

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO INOVAÇÃO TECNOLÓGICA APLICADA À CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

*ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TECHNOLOGICAL INNOVATION
APPLIED TO THE PRODUCTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY*

Cauã Florentino da Mota 1
Aymara Gracielly Nogueira Colen 2
Fabrício Machado Silva 3

Resumo: A pesquisa mostrou a relevância da inteligência artificial na cadeia produtiva sustentável no segmento da construção civil com mapeamento e caracterização das etapas da cadeia relacionando as informações e processos que podem ser aplicados/automatizados no segmento. Inicialmente mostrou o caminho das revoluções industriais até o momento atual. O objetivo do presente artigo é apresentar a aplicação da inteligência artificial como sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção civil. Na metodologia utilizo-se revisão bibliográfica descritiva e abordagem qualitativa sobre os benefícios da aplicação da Inteligência Artificial em empreendimentos de referência do setor. Os resultados demonstraram como as principais empresas, Vale do Rio Doce, Votorantim Cimentos, Telhanorte, Construtora Odebrecht, Vinci Brasil, Honeywell Building Technologies (EUA) estão utilizando a inovação tecnológica, implementando ferramentas como Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Inteligência Artificial, dentre outras. Assim, o mundo cibernético com o físico ajusta variáveis de controle de acordo com as necessidades de produção em tempo real. É importante ressaltar que a implementação bem-sucedida da IA requer investimentos em integração com especialistas da área, garantindo a capacidade de um monitoramento constante.

Palavras-chave: Automatização. Indústria 4.0. IA na Engenharia.

Abstract: The research showed the relevance of artificial intelligence in the sustainable production chain in the civil construction segment by mapping and characterizing the stages of the chain, relating the information and processes that can be applied/automated in the segment. It initially showed the path of industrial revolutions up to the present day. The objective of this article is to present the application of artificial intelligence as sustainability in the production chain of the civil construction industry. The methodology used was a descriptive bibliographic review and a qualitative approach on the benefits of applying Artificial Intelligence in reference projects in the sector. The results demonstrated how the main companies, Vale do Rio Doce, Votorantim Cimentos, Telhanorte, Construtora Odebrecht, Vinci Brasil, Honeywell Building Technologies (USA) are using technological innovation, implementing tools such as Augmented Reality, Virtual Reality, Artificial Intelligence, among others. Thus, the cybernetic world with the physical world adjusts control variables according to production needs in real time. It is important to emphasize that the successful implementation of AI requires investments in integration with experts in the field, ensuring the capacity for constant monitoring.

Keywords: Automation. Industry 4.0. AI in Engineering.

1 - Acadêmico de Engenharia Civil. Centro Universitário UNITOP, Palmas, TO. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7331942822436208>, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2350-2994>. E-mail: cauaphone@gmail.com; cauafmota@gmail.com

2 - Dr^a Tecnologia Ambiental, Eng. Ambiental, Mestre AgroEnergia (Biomassa Residual do Agro(Industrial) e do Saneamento), Especialista Inovação Tecnológica. Professora e Pesquisadora do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1142902896675039>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7173-4680>. E-mail: eng.colen@gmail.com

3 - Dr. Tecnologia Ambiental, Eng. Civil, Ambiental, de Produção e de Segurança do Trabalho. Professor, Pesquisador e Coordenador do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0308861058772993>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8963-6659>. E-mail: fabricao_amb@yahoo.com.br

Introdução

Em meados do século XVIII houve a Primeira Revolução Industrial, em que as principais características foram a exploração da classe trabalhadora com baixos salários, longas jornadas de trabalho em ambientes insalubres e perigosos, incluindo mulheres e crianças, e, baixas condições de subsistência. Conforme Souza (2023), nesse período houve a troca da mão de obra manufatureira para a utilização da maquinofatura a vapor, com base em linha de montagem de produtos.

Posteriormente, depois da metade do século XIX, a Segunda Revolução Industrial, houve a utilização de esteiras rolantes nas fábricas, causando alienação do trabalho, e acelerando a linha de produção por meio de um modo mais dinamizado (SOUZA, 2023). Neste momento, destacou-se o fordismo, um método de racionalização de produção criado por Henry Ford, e o taylorismo, por Frederick Taylor, em que os próprios operários montavam os carros.

A Terceira Revolução Industrial perdurou até a modernidade. Suas principais características foram a aplicação de tecnologia e dos sistemas informáticos, diminuição dos custos e aumento da produção industrial (BEZERRA, 2023).

Atualmente é discutida a Quarta Revolução Industrial, isto é, a Indústria 4.0, que permite maior produtividade pela utilização de novas tecnologias, maior interligação entre as áreas de produção e que, por vez, podem gerar novos produtos e serviços (PEREIRA, 2018). Abrange a aplicação de sistemas tecnológicos avançados como a IA (Inteligência Artificial), a robótica, a Internet das Coisas e a computação nos diversos setores, seja de produção ou de negócios no Brasil e no mundo.

O termo “Indústria 4.0” foi criado em 2011 na Alemanha, especificamente na Feira de Hannover. Houveram reuniões com empresários, políticos e membros de universidades para analisar e propor medidas no fortalecer a competitividade da manufatura por meio da transformação digital (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

Na China, o programa *Made in China 2025*, inspirado no projeto *Industrie 4.0*, foi lançado em 2015 para atualizar a indústria do país, criando centros de inovação, fortalecimento de indústrias de base, projetos de fabricação verde, com a capacidade de integração entre digitalização e industrialização (KAGERMANN et al. 2016).

O Explainable Artificial Intelligence Workshop (Xai, 2018), evento satélite da ECAI/IJCAI 2018, ocorrido em Estocolmo, Suécia, possibilitou reunir pesquisadores interessados em IA, interação homem-computador, modelagem e teorias cognitivas de explicação e transparência.

Em Montreal, no Canadá, O *‘Responsible Artificial Intelligence Agents Workshop’* foi um evento satélite do AAMAS 2019, reuniu pesquisadores de IA, ética, filosofia, robótica, psicologia, antropologia, ciências cognitivas, direito, estudos de governança regulatória e engenharia para discutir e trabalhar sobre os complexos desafios relacionados ao projeto e à regulamentação de sistemas de IA, e, concentrou-se em aspectos que juntos podem com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU), usando processos verificáveis e responsáveis, por instituições e mecanismos justos e inclusivos (RAIA, 2019).

Cavalcanti (2018) afirma que é possível realizar comunicações de longa distância entre pessoas e equipamentos o que amplia o processo de comunicação, que hoje se denomina internet das coisas. Como produto da Internet das Coisas, sensores podem ser acoplados aos capacetes para monitorar e informar riscos de impactos pois monitoram a presença de monóxido de carbono no ar e avisa o usuário, sendo útil para evitar acidentes, visto que a intoxicação é silenciosa (AIZA, 2018).

Com a virtualização, pode-se obter dados e monitoramento remoto dos processos realizados na indústria em toda a cadeia produtiva. Logo, o mundo cibernético com o físico ajusta variáveis de controle de acordo com as necessidades de produção em tempo real. Ou seja, a praticidade de ter como agir à distância operando as ações de uma máquina presente no campo construtivo tornam, sem dúvidas, bem mais rápida e prática a execução da mesma (CAVALCANTI, 2018).

Neste sentido, a cadeia produtiva da construção forma um dos setores mais importantes

para a economia brasileira, por sua configuração ser amplamente diversificada. Compõem o macro setor, as construtoras de edificações e de infraestrutura, indústria e fornecedores que consomem materiais de construção e equipamentos, extração mineral, serviços técnicos de consultoria e projetos, mercado imobiliário e demais atividades.

Portanto, a pesquisa objetiva apresentar a aplicação da inteligência artificial como sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção civil, e assim evidenciar as etapas construtivas em obras/empreendimentos.

Metodologia

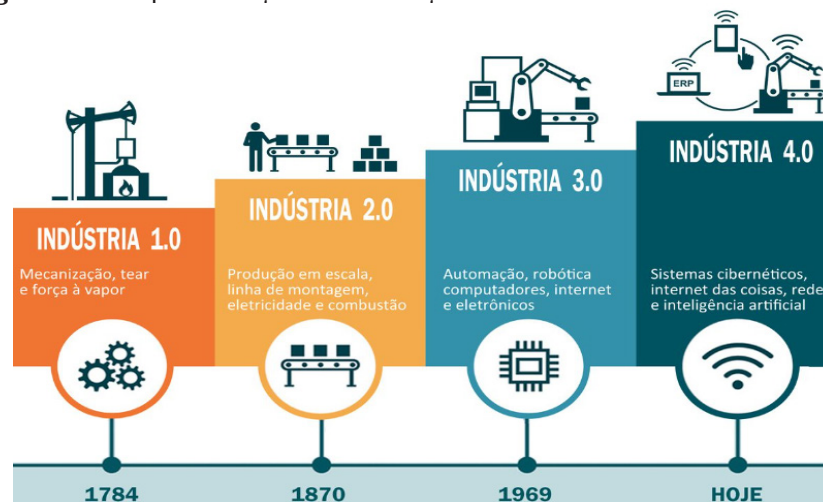
Revisão de Literatura

Os dados referencias, com natureza qualitativa, foram coletados em bases científicas Google Acadêmico/*Books* e *SciELO*, *Scopus*, e *Elsevier*, sobre a sustentabilidade da aplicação da Inteligência Artificial na indústria da construção.

Descrição das Revoluções Industriais

Os principais avanços industriais estão ilustrados na Figura 1, com destaque a indústria 4.0 que surgiu em 2012, e se faz atual, presente e necessária.

Figura 1. Principais Avanços das Revoluções Industriais



Fonte: PERIN (2018).

Mapeamento da Inteligência Artificial na Cadeia Produtiva da Construção Civil

As etapas na cadeia produtiva da indústria da construção civil foram mapeadas e caracterizadas (Figura 2) relacionando as informações e processos que podem ser automatizados (IA) de forma sustentável no segmento.

Figura 2. Etapas da Cadeia de Valor da Construção Civil



Fonte: SEBRAE (2016).

Levantamento de Empreendimentos da Engenharia Civil (Inteligência Artificial)

Foram levantamentos empreendimentos da engenharia civil que aplicam a IA nos processos produtivos para a sustentabilidade da cadeia produtiva (Figuras 3 a 8).

Figura 3. Geolocalização Vale do Rio Doce -MG

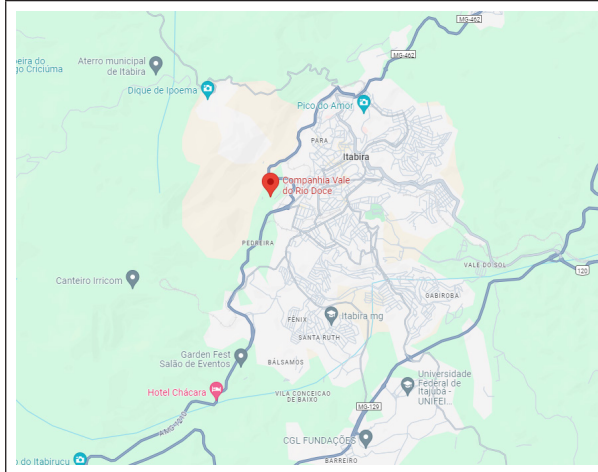


Figura 4. Geolocalização Votorantim Cimentos - SP

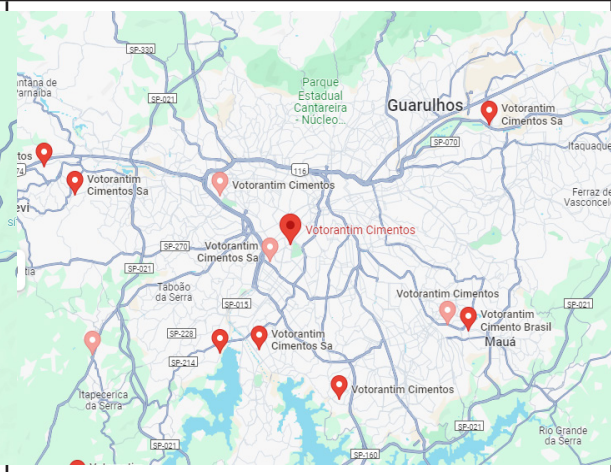


Figura 5. Geolocalização Telhanorte -SP

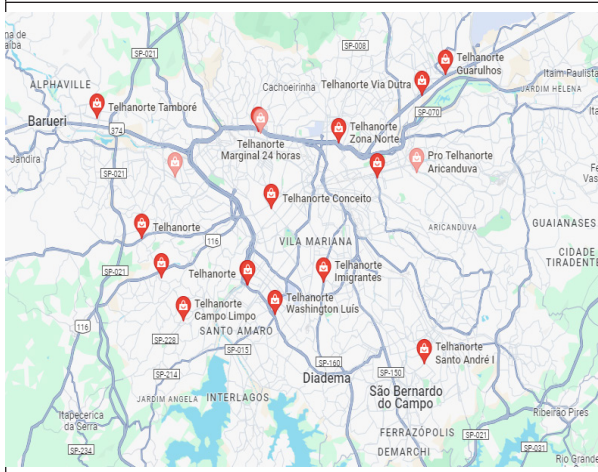
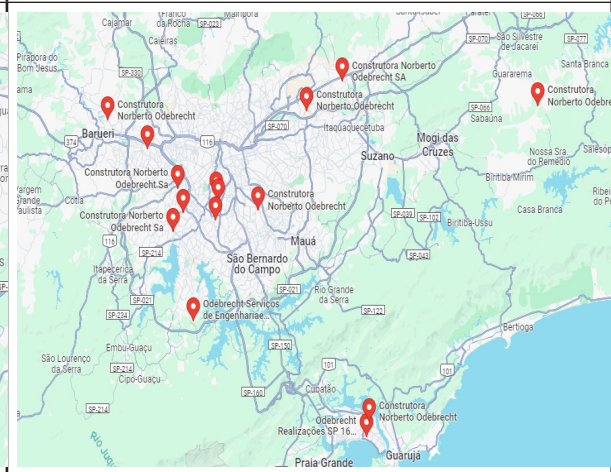
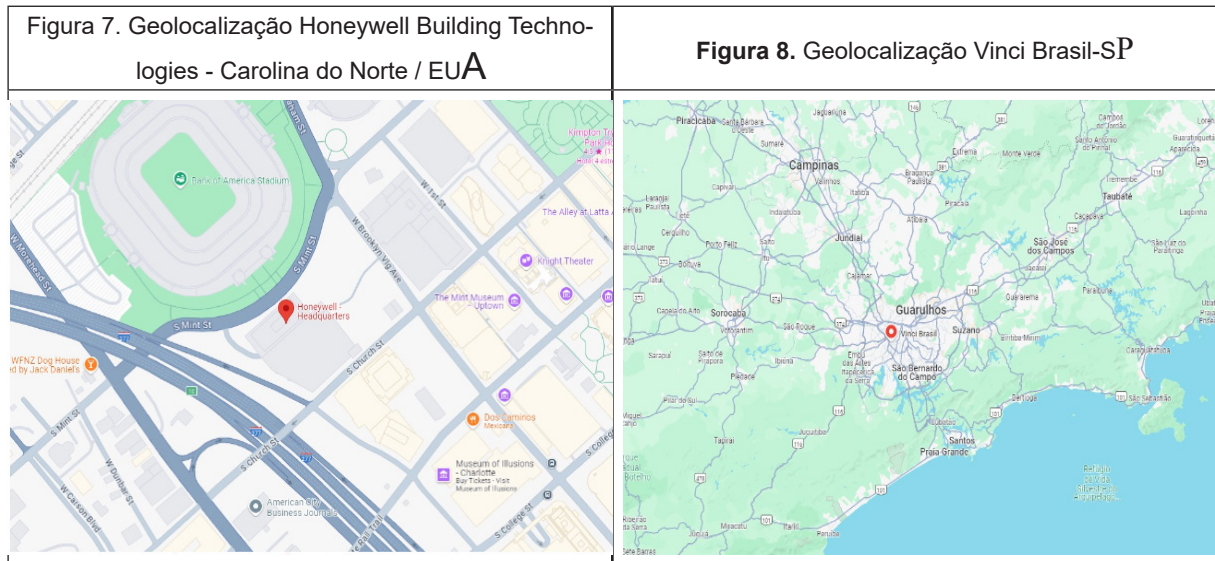


Figura 6. Geolocalização Construtora Odebrecht-SP





Fonte: GOOGLE MAPS (2024).

Referencial Teórico

Indústria 4.0

A indústria 4.0, de modo resumido, é a era da internet. Por meio dela, é possível realizar comunicações de longa distância entre pessoas e equipamentos para ampliar o processo de comunicação, que hoje se denomina Internet das Coisas- IOT (CAVALCANTI, 2018).

No início do século XXI, com o desenvolvimento da internet, sensores cada vez mais pequenos e potentes, com preços cada vez mais acessíveis, softwares e hardwares cada vez mais sofisticados, a capacidade das máquinas aprenderem e colaborarem criando gigantescas redes de “coisas”, iniciou-se uma transformação na indústria, cujo impacto na competitividade, na sociedade e na economia será de tal forma que irá transformar o mundo tal como o conhecemos (PORTO JÚNIOR; ALVES, 2018, p. 68).

A situação supracitada indica o quão rápido está sendo a evolução da tecnologia. A inserção da Indústria 4.0 na cadeia de valor transforma a competitividade em algo distinto do que foi visto até agora. De acordo com Porto Júnior e Alves (2018), o impacto da indústria 4.0 vai para além da digitalização, se tornando algo que força as empresas a se habituarem à combinação múltipla de tecnologias, que interfere no seu posicionamento na cadeia de valor, levando assim a um reajuste no mercado.

Com a Indústria 4.0, os sistemas se alinham diretamente com o objetivo da organização, conseguindo assim a integração de todos os diversos departamentos e setores da empresa, conquistando ganhos e agilidade em etapas que seriam mais demoradas. Os principais pontos positivos são: produtividade potencializada, flexibilidade e manutenções realizadas corretamente e de forma proativa.

A conectividade da Indústria 4.0 é obtida através da Internet das Coisas (Internet of Things – IOT), que integra os mais diferentes objetos de nosso cotidiano e aumenta a ubiquidade da Internet, construindo uma rede de comunicação entre pessoas e dispositivos. (PEREIRA, 2018, p.4).

Tendo isso em vista, os pontos-chaves da indústria 4.0 (Figura 9) são as fábricas de processos e procedimentos inteligentes com criação de produtos; plantas capazes de tratar maiores complexidades, menos propensas a interrupções, em que humanos e máquinas se comunicam de forma natural (SANTOS, 2018).

Figura 9. Fluxograma -Tecnologias da Indústria 4.0



Fonte: AUTOR (2024).

A quarta revolução industrial apresenta automatização dos processos das fábricas, com caráter de torná-las independentes da mão de obra humana. Essa automatização acontece a partir de sistemas ciberfísicos, que existem hoje devido a *Internet das Coisas* (IoT). Esses sistemas são capazes de tomar decisões descentralizadas e de realizar a cooperação entre humano e máquina (PORTO JÚNIOR; ALVES, 2018).

Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) é um conceito que se refere à interconexão de dispositivos físicos, objetos e sistemas por meio da internet, permitindo a coleta, o compartilhamento e a análise de dados para tomada de decisões mais informadas e automatizadas desses processos. É de fato a utilização da internet como meio de comunicação por coisas, por emissores, receptores e outros (ALBERTIN, et al. 2017).

Na engenharia civil, a IoT tem um impacto expressivo, transformando a maneira como os projetos são planejados, construídos e gerenciados, trocando informações e executando ações com base nesses dados.

A integração de IoT com Modelagem de Informações de Construção BIM permite um entendimento mais abrangente e preciso dos projetos de engenharia, facilitando a colaboração e o gerenciamento de projetos, e promovendo a automação de processos na construção, como controle remoto de equipamentos e maquinários, otimizando operações e aumentando a eficiência (KRAYCZY RECH, 2023).

Internet dos Serviços (IoS)

A partir da internet, serviços são disponibilizados às pessoas ou à empresa. No contexto da engenharia civil, a IoS (Internet dos Serviços) se refere à integração da IoT e outras tecnologias de informação e comunicação para aprimorar a entrega de serviços relacionados à indústria da construção. Por exemplo, um aviso enviado por um aplicativo a um proprietário de uma casa, com o alerta de um portão elétrico que está queimado, e já encaminha soluções para o problema (ALBERTIN, et al. 2017).

A IoS pode contribuir imensamente com a aplicação da IA nos processos construtivos devido a conexão dos dispositivos físicos na internet, realizando a coleta de dados em tempo real, enquanto que a Inteligência Artificial utiliza destes dados para otimizar e automatizar as decisões inteligentes.

Juntas, são capazes de realizar monitoramento estrutural em tempo real, por meio de sensores conectados à IoS, e com a IA relaciona com dados obtidos ao longo do tempo para prever falhas. Também podem ser consideradas os pilares para uma cidade inteligente, monitoramento de consumo energético, qualidade de água e ar, tráfego e gestão urbana.

Na indústria, um equipamento pode solicitar automaticamente manutenções preventivas e corretivas de outros equipamentos, conforme parâmetros pré-programados pela própria indústria. Ao invés de comprar equipamentos, pode-se comprar os serviços como os de supervisão e sistemas que preveem falhas, realizando a supervisão preditiva (KRAYCZY RECH, 2023).

Virtualização

A partir da virtualização se obtém o monitoramento remoto dos processos realizados na indústria, tornando possível a união das etapas de toda a cadeia produtiva. Tendo em posse informações rápidas sobre uma grande equipe de produção, pode-se ter tomadas de decisões inteligentes ao poder mover grandes grupos em prol da potencialização da utilização do tempo (CAVALCANTI, 2018).

Um bom exemplo de como isso seria realizado na prática é: a utilização da rede cibernética para a conexão do canteiro de obras como um todo, isso é, unindo o engenheiro civil com o engenheiro eletricitista, e a união deste com o encarregado e assim por diante, até ter se tornado completamente uma “teia de aranha”. Isso é bastante benéfico para a engenharia, pois eliminaria burocracias de encontros desnecessários que existem ainda hoje.

Maquinários de campo, fábricas e até mesmo os individuais estarão conectados à Internet e serão capazes de armazenar informações, documentos e conhecimento sobre si dentro da rede, fora de sua estrutura física, em tempo real. Esses dispositivos tem a possibilidade de serem acessados por uma rede a partir de qualquer lugar, podendo ser buscados e analisados (PEREIRA, 2018).

Automatização

A automação é a capacidade de realização de atividades sem a necessidade da intervenção do ser humano. Os processos industriais e a engenharia são realizados incorporando tecnologias digitais avançadas para otimizar a eficiência, a precisão e a automação. Contudo, há processos em que terão de ser híbridos, terão de haver a presença tanto do homem como da máquina (RODRIGUES; DE QUEIROGA; MILHOSSI, 2022).

Atualmente, existem vários exemplos de como esse processo ocorre na prática. O uso de drones para inspeção é um exemplo disso, pois, quando equipados com sensores, podem mapear estruturas de forma rápida, reduzindo custos. Robôs autônomos contribuem com tarefas repetitivas, como pintura, demolição, alvenaria, e com maior precisão e eficiência.

A impressão 3D de casas é também um exemplo a ser citado, porque permite a construção de forma mais personalizada, viabilizando a criação de estruturas complexas e personalizadas, minimizando o desperdício de material e o tempo de construção (PORTO, 2016).

A automatização impulsionada pela Indústria 4.0 na construção. Todavia, a correta implementação é minuciosa e requer investimentos em tecnologia, treinamento adequado e uma abordagem estratégica para a integração dessas tecnologias nos processos existentes.

Sistemas Ciberfísicos (CBS)

Os sistemas ciberfísicos (CPS) são uma parte essencial da Indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, computação em nuvem e automação, objetiva para melhorar a eficiência, a precisão e a automação dos processos industriais. É uma nova forma de executar remotamente sistemas de automação e informação tendo visualização em tempo real dos dados do processo produtivo (KRAYCZY RECH, 2023).

Os CPS combinam elementos cibernéticos (*software*, algoritmos, comunicações)

com componentes físicos (sensores, atuadores, máquinas) para criar sistemas integrados e inteligentes. Eles são capazes de monitorar e controlar processos produtivos dos mais variados, comando remoto de subestações, monitorando consumo, tensão e corrente instantânea (ALBERTIN, et al. 2017).

Há também o gêmeo digital ou *digital twin*, que está inserido dentro da camada cibernética, ou seja, virtualmente, por dentro de um software, existe um equipamento virtual idêntico ao real, que opera utilizando os dados de máquina em tempo real podendo ser utilizado para diversas aplicações. Como por exemplo, simular uma alteração no processo produtivo e observar como se comporta o processo como um todo, antes de partir para um protótipo ou teste de campo, funcionando como uma análise preditiva do projetado.

Cibersegurança

A cibersegurança é um campo crucial, especialmente na era digital, onde as organizações dependem fortemente da tecnologia e do armazenamento digital para operações eficientes e seguras. Refere-se às práticas, tecnologias e procedimentos adotados para proteger sistemas, redes, dados e informações contra acessos não autorizados, danos, roubo ou qualquer forma de intrusão (KRAYCZY RECH, 2023).

A segurança cibernética é uma das principais preocupações das empresas modernas. Ataques cibernéticos podem causar danos significativos, incluindo perda de dados, interrupção das operações e até mesmo falência. Um sistema de planejamento de recursos empresariais (ERP) pode ajudar a melhorar a cibersegurança de uma empresa de várias maneiras (CALANDRIN, 2020).

Os ERPs (*Enterprise Resource Planning*) são sistemas de gestão empresarial que integram as principais áreas de uma empresa, como financeiro, vendas, produção, logística, etc. Eles podem favorecer a cibersegurança de uma empresa de diversas formas, incluindo: Centralização de dados, unindo todos os dados de uma empresa em um único sistema; segurança integrada, havendo recursos de segurança como autenticação multifatorial e criptografia de dados; Atualizações regulares, tendo sempre correções de falhas a cada nova atualização (CALANDRIN, 2020).

Na indústria da construção civil, a cibersegurança desempenha um papel cada vez mais importante devido à crescente digitalização e automação dos processos, através de, resumidamente, mas não apenas, ações como: Proteção de dados sensíveis, segurança de equipamentos conectados, proteção contra ataques cibernéticos, integridade dos sistemas (ALBERTIN, et al. 2017).

Capacidade em Tempo Real

Se baseia na capacidade de haver a coleta de informação de etapas construtivas de maneira automatizada por um sistema, através de um *input* realizado por um operador. Assim sendo, a análise da coleta poderia ser realizada por um gestor ou também ser automatizada, tendo-se as devidas tomadas de decisões com base no cenário analisado.

Além disso, é também coletada informações sobre a produtividade da equipe e de cada indivíduo, identificando falhas que podem ser melhoradas para se haver uma melhor eficiência profissional (CAVALCANTI, 2018).

Áreas técnicas da engenharia, planejamento, manufatura, operação e processos logísticos, devido aos motivos citados anteriormente, tendem a ser com maior qualidade, flexibilidade e robustez com a IoT (*Internet of things*), IA etc., que poderá levar a cadeias de valores auto organizáveis. A proatividade no quesito antecipar falhas, autoconfiguração e adaptação a mudanças são características da Indústria 4.0, e serão obtidas a partir da conexão entre sensores, ambientes de trabalho, máquinas e sistemas de TI (PEREIRA, 2021).

Somando a automatização e a virtualização, obtém-se esta etapa, denominada de

capacidade em tempo real. Vale ressaltar que é de muita importância a contribuição de profissionais no que diz respeito à Indústria 4.0.

Realidade Virtual (VR)

É uma tecnologia que cria um ambiente digital imersivo e interativo, proporcionando aos usuários uma experiência sensorial semelhante à realidade, sendo geralmente acessada por meio de dispositivos como óculos de RV, que proporcionam uma visão tridimensional e podem ser combinados com sensores para rastrear os movimentos do usuário (TORI, HOUNSELL, KIRNER, 2018).

A Realidade Virtual permite a criação de modelos tridimensionais imersivos dos projetos de construção, proporcionando aos usuários a capacidade de “caminhar” virtualmente pelos edifícios antes mesmo de serem construídos. Isso ajuda na identificação precoce de possíveis problemas de *design* e também na visualização “real” de como ficaria a construção já pronta (FIALHO, 2018).

Além disso, ela também oferece um ambiente seguro para treinar trabalhadores em condições simuladas, incluindo o uso adequado de equipamentos e a execução de tarefas específicas. Dessa forma, tem potencial de melhorar a segurança e a eficiência no canteiro de obras (LONGHI, LENZI, 2017).

Outrossim, possível simular cenários de segurança, como evacuações em caso de incêndio ou terremotos, permitindo avaliações de riscos mais precisas e planejamento de medidas de segurança mais eficazes, podendo ser usada para avaliar a ergonomia de um edifício ou estrutura, bem como para garantir que as instalações estejam em conformidade com as normas de acessibilidade.

Simulação

A simulação é o uso de diversos sistemas onde existe um protótipo virtual do produto em questão e com ele, por meio de softwares específicos, é possível simular as condições de fabricação de determinado produto. No ramo da engenharia civil envolve a representação de sistemas, processos ou fenômenos do mundo real por meio de modelos matemáticos, estatísticos ou computacionais (RANDON; CECCONELLO, 2019).

Existem inúmeros softwares de simulação no mercado de trabalho atual, tendo como exemplos o VisMockUp, Weld Planner e o NX. Primeiramente, o VisMockUp é um software de simulação 3D que permite que os usuários criem e visualizem modelos de produtos e ambientes virtuais. Ele é usado principalmente para prototipagem rápida, design de produtos e marketing. O Weld Planner é um software de simulação de soldagem que permite que os usuários projetem e simulem processos de soldagem. É usado principalmente para indústrias como a construção naval, a aeroespacial e a automotiva (ABREU, et al. 2017). O NX, que é um software CAD de uso geral que inclui uma ampla gama de ferramentas de simulação. Ele é usado principalmente para indústrias como a manufatura, a engenharia e a arquitetura. Ele é importante para a simulação no mercado de trabalho porque permite que os usuários simulem uma variedade de processos, incluindo fabricação, montagem, engenharia estrutural e análise de fluidos (ABREU, et al. 2017).

A Simulação Interativa Visual é uma técnica que consiste no uso de representações dinâmicas nas quais os usuários podem alterar os parâmetros do modelo durante a execução da rotina a fim de analisar seus impactos (SCHRAMM; FORMOSO, 2007, p. 3).

Um exemplo é a usinagem de um material. Primeiramente se faz a modelagem desse material em um software CAD, depois você utiliza de ferramentas CAM para simular o processo

de usinagem, determinando velocidades de corte, de avanço, determinando quais ferramentas e diâmetros irão utilizar, quais os tipos de broca para visualizar se o produto final sai como esperado (KRAYCZY RECH, 2023).

A simulação da indústria 4.0 apresenta tanto impactos positivos quanto negativos. Os positivos incluem desenvolvimento acelerado de produtos, redução dos custos com logísticas, e maior personalização de produtos e fabricação pessoal. Os negativos incluem perda de empregos e desigualdade no mercado de trabalho. As tecnologias de simulação exigem habilidades e conhecimentos especializados, o que pode levar à desigualdade no mercado de trabalho (ABREU, et al. 2017).

Inteligência Artificial (IA) na Engenharia

A Inteligência artificial faz com que as máquinas aprendam. Basicamente é fazer com que elas pensem como seres humanos, assim como uma criança cresce aprendendo com os erros. A partir de testes, a IA adquire o conhecimento através do erro, para que este mesmo equívoco não ocorra novamente, absorvendo inúmeros dados e de forma automatizada (KRAYCZY RECH, 2023). Ao longo do tempo, o sistema vai se aperfeiçoando e desprezando momentos obsoletos, apenas com o próprio aprendizado e dados acumulados.

Uma inteligência artificial integrada ao processo de usinagem pode determinar velocidades de avanço mais eficientes para cada operação, utilizando de dados como tempo de quebra de ferramenta, tempo de usinagem de cada operação, poderia também determinar uma melhoria nas velocidades em que os robôs entregam e retiram a peça do centro de usinagem.

Cadeia Produtiva da Indústria da Construção Civil

A construção civil possui sua cadeia de valor no mercado. Conforme Casarotto et al (2002), é o conjunto articulado de atividades operacionais, técnicas, comerciais e logísticas, das quais resulta um produto final, estabelecida em todas as operações de produção e comercialização, à transformação de insumos em produtos ou serviços.

A etapa de extração envolve a obtenção de matérias-primas e recursos naturais para a produção de materiais de construção, envolvendo técnicas para a identificação de fontes e armazenamento/distribuição (DE SOUZA, MELLO, 2011). Observa-se o processamento e transformação das matérias-primas extraídas em produtos prontos, consistindo em receber o material, processá-la, e armazenar o produto final para escoá-lo até o consumidor (DA SILVA, PIMENTEL, 2019).

Subsequentemente, a fase do comércio se baseia na comercialização dos materiais de construção, serviços, equipamentos e outros produtos para a realização de projetos de construção, envolvendo a aquisição de produtos, gestão de estoques, vendas e suporte técnico aos clientes (DOS SANTOS, 2019). Esta etapa é de suma importância e engloba as atividades relacionadas à prestação de serviços especializados para o planejamento, gerenciamento, supervisão, execução e manutenção de projetos de construção, tendo suas técnicas embasadas na engenharia, arquitetura, paisagismo, locação de equipamentos, etc (LEITE, 2022).

A parte de construção é uma das mais importantes, justamente por ser responsável pela transformação dos conceitos e planos em construções reais. Sua sistematização se divide com várias contribuições para cada etapa (Figura 9).

Figura 9. Empresas que atuam na Cadeia de Valor da Construção Civil





Fonte: SEBRAE (2016).

Após a construção, a etapa de uso e operação consiste na fase em que a edificação é utilizada conforme sua finalidade, e envolve a ocupação do espaço construído, sua operação, manutenção e eventual remodelação ou reforma ao longo do tempo.


Resultados e Discussão

É de suma importância de elucidar como as principais empresas do setor construtivo (como por exemplo a Vale do Rio Doce e a Votorantim Cimentos) estão lidando com a inovação tecnológica no mercado, e como estão implementando em seus empreendimentos as ferramentas como Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Inteligência Artificial, dentre outras. Além disso, a relação comparativa entre como a indústria convencional e a indústria 4.0, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Principais Inovações Tecnológicas das Empresas

Etapa Produtiva	Indústria Convencional	Indústria 4.0	Empresas e Inovações Tecnológicas
 Extração	<ul style="list-style-type: none"> - Automação e tecnologia limitadas; - Equipamentos básicos e processos manuais para extração de matéria-prima; - Coleta e análise de dados limitados e manuais, dificultando a obtenção de informações em tempo real sobre o desempenho e a eficiência dos processos de extração. 	<ul style="list-style-type: none"> - Integração de tecnologias avançadas, como sensores, IoT (Internet of Things), automação avançada, aprendizado de máquina (machine learning) e análise de dados para otimizar os processos de extração de maneira precisa e eficiente; - Inteligência Artificial aplicada a otimizar a extração, prevendo padrões de produção, identificando áreas de melhoria e ajustando variáveis automaticamente para maximizar a eficiência. 	<p>A empresa brasileira de mineração Vale do Rio Doce, fundada por Getúlio Vargas em 1942, em Minas Gerais, tem explorado inovações tecnológicas em suas operações. Implementou sistemas de monitoramento remoto, automação e análise de dados, para aprimorar eficiência e segurança na extração de minerais, e expansão de mercado por meio das tecnologias 4.0. Em 10 de janeiro de 2019, a Vale inaugurou o Centro de Inteligência Artificial (AI Center), com 50 profissionais – desde TIs a engenheiros de dados, dedicados a projetos com o lema “A Inteligência Artificial tem potencial de gerar valor para todas as áreas de negócio da Vale”.</p>
 Indústria de materiais de construção	<p>A produção em massa é o objetivo, com pouca flexibilidade para personalização de produtos; A análise de dados e a aplicação de IA são limitadas ou quase ausentes, dificultando a otimização e a previsão precisa de demanda e produção.</p>	<p>Facilita a personalização e a produção sob demanda, onde os sistemas são adaptáveis para atender às necessidades que se mostram específicas; Adota IA e análise de big data para interpretar diversos casos de dados complexos, otimizar operações, e apresenta previsões sobre a demanda do mercado, a fim de otimizar a produção.</p>	<p>Votorantim Cimentos, empresa líder no Brasil no setor de materiais de construção, fez uso da Inteligência Artificial para prever a resistência final do cimento. O novo sistema utiliza a característica preditiva da IA, conhecida como <i>machine learning</i>, e consegue 99% de eficiência ao analisar os primeiros três dias, qual será a resistência do cimento após os próximos 25 dias, completando assim os 28 dias necessários para validação da resistência final. A implementação da IA nessa análise permitiu a redução de 119 horas por mês somente à realização de ensaios.</p>

 <p>Comércio</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco uso de tecnologia para gerenciamento de estoques, transações e comunicação com fornecedores e clientes; - Controle de estoque com base em métodos tradicionais, resultando em estoques excessivos ou escassez de produtos; - Análise de mercado limitada, baseada em experiências passadas e intuição. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza tecnologias digitais, sistemas de gestão integrados, plataformas online, IoT e análise de dados para otimizar operações, melhorar a eficiência do estoque, possibilitar transações eletrônicas; - Uso de sistemas avançados de gestão de estoque baseados em dados em tempo real, com previsão de demanda e automação; - Utiliza análise de dados em tempo real e técnicas avançadas para entender melhor o mercado atual. 	<p>Telhanorte, fundada em 1970 por Rinaldo Grecco e Lázaro Rosa, e que pertence ao maior grupo de lojas de materiais de construção do Brasil, desenvolveu a assistente virtual TINA. A plataforma é baseada em algoritmos de Inteligência Artificial para dar informações de suporte aos cerca de 1,5 mil membros da força de vendas das lojas nos três estados em que a empresa atua. A Telhanorte notou um crescimento de 29% de venda média mensal por vendedor, quando comparado ao período sem a TINA. A função da plataforma é a de enviar orientações e dicas ao vendedor a respeito de como melhorar seu atendimento ao cliente.</p>
 <p>Serviços</p>	<p>Gestão operacional corretiva e baseada em relatórios manuais; Colaboração entre diferentes prestadores de serviços limitada devido à falta de sistemas integrados e plataformas colaborativas.</p>	<p>Utiliza sistemas de monitoramento em tempo real para coletar dados sobre o desempenho dos serviços, permitindo análises instantâneas e a tomada de decisões em tempo real, a fim de otimizar a operação. Facilita a colaboração e a troca de informações entre diferentes prestadores de serviços, melhorando a eficiência e a sinergia na entrega de serviços.</p>	<p>A Construtora Odebrecht é uma empresa brasileira de engenharia e construção civil fundada em 1944. É uma das maiores construtoras do Brasil, com presença em mais de 20 países. Na construção de um edifício residencial em São Paulo, a Odebrecht utilizou o BIM para criar um modelo virtual da obra. Esse modelo foi utilizado para identificar possíveis problemas antes do início da construção, o que ajudou a reduzir o número de retrabalhos. A empresa está utilizando BIM para criar modelos virtuais de suas obras; Drones para uma variedade de tarefas, incluindo levantamentos topográficos, inspeção de estruturas e monitoramento de obras; Realidade Aumentada para fornecer informações e instruções aos trabalhadores em tempo real; Robótica para automatizar tarefas perigosas ou repetitivas; e Inteligência Artificial para tomar decisões, detectar problemas e melhorar a produtividade.</p>
 <p>Construção</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza métodos tradicionais de planejamento e projeto, baseados em papel e CAD 2D; - Treinamento com métodos tradicionais, com menos acesso a simulações e ambientes virtuais; - Adaptação às mudanças nos projetos pode ser desafiadora devido à falta de flexibilidade dos métodos tradicionais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adota o BIM (tendo como exemplo o Revit) para modelagem 3D, permitindo uma visão abrangente do projeto; - Apresenta simulações virtuais, realidade aumentada e treinamento baseado em tecnologia para capacitar os trabalhadores; - Possui maior flexibilidade e capacidade de adaptação a mudanças, com a possibilidade de ajustes rápidos e eficazes durante o processo de construção. 	<p>A Vinci Brasil é uma construtora francesa que atua no Brasil desde 2006. É uma das maiores construtoras do país, com presença em diversos setores, incluindo infraestrutura, energia e imobiliário. Ao utilizar BIM, Realidade aumentada e Inteligência Artificial em suas operações, a empresa notou diversos benefícios. Na construção de um trecho de uma rodovia no Nordeste do Brasil, a Vinci Brasil utilizou drones para realizar levantamentos topográficos. Isso ajudou a acelerar o processo de planejamento da obra e a reduzir os custos.</p>

 <p>Uso e operação</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Manutenção frequentemente corretiva, realizada apenas na ocorrência de falhas ou problemas visíveis; - Uso de energia resulta em desperdícios e custos elevados; - A segurança pode depender principalmente de sistemas de segurança física e intervenção humana. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza sensores e análise de dados para monitorar o desempenho dos sistemas e prever falhas, permitindo uma manutenção preditiva; - Implementa sistemas inteligentes para monitorar, controlar e otimizar o uso de energia; - Faz uso de tecnologias avançadas, como câmeras inteligentes e sistemas de monitoramento automatizado, para melhorar a segurança e a resposta a emergências. 	<p>A Honeywell Building Technologies (HBT), localizada em Carolina do Norte, EUA, oferece tecnologias para automação predial, segurança e eficiência energética. Utiliza tecnologias 4.0 para realizar o monitoramento remoto, análise de dados em tempo real e automação de edifícios, contribuindo para a eficiência de uso e operação. A HBT possui a plataforma Command and Control Suite (CCS), que liga todos os sistemas de construção da empresa juntos a um só lugar, permitindo ações simultâneas como: coordenar manutenção; minimizar o tempo de inatividade; responder a incidentes de forma mais rápida e eficaz; gerenciar pessoas, tecnologia e processos; aumentar a produtividade; diminuir os custos operacionais e garantir a melhora da segurança no uso do local.</p>
---	--	--	---

Fonte: AUTOR (2024), adaptado de SEBRAE (2016).

Ao atenderem a NBR ISO/IEC 42001, as organizações demonstram seu compromisso com a transparência, a responsabilidade e a conformidade legal, garantindo que seus sistemas de IA sejam desenvolvidos e utilizados de forma ética e segura, minimizando riscos e maximizando os benefícios para todas as partes interessadas (ABNT, 2024). Essa norma estabelece uma estrutura robusta para a gestão de sistemas de IA sendo essencial para gerenciar riscos, identificando e mitigando riscos associados à IA; melhorar a tomada de decisões; e promover a inovação.

Considerações Finais

A pesquisa foi capaz de mostrar a relevância da inteligência artificial na cadeia produtiva sustentável no segmento da construção civil e, assim, mapeou e caracterizou as etapas pertencentes a esta cadeia, e também relacionou informações e processos que podem ser aplicados/automatizados no segmento.

A Indústria 4.0 tem proporcionado diferentes tecnologias que oferecem grandes ferramentas úteis para a automatização de processos obsoletos. De acordo com o que foi estudado, estão presentes ferramentas como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS) e Realidade Virtual (RV), que são mecanismos capazes de coletar, relacionar e armazenar dados, potencializando a tomada de decisões de empresas, tornando-a automatizada e, conseqüentemente, mais eficiente.

É importante reconhecer a necessidade de investimentos no setor 4.0, porque é possível a partir da devida aplicação da Inteligência Artificial e demais tecnologias inteligentes. Logo, é capaz de promover a sustentabilidade de toda a cadeia produtiva do setor, com grande potencial ao interligar a IA com as etapas construtivas, assim reduzir custos, recursos e insumos.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 42001:2024**. Tecnologia da informação — Inteligência artificial — Sistemas de gestão. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABREU, Cleyde Evangelista Maia et al. Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 12, n.

12, p. 49-53, 2017.

AIZA ENGENHARIA. **Sensores vestíveis na Construção Civil**. Disponível em: <http://aiza.com.br/sensores-vestiveis-na-construcao-civil/>. Acesso em: 16 maio 2019.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo et al. **Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura**. 2017.

BEZERRA, Juliana. Terceira Revolução Industrial. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/terceira-revolucao-industrial/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

CALANDRIN, Alisson de Souza. **Segurança da informação aplicada à indústria 4.0**. 2020.

CASAROTTO, Rosangela Mauzer et al. **Redes de empresas na indústria da construção civil: definição de funções e atividades de cooperação**. 2002.

CAVALCANTI, Vladyr Yuri Soares de lima et al. Indústria 4.0: desafios e perspectivas na construção civil. **Revista Campo do Saber**, v. 4, n. 4, 2018.

DA SILVA, Ayane Maria Gonçalves; PIMENTEL, Márcio Sampaio. Logística reversa na construção civil: um estudo de caso sobre o gerenciamento dos resíduos de construção civil e sua reintegração na cadeia de valor. **Refas-Revista Fatec Zona Sul**, v. 6, n. 2, p. 18-33, 2019.

DE SOUZA, Antônio Artur; MELLO, Eliane. Análise da cadeia de valor: um estudo no âmbito da gestão estratégica de custos de empresas da construção civil da grande Porto Alegre. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 8, n. 15, p. 11-39, 2011.

DOS SANTOS, Alessandra Simão et al. Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20130-20145, 2019.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Realidade Virtual e aumentada tecnologias para aplicações profissionais**. Saraiva Educação SA, 2018.

GOOGLE MAPS. **Geolocalização de Empreendimentos da Engenharia Civil**. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acesso em: 12 out. 2024.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. (Working Paper, n. 1). **Dortmund: Technische Universität Dortmund**, 2015

KAGERMANN, H. et al. **Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners**. Munich: ACATECH, 2016.

KRAYCZY RECH, Gabriel. **Impactos da Indústria 4.0 no dia a dia do Engenheiro**. 2023.

LEITE, Gabriela Eloanne Vidal. **Estudo do impacto da quarta revolução industrial na cadeia produtiva da indústria da construção civil no Agreste Pernambucano**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

LONGHI, Raquel Ritter; LENZI, Alexandre. Práticas ciberjornalísticas em Realidade Virtual: inovação e impacto nos processos de produção. **Revista FAMECOS: mídia, cultura e tecnologia**, v. 24, n. 3, 2017.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO **The next production revolution: implications for governments and business**. Paris: OECD

Publishing, 2017.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PERIN, Cláudio. **Industria-4-0-revoluções industriais**. Disponível em: <https://claudioperin.com.br/industria-4-0-qual-o-grau-de-maturidade-digital-da-sua-empresa/industria-4-0-revolucoes-industriais>. Acesso 01 nov. 2024.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil. **Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro**, v. 9, 2016.

PORTO JÚNIOR, Francisco Gilson Rebouças; ALVES, Marco Antônio Baleeiro (Org.). **Temas estratégicos e o processo de inovação**. Porto Alegre: Fi, 2018. 209 p.

RAIA. Responsible artificial intelligence agentes. **AAMAS 2019 Workshop**, Montreal, Canada. Disponível em: <<https://raia2019.blogs.dsv.su.se/>>.

RANDON, Gabriel; CECCONELLO, Ivandro. Simulação como Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Uma Revisão da Literatura. **Scientia cum Industria**, v. 7, n. 2, p. 117-125, 2019.

RODRIGUES, Luciene Cavalcanti; DE QUEIROGA, Ana Paula Garrido; MILHOSSI, José Fernando. Indústria 4.0 e a transformação digital Industry 4.0 and digital transformation. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 14093-14101, 2022.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SCHRAMM, Fabio K.; FORMOSO, Carlos T. Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil. **Proceedings of the III Encontro de Informação e Comunicação na Construção Civil**, 2007.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cadeia De Valor – Oportunidades na construção civil** (2016). Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/0a89f5690e9915bdb69ac92a41783a44/\\$File/6077.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/0a89f5690e9915bdb69ac92a41783a44/$File/6077.pdf). Acesso em: 14 out. 2023.

SOUZA, Thiago. Conheça a história da Primeira Revolução Industrial. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/primeira-revolucao-industrial/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva; KIRNER, Claudio. Realidade virtual. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada. [Internet]. Porto Alegre: Editora SBC**, p. 9-25, 2018.

XAI. Explainable artificial intelligence, ECAI/IJCAI 2018 - **Workshop, Stockholm, Sweden**. Disponível em: <<http://home.earthlink.net/~dwaha/research/meetings/faim18-xai/>>.

Recebido em 6 de dezembro de 2024.

Aceito em 16 de dezembro de 2024.