



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## GESTÃO DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE ARMADURAS DE AÇO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA<sup>1</sup>

SAVIOLI, Emanuel da Silva (1); FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli (2)

(1) FEC/UNICAMP, email: emanuelsisa96@gmail.com

(2) FEC/UNICAMP, email: patricia@fec.unicamp.br

### RESUMO

O aumento na utilização de pré-fabricados de concreto como técnica construtiva em diversos tipos de empreendimentos leva à necessidade de desenvolver melhorias que aumentem a sua produtividade. Os elementos pré-fabricados de concreto, cuja linha de produção é composta por diversas partes, têm diferentes possibilidades para aplicação de aprimoramentos. Especificamente voltado a um destes componentes, este trabalho se propõe a desenvolver uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) a respeito de melhorias para a produção e instalação de armaduras de aço para reforço de estruturas de concreto. É apresentado um protocolo para desenvolvimento da RSL, incluindo suas análises bibliométricas, que levam à definição dos temas abordados pelas pesquisas selecionadas. Destacam-se como resultados da revisão a gestão da cadeia de suprimentos para otimização de entregas, estoques e manuseio dos materiais na produção de armaduras, como o tema mais explorado pelos artigos; e a utilização de ferramentas computacionais na gestão da produção como lacuna de conhecimento com possibilidade de maior exploração em pesquisas futuras.

**Palavras-chave:** Industrialização. Armadura de aço. Gestão da produção. Revisão sistemática da literatura (RSL).

### ABSTRACT

The increasing use of precast concrete as a constructive technique in several types of projects leads to the need for developing improvements to increase their productivity. The prefabricated concrete elements, whose production line is made up of several parts, have different possibilities for applying improvements. Specifically focused on one of these components, this work develops a Systematic Literature Review (SLR) regarding improvements for the production and installation of steel reinforcement for concrete structures. A protocol for the development of SLR is presented, including its bibliometric analyzes, which lead to the definition of the topics covered by the selected researches. The results of the review stand out as the management of the supply chain for optimization of deliveries, stocks and handling of materials in the production of reinforcement, as the theme most explored by the articles; and the use of computational tools in production management as a knowledge gap with possibility of further exploration in future researches.

**Keywords:** Industrialization. Steel reinforcement. Production management. Systematic literature review (SLR).

---

<sup>1</sup> SAVIOLI, Emanuel da Silva; FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli. Gestão da cadeia de produção de armaduras de aço: uma revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização da construção civil, isto é, a transferência de etapas e atividades antes realizadas no canteiro, para indústrias e ambientes de maior controle dos processos, melhora a produtividade das atividades que agregam valor ao segmento (BATAGLIN et al., 2018). Justifica-se então o crescimento na utilização de elementos pré-fabricados em diversos processos da construção civil, como técnica construtiva em projetos específicos (RUIZ, 2019) e também a busca por ferramentas e procedimentos para a sua melhoria.

Diante destas informações, e da revisão apresentada por Ruiz (2019), este trabalho aborda, de maneira mais específica, os meios para aprimoramento da produção de armaduras de aço. A pouca diferenciação deste tipo de produção, comparando-se entre a produção industrial ou em canteiro; como armaduras para elementos convencionais moldados em obra ou pré-fabricados, permite que a busca dos trabalhos para a revisão não seja limitada e sirva resultados às diversas produções que têm entre seus componentes as armaduras de aço.

### 1.1 Revisão Sistemática da Literatura

Uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) consiste num estudo para a prospecção de um tema de pesquisa específico, a partir da qual podem ser descobertas diversas frentes de trabalho para exploração e aprofundamento dos conhecimentos relacionados (KITCHENHAM et al., 2009). A RSL inicia-se com uma questão para identificar estudos primários relevantes na área de conhecimento abordada, avaliando sua qualidade e destacando resultados através de uma metodologia clara e bem definida (PETERSEN et al., 2008).

Conforme Khalid et al. (2003), a revisão parte da definição de questões claras e estruturadas a respeito dos problemas que motivam o trabalho a ser realizado. Destas questões se originam os critérios de seleção que auxiliam na escolha e orientam a busca por estudos primários e a identificação dos trabalhos relevantes, a partir de suas relações com os demais artigos da RSL. Assim, este trabalho propõe-se a desenvolver uma revisão sistemática da literatura, visando o conhecimento da produção acadêmica existente a respeito dos meios para a melhoria da produção e instalação de armaduras de aço para reforço de estruturas de concreto.

## 2 METODOLOGIA

A partir dos procedimentos utilizados por Ruiz e Granja (2013) e Ruiz (2019), tem-se a metodologia para esta RSL. Os procedimentos adotados iniciam-se estabelecendo o protocolo básico da Tabela 1. A estrutura conceitual define um objetivo em seu contexto abrangente e genérico, que origina também a questão da revisão, a ser respondida com auxílio da string de busca elaborada. Para encontrar trabalhos que auxiliassem na compreensão das etapas do processo de produção de armaduras, bem como no entendimento da participação destes elementos em outros processos e fluxos mais abrangentes na construção civil, foram incluídos na string de busca "processo", "fluxo", "linha" e "produção", além de "produtividade", "reforço" e "armadura"; todos na língua inglesa, utilizada nas bases de dados pesquisadas.

A seleção das bases e dos textos apenas em inglês ocorreu após a procura por artigos em bases de língua portuguesa não retornar resultados, daí a ausência de referências

em português nesta RSL. Buscando nas bases de dados mais usuais, sejam elas: Scopus, Web of Science (Web of Knowledge), Engineering Village (Compendex) e ProQuest, os artigos encontrados para a RSL somam 534. Destes, a primeira triagem eliminou 107 textos duplicados, encontrados em mais de uma base de dados; restaram ainda 427 artigos. Em tais bases, os termos foram buscados apenas entre título, palavras-chave e resumo dos artigos, fossem eles publicados em periódicos ou em conferências, do ano 1990 até os dias atuais.

Tabela 1 – Protocolo para a RSL

Estrutura Conceitual	Reconhecer situações, problemas e adversidades no processo de manufatura e instalação de armaduras para estruturas de concreto
Contexto	Técnicas e ferramentas para melhoria da produtividade nos processos de produção de armaduras para estruturas de concreto
Questão de Revisão	Quais são as propostas para melhoria da produção de armaduras para estruturas de concreto?
String de Busca	((producti* AND (process OR flow OR line)) OR ("process flow")) AND (productivity) AND (rebar* OR reinforcement)) – inglês

Fonte: os autores

À primeira triagem dos artigos seguiu-se a análise dos seus títulos, permanecendo ainda 109 textos que foram submetidos então à leitura de seus resumos para a seleção dos aderentes ao tema. Restaram então 30 artigos para a última etapa da revisão, cumprida após a leitura completa dos trabalhos remanescentes e classificação segundo as classes de aderência indicadas na Tabela 2. Assim como no protocolo apresentado anteriormente, aqui o termo "produção de armadura" envolve não apenas o corte, dobra e montagem de barras de aço, mas toda a cadeia, incluindo o manuseio e transporte dos elementos, entregas, a gestão de estoques e o posicionamento ou instalação final.

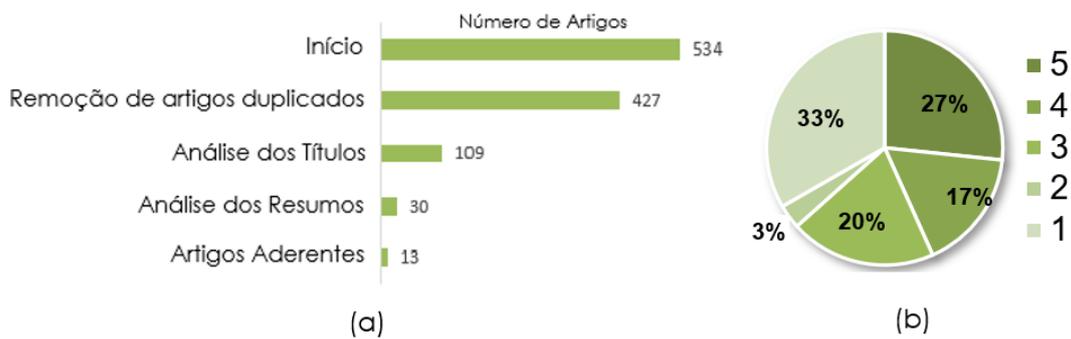
Tabela 2 – Classificação dos artigos

Classe	Descrição
5	Artigos com soluções de melhoria da produtividade na produção de armaduras
4	Textos sobre indicadores e análise da produtividade na produção de armaduras
3	Trabalhos genéricos sobre produtividade na linha de produção de armaduras
2	Trabalhos sobre armaduras de concreto, porém sem foco em produtividade
1	Artigos não aderentes ou que não puderam ser acessados

Fonte: os autores

A leitura dos 30 artigos permitiu então classificá-los, sendo considerados aderentes ao tema da revisão aqueles de classe 4 ou 5. Assim, o número final de trabalhos primários considerados relevantes foi de 13 artigos, como resume a Figura 1 (a). Ainda, na Figura 1 (b) encontra-se a distribuição dos 30 segundo as classes apresentadas. Notou-se que a maioria dos artigos foi considerada não aderente ao tema, sendo um terço das que passaram pela análise dos resumos irrelevante para a revisão, ou sequer analisada por impossibilidade de acesso ao texto, conforme a classificação 1 da Tabela 2. Apenas 44% dos textos aprovados até a última etapa da RSL foram considerados para contribuições futuras e análises mais aprofundadas.

Figura 1 (a) e (b) – Síntese da RSL

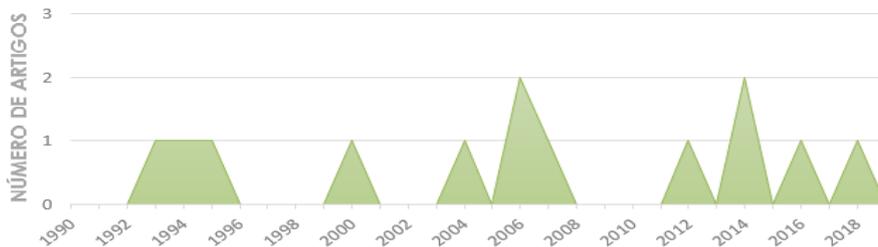


Fonte: Os autores

### 3 RESULTADOS

A partir dos 13 artigos relevantes para a RSL elaborada, a Figura 2 classifica as publicações por ano, do horizonte definido, 1990, até o ano de 2019. A sequência de picos baixos e isolados reforça que são raras as contribuições ao tema proposto, assim como a ausência de picos superiores a duas publicações por ano. No período analisado, considerando apenas os 26 anos com publicações (isto é, entre 1993 e 2018), a média é de uma publicação a cada dois anos, assim como foi do ano 2015 até 2019; esse padrão sem um crescente de novos estudos e pesquisas na área da produção de armaduras de aço também não indica um interesse renovado pelo tema, como pode ocorrer com outros setores da construção civil.

Figura 2 – Número de publicações por ano



Fonte: Os autores

Quanto à fonte das publicações selecionadas, a Tabela 3 apresenta a distribuição dos artigos entre periódicos e congressos. Apesar da pulverização, uma das fontes destaca-se: do Journal of Construction Engineering and Management vêm três publicações dentre as selecionadas. Quanto as demais, são agrupáveis por temas em comum. A construção enxuta é assunto das conferências do IGLC, de cujos anais vêm outras três publicações; já o tema da automação e computação na engenharia civil está em outros quatro artigos, de periódicos e congressos.

Foram identificados também as metodologias de pesquisa na condução dos trabalhos, conforme o Figura 3. Enquanto 38,5% dos artigos são do tipo pesquisa-ação, que envolvem elaboração de modelos e análises comparativas, a maioria dos textos (os demais 61,5%) são estudos de caso de aplicações de ferramentas que contribuem para a agilidade na execução de atividades, ou gestão mais eficiente dos processos. Porém, destes destacam-se aqueles com modelos para compreensão dos processos da produção, manuseio e instalação de armaduras; a preferência dos pesquisadores por tal ferramenta a consolida como um artifício confiável para o desenvolvimento de outros trabalhos complementares. Por fim, a leitura permitiu

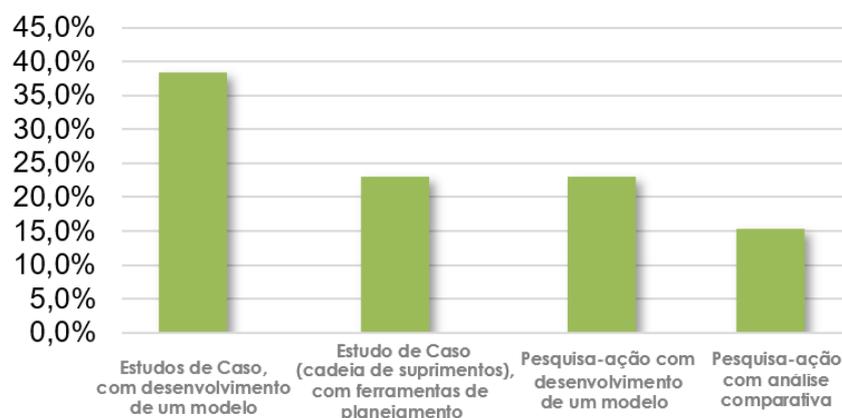
identificar cinco classes entre os artigos aderentes, baseadas em soluções da produção de armaduras ou campos de aplicação de melhorias (Tabela 4).

Tabela 3 – Distribuição dos artigos por fonte

Periódico ou Conferência	Artigos
Journal of Construction Engineering and Management	3
Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th IGLC Conference	2
Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC	1
Automation in Construction	1
Journal of Computing in Civil Engineering	1
Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings	1
ISARC 2016 - 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction	1
Journal of Management in Engineering	1
Journal of Construction in Developing Countries	1
Journal of Asian Architecture and Building Engineering	1

Fonte: os autores

Figura 3 – Métodos utilizados nos artigos



Fonte: Os autores

Tabela 4 – Classificação dos artigos por enfoque principal

Enfoque Principal	Nº de Artigos
Otimização de entregas, estoques e manuseio de aço e armaduras	5
Equipamentos para montagem (dobra ou amarração)	2
Simulação e otimização do corte de barras de aço	2
Ferramentas e conceitos tradicionais para a produção e gestão e geral	2
Recursos computacionais para gestão do sistema de produção	2

Fonte: os autores

Relacionando os métodos utilizados nas pesquisas e os temas desenvolvidos, nota-se

predominância de modelos de otimização da entrega e manuseio do aço, seja ele na forma de matéria-prima a ser cortada, dobrada e montada, ou em armaduras pré-fabricadas em movimentação para sua instalação nas peças de concreto. Nessa categoria, dois autores se destacam com três artigos dentre os cinco da classificação: Salim e Bernold. Em seus trabalhos, há modelos para entrega de aço baseado em simulações mais simples, a partir de modelos em CAD; ambos os autores também tratam do tema com uma proposta de projeto orientado por processo e o conceito associado de entrega e posicionamento planejado; além do posicionamento de armadura auxiliado por computador (CRPP) que relaciona na simulação do artigo a sequência de montagem das armaduras e o manuseio das barras de aço (Bernold; Salim, 1993; Salim; Bernold, 1995, 1994). Já Zekavat, Moon e Bernold (2014) avaliam o uso de tecnologia da informação no rastreamento de peças com RFID, também para otimizar entregas e manuseio do aço. Finalmente, Jung et al. (2007) apresentam em simulação a aplicação de um algoritmo para definição de um nível ótimo de inventário de matérias-primas e partes pré-montadas.

Ainda por meio de simulação, também houve dentre as pesquisas selecionadas na revisão aquelas que abordam o corte ótimo de vergalhões. Mishra, Parbat e Modak (2014) simulam matematicamente um modelo para otimização do corte manual do aço, dessa forma buscando menos riscos aos trabalhadores, além de melhorar a produção. De modo semelhante, Kim, Hong e Joo (2004) propõem também um algoritmo para minimizar perdas com corte e dobra do aço.

Já outros estudos elaborados na utilização de modelos focam em equipamentos e ferramentas para automatizar a montagem. É o caso do trabalho de Dunston e Bernold (2000), que apresenta um sistema de controle integrado para fabricação automatizada de vergalhões; ou de Safa et al. (2016), que avalia o uso de máquina automática de amarração para reduzir tempos de trabalho e riscos ao trabalhador.

Apenas as pesquisas que abrangem um estudo de toda a cadeia de produção, com aplicação de conceitos tradicionais na gestão, são estudos que não dependem de modelos ou simulações para sua condução. Assim são os estudos de caso de Azambuja et al (2006), que acompanha na cadeia de suprimentos para o corte e dobra do aço a integração entre os processos e os membros participantes; e Arbulu (2006), com a aplicação da produção puxada em sistemas da construção.

Dois trabalhos que se destacam tratam da utilização de recursos computacionais como ferramentas de gestão dos processos de produção. Um deles propõe um modelo para o reconhecimento das atividades da produção, por meio de imagens e informações em tempo real (Luo et al, 2018). Já o outro apresenta uma revisão de ferramentas BIM que podem ser usadas no auxílio ao desenvolvimento de projetos e na gestão da produção de armaduras (ARAM; EASTMAN; SACKS, 2012).

#### **4 CONCLUSÃO**

O pequeno número de artigos aderentes dificultou a detecção de correlações entre eles, como observado na ausência de palavras-chave em comum, na variedade de fontes e na oscilação de publicações por ano. Ainda assim, foi possível relacioná-los por métodos de pesquisa em comum e classificá-los por suas contribuições. Esta RSL cumpriu seu papel de coletar estudos primários para detectar lacunas de conhecimento que serão preenchidas por futuros trabalhos, aos quais cabe o aprofundamento no tema.

Ficou evidente a predominância de estudos da cadeia logística de suprimentos da

produção de armaduras. Estes baseiam-se em modelos para orientar a elaboração de projetos de detalhamento e procedimentos para manuseio e estocagem do aço como matéria-prima ou na forma de peças de armadura prontas. Outros temas ainda envolvem atividades específicas de montagem que precedem a instalação da armadura: corte, dobra e amarração de vergalhões e estribos. Estas tarefas não são obrigatoriamente realizadas no canteiro de obras ou na fábrica (no caso da fabricação de elementos de concreto pré-fabricados), isto é, algumas peças ou partes de armaduras também são pré-fabricadas, seguindo decisões dos gestores no processo de produção dos elementos de concreto armado. Do mesmo modo, a versatilidade das ferramentas tradicionais de gestão que foram abordadas em alguns trabalhos selecionados também abrange toda a linha de produção de armaduras, incluindo etapas anteriores à instalação.

Em contrapartida à essas recorrências, a lacuna de conhecimento notada reside nos recursos computacionais de apoio à gestão, facilitadores da elaboração dos projetos de etapas da produção de armadura ou auxiliares na gestão dos processos da produção. Buscando relacionar os temas apresentados com a proposta deste trabalho, esta lacuna antecipa o desenvolvimento de pesquisas para o aprimoramento da produção de armaduras que decorrem também em melhorias para a produção de pré-fabricados e outras técnicas da construção.

Observa-se que em indústrias típicas de países em desenvolvimento, onde há menos recursos e investimentos em pesquisa, as lacunas na pré-fabricação são ainda maiores. Há diferentes percepções das inovações tecnológicas - num único segmento como a entrega e estocagem de elementos, podem estar na simples lógica de manuseio seguindo a sequência de projetos, ou no uso avançado de RFID no rastreamento das partes: as pesquisas mais aprofundadas buscam soluções na plataforma BIM e TI, em um ciclo virtuoso em que as tecnologias disponíveis impulsionam pesquisas para o seu próprio desenvolvimento.

A utilização de ferramentas e equipamentos por trabalhadores também esbarra na barreira do desenvolvimento tecnológico: nem sempre os equipamentos já desenvolvidos são mais eficientes que o trabalhador experiente na amarração e montagem. É viável a simulação para um corte de aço mais eficiente, mas os equipamentos autônomos pesquisados ainda são incapazes de executar atividades com a mesma eficiência da mão-de-obra.

O baixo número de pesquisas aderentes revela pequena incursão na literatura sobre as armaduras de aço. Embora a pré-fabricação favoreça a produtividade da indústria da construção civil, por vezes faltam estudos focados em etapas específicas da produção para sua adoção. Há maior procura por aprimoramentos no controle tecnológico do concreto, por exemplo, do que por melhorias dos processos como o manuseio das armaduras, das fôrmas ou outras atividades da mão-de-obra.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UNICAMP e à CAPES o apoio na realização da pesquisa deste artigo.

## REFERÊNCIAS

ARAM, S.; EASTMAN, C.; SACKS, R. **Utilizing BIM to improve the concrete reinforcement supply chain**. Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings. Anais... 2012.

ARBULU, R. **APPLICATION OF PULL AND CONWIP IN CONSTRUCTION PRODUCTION SYSTEMS**. Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-14, 2006

AZAMBUJA, M. M. B. et al. **The importance of commitments management to the integration of make-to-order supply chains in construction industry**. Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-14, p 609-623, 2006

BATAGLIN, F. S. et al. BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto *engineer-to-order*. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 173-192, Mar. 2018.

BERNOLD, L. E.; SALIM, M. Placement-oriented design and delivery of concrete reinforcement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 119, n. 2, p. 323–335, jun. 1993.

DUNSTON, P. S.; BERNOLD, L. E. Adaptive control for safe and quality rebar fabrication. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 126, n. 2, p. 122–129, mar. 2000.

JUNG, D. Y. et al. **Modelling an inventory management in construction operations involving onsite fabrication of raw materials**. Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC Conference. Anais... 2007.

KHALID, S. K. et al. Five steps to conducting a systematic review. **Journal of the Royal Society of Medicine**, v. 96, p. 118-121, 2003.

KIM, S. K.; HONG, W. K.; JOO, J. K. Algorithms for Reducing the Waste Rate of Reinforcement Bars. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 3, n. 1, p. 17–23, 2004.

KITCHENHAM, B.A. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering Version 2.3, **EBSE Technical Report**, Keele University, University of Durham, Reino Unido. 2007.

LUO, H. et al. Convolutional neural networks: Computer vision-based workforce activity assessment in construction. **Automation in Construction**, v. 94, p. 282-289, 2018.

MISHRA, S.P.; PARBAT, D.K.; MODAK, J.P. Field data-based mathematical simulation of manual rebar cutting. **Journal of Construction in Developing Countries**, v. 19, n. 1, p. 111–126, 2014.

PETERSEN, K. et al. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. **School of Engineering, Blekinge Institute of Technology**. University of Bari, Itália, 26 - 27 Jun. 2008.

RUIZ, J. de A.; GRANJA, A. D. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE (SIBRAGEC), 8, 2013, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: UFBA, 2013.

RUIZ, P. V. **A simulação computacional como ferramenta de auxílio à tomada de decisão na produção de elementos pré-fabricados**. 2019. 264 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

SAFA, M. et al. Improving construction labor productivity using automatic rebar tying gun. In: International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), 33, 2016. **Anais[...]**. IAARC, 2016.

SALIM, M.; BERNOLD, L. E. Design-integrated process planner for rebar placement. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 9, n. 2, p. 157–167, abr. 1995.

SALIM, M. D.; BERNOLD, L. E. Effects of design-integrated process planning on productivity in rebar placement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, n. 4, 1994.

ZEKAVAT, P.R; MOON, S.; BERNOLD, L.E. Holonic construction management: Unified framework for ICT-supported process control. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 1, 2014.