa eficiente e sustentável em relação aos métodos tradicionais de construção. Esses materiais possuem alta resistência mecânica, durabilidade e facilidade de instalação, o que contribui para a redução do tempo e dos custos da obra. Além disso, os geossintéticos são mais leves do que os materiais convencionais, o que minimiza a necessidade de escavações profundas e transporte de grandes volumes de terra, resultando em menor impacto ambiental (AGUIAR, 2023).

A instalação de painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas nos muros pode gerar energia limpa para alimentar sistemas auxiliares da estrutura, como iluminação e bombeamento d'água, reduzindo assim a dependência de fontes não renováveis. A utilização de técnicas construtivas inovadoras, como a impressão 3D, tem revolucionado a forma como os muros de contenção são projetados e executados. A impressão 3D permite a criação de estruturas complexas com maior precisão e rapidez, além da possibilidade de utilizar materiais sustentáveis na composição do concreto utilizado no processo. A escolha adequada dos materiais utilizados nos muros de contenção é essencial para garantir sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo. Priorizar opções ecoeficientes, como concretos com baixo teor de cimento ou agregados reciclados, contribui para reduzir as emissões de CO₂ associadas à produção dos materiais e minimizar o impacto ambiental da obra. (LAM NETO, SANTARÉM, 2021).

Os desafios e oportunidades enfrentados na implementação das tecnologias sustentáveis em muros de contenção são diversos e envolvem aspectos econômicos, sociais e ambientais. Os custos iniciais podem ser mais elevados em comparação com métodos tradicionais, porém os benefícios a longo prazo em termos de economia energética e redução dos impactos ambientais compensam esse investimento inicial. Além disso, as tecnologias sustentáveis podem gerar empregos verdes e promover o desenvolvimento local sustentável (MATOS; ANDRADE, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na construção de muros de contenção com o uso de tecnologias emergentes revelam avanços significativos na redução de custos, aumento da durabilidade e eficiência das estruturas. A implementação de materiais reciclados, como brita e manta geotêxtil, e o uso de sistemas de drenagem inovadores, juntamente com o modelo 3D para simulações estruturais, proporcionaram um planejamento mais preciso, minimizando retrabalhos e otimizando o tempo de execução.

As análises de desempenho indicam que as escolhas metodológicas, como o uso do concreto armado de resistência característica de 15 MPa, aliados ao controle rigoroso da qualidade dos materiais, resultaram em fatores de segurança superiores aos exigidos pelas normas. Esse conjunto de práticas sustentáveis e tecnológicas não só garantiu a estabilidade e a eficiência da estrutura, mas também contribuiu para a redução do impacto ambiental da obra, demonstrando a viabilidade e os benefícios da adoção de tecnologias emergentes na construção civil.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Muro de Flexão em Concreto Armado com Foco em Inovação e Sustentabilidade

A obra em análise foi realizada na Rua Luiz Carlos Prestes, no bairro Jardim Primavera, em Duque de Caxias – RJ, e teve como cliente um loteamento residencial de médio porte. O objetivo da intervenção foi substituir um muro de contenção antigo, feito em alvenaria e com falhas estruturais evidentes, por uma estrutura de concreto armado por flexão, com altura total de 3,5 metros e extensão de 12 metros lineares. A área útil protegida envolvia um talude natural de aterro com inclinação média de 27°. A execução se deu ao longo de 65 dias e o valor final da obra foi de R\$ 436.156,87. Esta solução foi escolhida por apresentar maior segurança estrutural e menor ocupação da área útil do terreno, com melhor desempenho frente à pressão de solo e eventuais sobrecargas externas.

O tipo de estrutura escolhido foi o muro de concreto armado em formato de “L” invertido, uma configuração estrutural eficiente que utiliza o peso próprio da estrutura e do solo sobre sua base para resistir ao empuxo ativo. Essa geometria proporciona estabilidade ao sistema ao mesmo tempo em que reduz a necessidade de grandes volumes de concreto, tornando-se uma solução tecnicamente eficaz e economicamente viável para contenções de médio porte. Os parâmetros geotécnicos utilizados no projeto foram definidos a partir de ensaios de campo e laboratório, contemplando coesão de 30 kPa, ângulo de atrito de 35°, peso específico de 20 kN/m³ e uma sobrecarga estimada de 20 kPa. Esses valores foram cruciais para a definição das dimensões e para as análises de estabilidade, deslizamento e tombamento.

A execução da obra foi dividida em etapas. Primeiramente, foi realizada a mobilização do canteiro, com instalação de tapumes reaproveitados, ligações provisórias de energia e montagem de barracão de apoio. Em seguida, foram executados os ensaios de solo, incluindo cinco furos com SPT até 10 metros de profundidade, ensaios de massa específica "in situ", cisalhamento direto e módulo de deformação. O controle tecnológico do concreto também foi realizado com moldagem de corpos de prova, ensaios de compressão aos 28 dias e testes de abatimento (*slump test*), garantindo que o concreto utilizado apresentasse o desempenho esperado.

Após a fase de sondagens e controle de qualidade, deu-se início à escavação do talude com métodos manual e mecânico, atingindo profundidade de 0,5 metros para a fundação. A execução do muro se deu com o lançamento de 6,25 m³ de concreto armado com resistência característica de 15 MPa. Foram instalados barbacãs em PVC de 2 polegadas a cada 3 metros lineares, garantindo o escoamento das águas e evitando o acúmulo de pressão hidrostática na parte posterior da estrutura. O reaterro foi feito com pó de pedra compactado manualmente em camadas sucessivas.

Durante o processo, diversas tecnologias emergentes e estratégias sustentáveis foram incorporadas. O projeto foi modelado em 3D, permitindo simulações estruturais e ajustes ainda na fase de planejamento, reduzindo retrabalhos e melhorando a assertividade do cronograma. O sistema de drenagem adotado utilizou materiais recicláveis, como a brita nº 1

e manta geotêxtil, promovendo desempenho hidráulico e sustentabilidade. O concreto foi monitorado em todas as etapas, e a reutilização de materiais de canteiro como tapumes e estruturas de apoio contribuiu para a redução do impacto ambiental da obra. Essas decisões refletiram diretamente no desempenho técnico da estrutura. Os fatores de segurança obtidos foram superiores aos mínimos exigidos pelas normas técnicas: deslizamento com $FS = 1,844$; tombamento com $FS = 1,836$; tensão máxima atuante de $143,57 \text{ kPa}$ e tensão mínima de $-25,06 \text{ kPa}$, ambas dentro dos limites admissíveis para a fundação.

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos utilizados

| Propriedade do solo | Valor |
|------------------------------|-------------------------|
| Coesão (C) | 30 kPa |
| Ângulo de atrito (ϕ) | 35° |
| Peso específico (γ) | 20 kN/m ³ |
| Sobrecarga (q) | 20 kPa |

Fonte: Dados originais da pesquisa (2025).

Após a análise dos parâmetros geotécnicos e a obtenção dos resultados técnicos, é possível observar como as escolhas metodológicas e o controle de qualidade influenciaram diretamente no desempenho da estrutura. A integração de tecnologias emergentes e práticas sustentáveis, aliada a uma abordagem rigorosa no controle das condições do solo e da fundação, garantiu a estabilidade e a eficiência do muro de contenção, cumprindo todos os requisitos de segurança e desempenho exigidos pelas normas técnicas.

Quadro 2: Resultados Técnicos Obtidos

| Parâmetro Técnico | Resultado Obtido | Requisito Mínimo | Situação |
|---------------------------------------|------------------|-----------------------------------|----------|
| Fator de Segurança ao Deslizamento | 1,844 | $\geq 1,5$ | Atende |
| Fator de Segurança ao Tombamento | 1,836 | $\geq 1,5$ | Atende |
| Tensão Máxima na base do muro | 143,57 kPa | $< 500 \text{ kPa}$ | Atende |
| Tensão Mínima (compressão admissível) | -25,06 kPa | $\geq 0 \text{ kPa}$ (sem tração) | Atende |

Fonte: Dados originais da pesquisa (2025).

A escolha por um muro de seção esbelta, aliada ao uso de drenagem eficiente e controle rigoroso da qualidade dos materiais, foi decisiva para o sucesso da estrutura. As lições aprendidas reforçam que, mesmo em obras de médio porte, é possível integrar práticas inovadoras que promovem segurança, durabilidade e respeito ao meio ambiente. A replicabilidade do modelo proposto faz deste estudo de caso uma referência sólida para futuras intervenções similares em ambientes urbanos e residenciais.

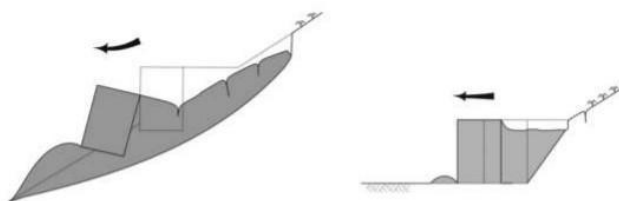


Figura 1: Tipos de ruptura

Tipos de rupturas analisadas: (a) Ruptura global do talude; (b) Deslizamento na base; (c) Tombamento; (d) Ruptura do solo de fundação.

A Figura 1 apresenta os diferentes tipos de rupturas que foram avaliadas para garantir a estabilidade da estrutura, enquanto a Figura 2 ilustra os esforços horizontais aplicados no muro, detalhando as forças que influenciam diretamente no seu comportamento e desempenho. Ambas as representações são essenciais para compreender a integridade do projeto e a eficácia das soluções adotadas.

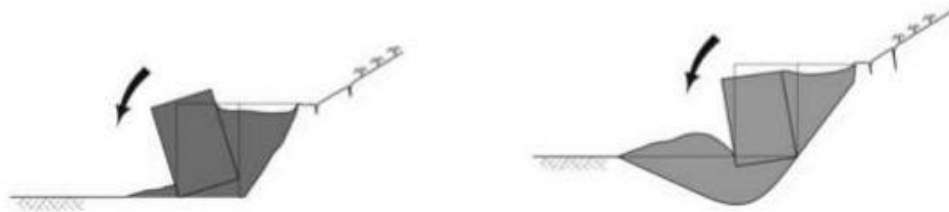


Figura 2: Diagrama de esforços horizontais

Esquema representativo dos esforços horizontais no muro: empuxo ativo (E_a), peso próprio (P), pressão de água (U_v), atrito e adesão na base (T_{max}).

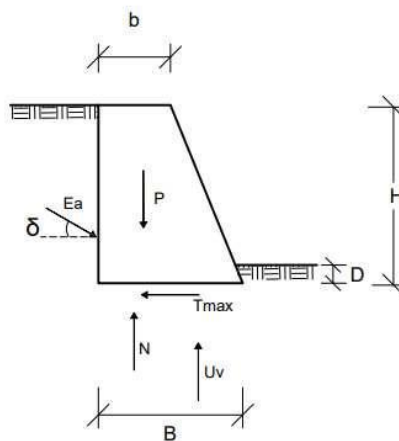


Figura 3: Momentos atuantes e forças internas

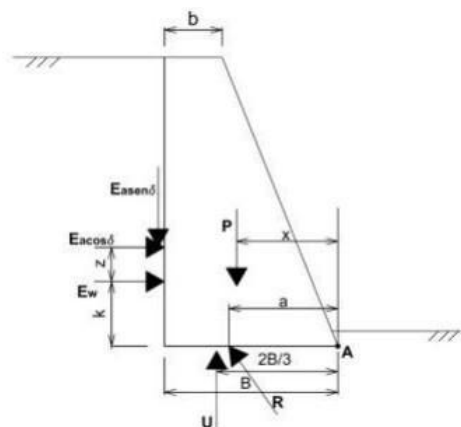


Figura 4: Verificação da capacidade de suporte do solo

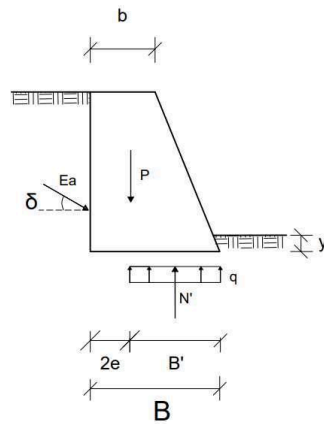


Figura 5: Muro de gabião

Estrutura de contenção utilizando gabiões, exemplo de solução sustentável com drenagem natural.

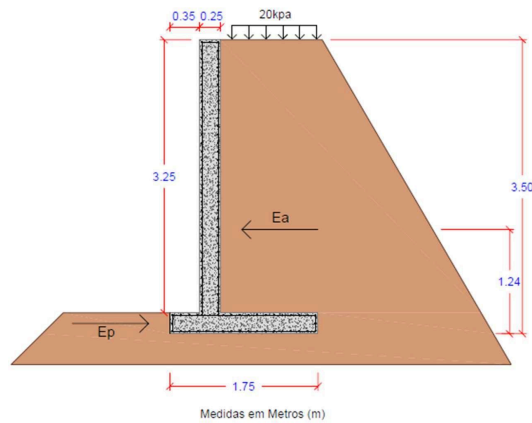


Figura 6: Drenagem

Detalhes da execução da obra com instalação de drenos, escavação e contenção.

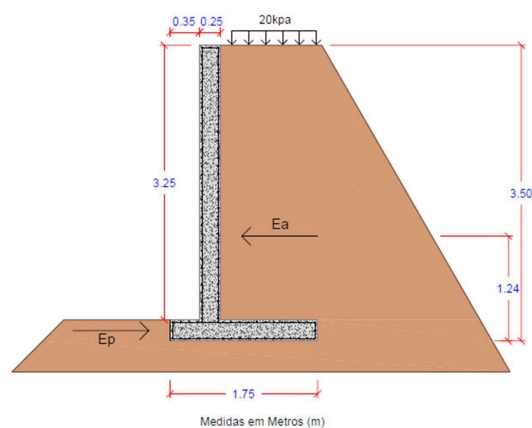


Figura 7: Execução e fase final do reaterro

Etapa de finalização do reaterro com compactação manual e verificação de cotas.

Em conclusão, o estudo de caso demonstrou que, por meio da adoção de tecnologias emergentes e práticas sustentáveis, foi possível executar um muro de contenção eficiente, seguro e com baixo impacto ambiental, mesmo em uma obra de médio porte. A escolha do

concreto armado, aliado ao uso de drenagem eficiente, materiais recicláveis e controle rigoroso da qualidade, garantiu a durabilidade e a estabilidade da estrutura, atendendo aos requisitos técnicos exigidos pelas normas. O sucesso dessa intervenção reflete a importância de incorporar soluções inovadoras na construção civil, evidenciando a viabilidade e os benefícios de práticas sustentáveis que podem ser replicadas em futuros projetos, tanto urbanos quanto residenciais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de tecnologias emergentes na construção de muros de contenção tem se mostrado uma estratégia eficaz para melhorar a segurança, sustentabilidade e eficiência das obras. O uso de materiais reciclados, como brita e manta geotêxtil, junto à integração de sistemas de drenagem inteligente e modelagem 3D, permitiu não apenas otimizar os processos construtivos, mas também reduzir significativamente os impactos ambientais. Além disso, a escolha de concreto armado e a análise detalhada dos parâmetros geotécnicos asseguraram o cumprimento das normas técnicas de segurança, proporcionando uma estrutura durável e resistente. A adoção dessas inovações contribuiu para a redução dos custos operacionais e aumento da performance estrutural, tornando o projeto mais eficiente e economicamente viável.

Esse estudo de caso também destaca a importância de se buscar soluções cada vez mais inovadoras e sustentáveis, especialmente em projetos de médio porte, como os muros de contenção. A replicabilidade do modelo adotado neste projeto pode servir como referência para futuras intervenções em ambientes urbanos e residenciais, promovendo o uso de práticas mais responsáveis no setor da construção civil. Além disso, os resultados obtidos evidenciam a relevância do investimento em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar constantemente as tecnologias existentes, criando soluções cada vez mais eficazes para atender à demanda crescente por infraestrutura sustentável e segura.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. L. N.** *Sistemas de sensores para monitoramento de estruturas de concreto*. Repositório Institucional da UFS, 2013.
- BARBOSA, J. V. R.** *Construções sustentável: utilização de bambu na substituição da madeira de reflorestamento na obra*. Repositório Institucional da UTFPR, 2022.
- BRANCO-TEIXEIRA, M.** *Manual de Inovação e Sustentabilidade: Os desafios e as soluções na reabilitação urbana 4.0*. Vida Económica Porto, 2023.
- FEROLDI, A. A.** *Técnicas Construtivas dos Muros de Pedra Seca no Algarve: Caracterização, Implicações na Sustentabilidade e Mitigação de Riscos Naturais..* Artigo da Universidade do Algarve, 2022.
- LAM NETO, S. S.; SANTARÉM, S.** *Análise comparativa entre piso cerâmico prensado e piso cerâmico extrudado em cozinha industrial*. Engenharia Civil Inovação e Sustentabilidade, 2025
- MATOS, T. O.; ANDRADE, G. F. S. M.** *Reuso de Pneus na Construção de Muros de Gravidade*. Epitaya E-books, 2022.
- NETO, B.; CARVALHO, S. M. P.** *Sustentabilidade da produção e consumo agroalimentar na base da inovação na formação oferecida na Universidade do Porto*. Cadernos de Inovação Pedagógica, 2022.
- SUHUI, L.; HAO, L.; YAXIN, J.; LONGFEI, C.** *Design ambiental para proteção costeira sob a perspectiva dos stakeholders: uma revisão de 2000 a 2023*. Revista de Administração, 2024.