FERNANDA BELIZARIO SILVA

PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO PARA A
PRODUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS:
PROPOSTA DE UM MODELO

São Paulo
2012

FERNANDA BELIZARIO SILVA

PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO PARA A
PRODUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS:
PROPOSTA DE UM MODELO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre
em Engenharia

São Paulo
2012

FERNANDA BELIZARIO SILVA

PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO PARA A
PRODUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS:
PROPOSTA DE UM MODELO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre
em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e
Urbana

Orientador: Professora Doutora
Mercia Maria Semensato Bottura de
Barros

São Paulo
2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 28 de maio de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Fernanda Belizario

**Planejamento de processos de construção para a produção industrializada de edifícios habitacionais: proposta de um modelo / F.B. Silva. -- ed.rev. -- São Paulo, 2012.
189 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Construção civil (Planejamento) 2.Industrialização da construção 3.Habitação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

DEDICATÓRIA

Para o meu avô José

AGRADECIMENTOS

À Professora Mercia Barros, pela excelente orientação ao longo da realização deste trabalho, lendo e relendo incansavelmente os meus textos; pela compreensão nos momentos difíceis; pelo apoio profissional; pelas inúmeras discussões e conversas sobre a construção civil; e, sobretudo, pela amizade. Aproveito para agradecer “retroativamente” pela orientação na iniciação científica durante a graduação. Muitíssimo obrigada por tudo!

Ao Professor Fernando Sabbatini, que nas suas aulas extremamente ricas me despertou o interesse pela racionalização e industrialização da construção. Obrigada pela oportunidade de ter trabalhado com o senhor, pelos diversos aprendizados que tive durante essa época e pelas ricas discussões que o senhor proporcionou. Agradeço-lhe também pelas contribuições dadas no exame de qualificação.

Ao professor Carlos Formoso, por ter aceitado o convite para participação na banca de avaliação do mestrado e ao professor Sílvio Melhado, pelas contribuições no exame de qualificação.

Ao professor Marcelo Alves, do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP, pela revisão do capítulo de caracterização da indústria de manufatura.

A todos os professores do grupo de Tecnologia e Gestão da Produção do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, por todo o aprendizado que me proporcionaram nas aulas e discussões, tanto na graduação quanto no mestrado.

Aos funcionários das bibliotecas da Engenharia Civil, Mecânica e de Produção, pelo apoio na extensa busca por referências deste trabalho. À Cristina Borba, pela revisão do *abstract*. Aos funcionários da Escola Politécnica, sobretudo à secretária do programa de pós-graduação Wandréa Dantas, pela ajuda com as “regras”.

Aos meus amigos: Renata Monte e André Marguti, que acompanharam de perto a realização deste trabalho e me apoiaram durante este período; Tâmara Ignácio, que com seu exemplo de força e superação, me impulsionou a vencer meus próprios desafios; Camila Kato, com quem tive o prazer de cursar as disciplinas da pós-

graduação; Aquiles Cravo, pelos incessantes incentivos e pelo apoio nas horas em que mais precisei; Felipe Garcia, pelo interesse no trabalho, pelas leituras críticas voluntárias (e excelentes comentários!) e pelas conversas filosóficas; Luciana Alves e Larissa Afonso, pelo estímulo e pela amizade; e Jéssica Franco, companhia formidável dos raros momentos de lazer, mas tão importantes para a vida!

Um agradecimento especial aos meus amigos Guilherme Soria, Camila Conti, Alexandre Rosa, Felipe Sulimam, Thiago Aurélio e “mestre” Daniel Freitas, com quem tive o privilégio de trabalhar durante o ano de 2010. Cada um de vocês, à sua maneira, me ensinou muito, seja pela experiência, pelas discussões técnicas, pelo trabalho conjunto ou simplesmente pelo convívio. Um agradecimento especial à Camila Conti, que além de conversar comigo horas a fio sobre conceitos abordados neste trabalho, me deu uma ajuda tremenda na reta final elaborando alguns dos desenhos que integram este texto. Muito obrigada, família Restart! Vocês são responsáveis por grande parte do que se tornou este trabalho.

Aos meus colegas de Método Engenharia, Living Construtora e Tecnisa que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os aspectos da minha vida. Aos meus avós, pelo imenso carinho, preocupação e incentivo. À minha irmã Natália, pela força, compreensão e pelas conversas. Ao meu pai Edson, por todas as inúmeras discussões técnicas (a indústria de manufatura personalizada em casa!), econômicas e políticas de todos os dias; por me dar todo o suporte necessário nos meus estudos e pelo amor demonstrado pelas ações cotidianas. À minha mãe Sueli, pelo imenso amor, carinho e cuidado; pela compreensão e força, e por compartilhar os momentos de alegria e angústia. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui. Muito obrigada!

The greatest act can be one little victory

(Rush)

RESUMO

Atualmente, o segmento de construção de habitações para a população de baixa renda encontra-se em destaque no Brasil, atraindo o interesse de muitas empresas. Entretanto, para que os negócios neste segmento sejam viáveis, é necessário observar algumas características – baixo custo de construção, produção em larga escala, repetitividade, alta produtividade e gestão precisa – próprias de processos industrializados. A industrialização da construção envolve aspectos relativos tanto à configuração do edifício (por exemplo, a pré-fabricação de componentes) quanto à gestão da produção, em que o planejamento dos processos de construção é considerado fundamental para obter uma produção eficiente. Não obstante sua importância, inexistem modelos consolidados voltados à construção industrializada em larga escala, sendo esse o foco do presente trabalho, cujo objetivo consiste em propor um modelo para o planejamento de processos de construção para a produção industrializada de edifícios habitacionais. A metodologia consistiu em realizar ampla revisão bibliográfica para caracterização do modelo de planejamento de processos adotado na indústria de manufatura, bem como de propostas que representam o estado da arte do planejamento na construção de edifícios. Tais modelos foram objeto de análise comparativa, visando identificar os principais elementos que resultaram na proposta do Modelo de Planejamento de Processos de Construção (M-PPC). O modelo inclui um conjunto de premissas para sua aplicação, um plano de ação com as atividades necessárias ao planejamento de processos e ferramentas para sua operacionalização. Ainda como contribuição, buscou-se exemplificar sua aplicação com base no processo de construção do vedo vertical de um edifício que emprega a tecnologia de alvenaria estrutural. Considera-se que o modelo proposto representa uma contribuição importante para organização dos processos de construção em empreendimentos de larga escala, sobretudo em empresas dispostas a implantar um sistema de gestão voltado à industrialização da construção.

Palavras-chave: planejamento; processos de construção; industrialização da construção; manufatura.

ABSTRACT

Housing construction for low-income population is nowadays very active in Brazil and is therefore attracting the interest of many companies. However, for business in this segment to become viable, it is necessary to observe some characteristics – low construction costs, large scale production, repeatability, high productivity and precise production management – which are typical of industrialized processes. Construction industrialization involves aspects both related to building configuration (e.g. prefabrication) and to production management, under which process planning is considered fundamental for an efficient production. Besides its importance, there are no consolidated planning models for industrialized large scale construction and, therefore, this is the focus of the present work, which proposes a model for construction process planning for industrialized housing production. The methodology consisted of a comprehensive literature review for characterizing the production process planning model adopted in the manufacturing industry, as well as identifying proposals which represent the state-of-the-art of building construction planning. These models were submitted to a comparative analysis, aiming to identify the main elements which resulted in the proposal of the Construction Process Planning Model (CPPM). The model includes a range of premises for its application, an action plan with the activities required for process planning, and tools for its operationalization. As a further contribution, an example of application is presented, based on a construction process for structural walls of a building that employs structural masonry technology. We consider that the proposed model represents an important contribution to the organization of construction processes in large-scale projects, especially in companies willing to implement a management system properly engineered for industrialized production.

Keywords: planning; construction processes; construction industrialization; manufacture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução no número de financiamentos habitacionais até 2009 (DIAS; CASTELO, 2010).....	18
Figura 2 - Empreendimento habitacional de grande escala voltado ao mercado de baixa renda (OLIVEIRA; LIMA, 2009).....	20
Figura 3 - Edifícios padronizados em empreendimento habitacional voltado ao mercado de baixa renda (LIVING CONSTRUTORA, 2012).	21
Figura 4 - Edifício em construção com painéis de concreto pré-moldados (TAMAKI; ROCHA, 2010).	23
Figura 5 - Edifício em construção com paredes de concreto moldadas no local com uso de formas metálicas (TAMAKI; ROCHA, 2010).	23
Figura 6 - Síntese da metodologia.	25
Figura 7 - Principais atividades necessárias para a manufatura de um produto e áreas envolvidas (adaptado de Hitomi, 1979).	30
Figura 8 - Sequenciamento das atividades necessárias à manufatura de acordo com a abordagem da Engenharia Simultânea.	33
Figura 9 - Atividades que compõem o planejamento do sistema de manufatura e áreas da Engenharia Industrial responsáveis pela sua realização.....	34
Figura 10 - Fluxo de atividades que constituem o planejamento dos processos de manufatura.	38
Figura 11 - Exemplo de vista explodida para montagem de produtos (WALKER, 1996).	39
Figura 12 - Desenho de montagem de um controle: a) antes da análise de manufaturabilidade; b) após a análise de manufaturabilidade. Observa-se que a segunda montagem é muito mais simples (WALKER; BOOTHROYD, 1996).	40
Figura 13 - Relação entre as atividades de planejamento do processo com atividades do planejamento do sistema de manufatura.....	49
Figura 14 - Folha de processo para produção de uma válvula (GROOVER, 1996). .	51
Figura 15 - Folha de processo para produção de um eixo em torno mecânico (HITOMI, 1979).....	52
Figura 16 - Princípios para a montagem de diagramas de processo (adaptado de Mullee e Porter (1956) e Tanner (1996)).	54
Figura 17 - Diagrama de processo para montagem de um regulador de fluxo de ar (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).	54
Figura 18 - Diagrama de processo para montagem de um suporte de prateleira (VERNON, 1990).	55
Figura 19 - Simbologia adotada em fluxogramas de processo (adaptado de Hitomi, 1979).	56
Figura 20 - Fluxograma de processo para preparo de areia para processo de moldagem (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).	56

Figura 21 - Fluxograma de processo para atividade de atribuição de preços e despacho de pedidos (atividade administrativa) (TANNER, 1996).....	57
Figura 22 - Diagrama de múltiplas atividades para montagem final de bicicleta. Os tempos ociosos são identificados em cinza (<i>idle</i>) (KRICK, 1962).....	59
Figura 23 - Diagrama de rede (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).	59
Figura 24 - Diagrama de fluxo (MEYERS; STEPHENS, 2005).	60
Figura 25 - Instrução de trabalho (TANNER, 1996).	61
Figura 26 - Ilustração de processo (EARY; JOHNSON, 1962).....	62
Figura 27 - Principais atividades necessárias para a construção de um empreendimento e áreas envolvidas (CARDOSO, 1996; MELHADO, 2005).	66
Figura 28 - Distribuição das atividades ao longo do ciclo de um empreendimento (AHUJA; DOZZI; ABOURIZK, 1994).	68
Figura 29 - EAP para produção de uma casa (MATTOS, 2010).	69
Figura 30 - Exemplo de gráfico de barras (MATTOS, 2010).	71
Figura 31 - Exemplo de diagrama de rede. (MATTOS, 2010).	72
Figura 32 - Atividades apresentadas no diagrama de rede (MATTOS, 2010).....	72
Figura 33 - Exemplo de linha de balanço para obra de instalação de dutos enterrados (MATTOS, 2010).	74
Figura 34 - Exemplo de procedimento de execução pertencente ao projeto para produção de vedações verticais (elevação de alvenaria). (CHALITA, 2010). Observa-se a listagem de ferramentas e equipamentos.	80
Figura 35 - Exemplo de procedimento de execução pertencente ao projeto para produção de vedações verticais (furações em lajes para passagens hidráulicas) (CHALITA, 2010). Observa-se a sequência de execução descrita.	81
Figura 36 - Exemplo de orientação para execução de caderno de especificações e recomendações técnicas de projeto para produção - procedimentos para aplicação de telas de amarração da alvenaria (CHALITA, 2010).	82
Figura 37 - Exemplo de projeto para produção de vedações verticais - detalhamento da central de produção de peças pré-moldadas. O retângulo vermelho destaca a sequência de atividades para concretagem das peças (CHALITA, 2010).	82
Figura 38 - Exemplo de ciclo de produção que define a sequência de execução das paredes no pavimento tipo, pertencente ao projeto para produção de vedações verticais (CHALITA, 2010).	83
Figura 39 - Elementos do projeto para produção de lajes: a) sentido de concretagem em cada painel; b) posicionamento dos caminhos de concretagem (SOUZA, 1996).	84
Figura 40 - Fluxo de atividades para elaboração do Projeto do Sistema de Produção (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).	86

Figura 41 - Diagrama de rede (ou de precedência) para execução da unidade-base de um conjunto habitacional de prédios (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).	87
Figura 42 - Planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).	88
Figura 43 - Linha de balanço para execução de um bloco/ torre (unidade-base) de um conjunto habitacional de prédios (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).	89
Figura 44 - Exemplo de plano de ataque de um empreendimento (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).	90
Figura 45 - Diagrama de sincronia (ou linha de balanço) para execução de um empreendimento (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).	91
Figura 46 - Histograma de mão de obra para o empreendimento (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).	92
Figura 47 - Fluxograma operacional para montagem de painéis pré-moldados de concreto (SANTOS; HEINECK, 2006).	94
Figura 48 - Simbologia adotada no fluxograma operacional (SANTOS; HEINECK, 2006).	95
Figura 49 - Exemplo de diagrama de processo focado nas atividades de fluxo (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004).	95
Figura 50 - Exemplo de mapofluxograma (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004).	96
Figura 51 - Diagrama de processo para montagem de peça de madeira (PILCHER, 1976).	97
Figura 52 - Fluxograma de processo (NUNNALLY, 1998).	98
Figura 53 - Diagrama de fluxo (PILCHER, 1976).	99
Figura 54 - Gráfico de múltiplas atividades (NUNNALLY, 1998).	99
Figura 55 - Folha de processo (ROY; LOW; WALLER, 2005).	101
Figura 56 - Exemplo de documento de processo (ROY; LOW; WALLER, 2005).	102
Figura 57 - Estrutura hierárquica para composição de processo de construção a partir de opções de características de projeto (ROY; LOW; WALLER, 2005).	103
Figura 58 - Fluxo de atividades da metodologia para projeto e seleção de processos na construção (SERPELL; TAPIA, 2009).	107
Figura 59 - Visualização do cronograma tipo PERT no sistema CVP. Cada ícone representa uma atividade de construção (HUANG et al., 2007).	109
Figura 60 - Visualização de uma das etapas da construção no sistema CVP. Observa-se, à esquerda, o desdobramento da lista em elementos de processo, produto e recursos (HUANG et al., 2007).	110
Figura 61 - Plano de ação proposto para o M-PPC.	127

Figura 62 - Aplicação do M-PPC ao planejamento da construção do edifício ou de um subsistema específico e relação entre ambos os níveis estabelecida pela UBP.	130
Figura 63 - Folha de processo de construção (subsistema).....	131
Figura 64 - Fluxograma de processo de construção (subsistema).....	134
Figura 65 – Plano de ataque (subsistema).....	136
Figura 66 - Diagrama de rede (edifício).....	137
Figura 67 - Visão geral do processo de construção em alvenaria estrutural não armada.	141
Figura 68 - Planta de arquitetura do pavimento tipo – edifício base para exemplo do M-PPC.....	142
Figura 69 - Elevação frontal – edifício base para exemplo do M-PPC.	142
Figura 70 - Vista geral de um dos edifícios-protótipo.	143
Figura 71 - Vista geral da central de pré-moldados do empreendimento-protótipo.	143
Figura 72 - Plano de ação para planejamento dos processos de construção de um subsistema.	144
Figura 73 - Análise da planta de 1ª fiada, elevações e detalhes construtivos da alvenaria estrutural, com indicação das características do processo de construção em função das especificações de projeto.	146
Figura 74 - Elevação revisada com alteração de vergas e contravergas moldadas <i>in-loco</i> para pré-moldadas e substituição de blocos elétricos por blocos cortados com serra copo para inserção de caixinha elétrica.	147
Figura 75 - Detalhe de vergas e contravergas de concreto armado pré-moldadas.	148
Figura 76 - Alteração de posição de furo para passagem de eletroduto na fiada de respaldo, de a) furo centrado e barra de dobrada para efetuar o desvio, para b) furo excêntrico e barra de aço reta.	148
Figura 77 - Lista de materiais e componentes, necessários à produção do vedo vertical estrutural de um pavimento tipo, classificados entre produção interna e externa.....	150
Figura 78 - Serra-copo de bancada para execução de furos em canaletas com passantes para eletrodutos no canteiro de obras.....	151
Figura 79 - Vergas (maiores) e contravergas (menores) pré-moldadas na central de pré-moldados instalada no canteiro do empreendimento-protótipo.....	151
Figura 80 - Lista de blocos especiais a serem produzidos na obra, com respectivos projetos.....	152
Figura 81 - Betoneira para produção de graute sendo abastecida pela caçamba com agregados.	153
Figura 82 - Passante de PVC.....	153
Figura 83 - Representação esquemática da transferência de referências de locação utilizando equipamentos de nível a laser.....	155

Figura 84 - Elevação da alvenaria com o uso de escantilhões (a seta vermelha indica a linha de referência para alinhamento e nivelamento dos blocos).....	155
Figura 85 - Gabarito de vão de janela.	156
Figura 86 - Gabarito de vão de porta.	156
Figura 87 - Aplicação de argamassa de assentamento com bisnaga em extensão de 4 componentes (~1,20m).....	156
Figura 88 - Folha de processo de construção (continua).	157
Figura 89 - Descrição da atividade “colocação de batentes metálicos” na Folha de Processo de Construção.	159
Figura 90 - Descrição da colocação de batente metálico no procedimento de execução.	160
Figura 91 - Fluxograma de processo de construção (continua).	161
Figura 92 - Abastecimento de blocos inteiros: a) estoque de <i>pallets</i> de blocos no térreo; b) transporte de <i>pallet</i> de blocos com grua até o pavimento; c) estoque intermediário de <i>pallets</i> no pavimento.	166
Figura 93 - Montagem de gaiola de blocos especiais no térreo, próximo ao estoque de <i>pallets</i> de blocos.....	166
Figura 94 - Definição de locais para descarga de <i>pallets</i> de bloco, gaiolas de blocos especiais e argamassa de assentamento (no caixote), de acordo com a fase da elevação.	167
Figura 95 – Abastecimento de argamassa de assentamento: a) produção de argamassa em central; b) transporte de argamassa fresca na caçamba acoplada à grua; c) descarga da argamassa em caixote metálico para estoque intermediário no pavimento; d) utilização de masseira individual.	168
Figura 96 - Formas de grauteamento posicionadas (setas vermelhas).....	170
Figura 97 - Formas de grauteamento desmontadas.	170
Figura 98 - Travas e sargentos reguláveis para fixação de batentes metálicos.	170
Figura 99 - Definição de frentes de trabalho para a produção da UBP do exemplo.	172

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise do domínio das construtoras em relação às variáveis relativas ao planejamento de processos (adaptado de Serpell e Tapia (2009)).	75
Quadro 2 - Descrição das atividades da metodologia (adaptada de Serpell e Tapia (2009), somente com os elementos referentes às fases pertencentes ao planejamento de processos).	107
Quadro 3 - Correspondência entre os elementos de planejamento de processos do modelo da indústria de manufatura (referência) e dos modelos da construção de edifícios. Legenda: sim = elemento presente (no modelo da construção de edifícios); talvez = elemento presente de acordo com a descrição do modelo, mas não verificado através de exemplo; não = elemento não presente.	114
Quadro 4 - Síntese das características das ferramentas de planejamento de processos de manufatura e de construção.	118
Quadro 5 - Definição do escopo do M-PPC.	125
Quadro 6 - Detalhamento das atividades do plano de ação do M-PPC.	128
Quadro 7 - Características identificadas na análise de projetos do subsistema “vedo vertical estrutural” e impactos no planejamento do processo de construção.	145
Quadro 8 - Solicitações de alteração de projetos decorrentes da análise de projetos do subsistema “vedo vertical estrutural”, visando melhorar a construtibilidade do edifício.	147
Quadro 9 - Requisitos de construção e seus respectivos impactos no PPC para o subsistema vedo vertical estrutural.	149
Quadro 10 - Operações do processo de construção ilustradas (continua).	163

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TEMA.....	17
1.2	OBJETIVO.....	25
1.3	METODOLOGIA.....	25
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2	O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS NA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA	29
2.1	ETAPAS NECESSÁRIAS À MANUFATURA.....	29
2.2	PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE MANUFATURA.....	33
2.3	PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE MANUFATURA	37
2.4	FERRAMENTAS PARA O PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE MANUFATURA	50
3	O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	66
3.1	ETAPAS NECESSÁRIAS À CONSTRUÇÃO	66
3.2	PLANEJAMENTO TRADICIONAL DA CONSTRUÇÃO	68
3.3	PROJETO PARA PRODUÇÃO	77
3.4	PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	85
3.5	MAPEAMENTO DE PROCESSOS	93
3.6	ESTUDO DE TEMPOS E MÉTODOS	96
3.7	OUTROS MODELOS	100
3.8	SIMULAÇÃO DE PROCESSOS.....	108
4	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS NA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA E NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	112
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DOS MODELOS DE PLANEJAMENTO	112
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO	117
4.3	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	121
5	MODELO DE PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO (M-PPC)	124
5.1	ESCOPO DO M-PPC	124
5.2	PLANO DE AÇÃO DO M-PPC	126
5.3	FERRAMENTAS DO M-PPC.....	131
5.4	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O M-PPC.....	139

6	APRESENTAÇÃO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO M-PPC	141
6.1	CARACTERIZAÇÃO DO EXEMPLO	141
6.2	APLICAÇÃO DO M-PPC	143
6.3	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DO M-PPC	172
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	175
7.1	SOBRE A CONSECUÇÃO DO OBJETIVO	175
7.2	SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	175
7.3	SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS.....	177
	REFERÊNCIAS.....	180

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TEMA

1.1.1 O segmento de construção de habitações para população de baixa renda

O segmento de construção de habitações para a população de baixa renda, conhecidas também como “habitações populares” ou “habitações econômicas”, é atualmente um dos nichos de maior destaque no setor da construção civil. Esse segmento geralmente é caracterizado por um público cuja renda média situa-se entre zero e dez salários mínimos, sendo que a faixa de zero a três salários mínimos abrange a denominada “habitação de interesse social” (MEDEIROS, 2009; SENRA, 2010).

São diversos os motivos que tornam esse segmento uma oportunidade atrativa de negócio. Primeiro, existe um grande déficit habitacional concentrado na população com essa faixa de renda: das 5,6 milhões de moradias que compunham o déficit habitacional brasileiro em 2008, segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) daquele ano, 96,6% correspondiam a famílias com renda igual ou menor que cinco salários mínimos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010). Segundo, a partir do ano de 2006, houve forte incremento nos recursos direcionados ao financiamento habitacional por meio do Sistema Financeiro da Habitação (SFH), que oferece crédito a taxas baixas de juros e com longos prazos para quitação da dívida. Essas características são fundamentais para a formação do mercado de habitações voltadas à população de baixa renda, pois se trata de um bem de alto valor (DIAS; CASTELO, 2010).

Uma importante contribuição para o aumento do financiamento habitacional é o programa do Governo Federal “Minha Casa, Minha Vida”, lançado em 2009, com o objetivo de construir um milhão de moradias para famílias com renda entre zero e dez salários mínimos até o ano de 2011 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2009; MINHA..., 2010). Para isso, foram estabelecidos subsídios governamentais, taxas de juros e condições de pagamento diferenciados conforme a faixa de renda, facilitando a aquisição das habitações (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2009). Em 2011, foi lançada a segunda fase do programa, com meta de construção de mais dois milhões

de moradias até o ano de 2014 (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2010).

A Figura 1 ilustra o número de financiamentos habitacionais nos últimos anos, em que se observa um aumento gradativo a partir de 2004, evidenciando-se a contribuição do programa “Minha Casa, Minha Vida” no ano de 2009.

Figura 1 - Evolução no número de financiamentos habitacionais até 2009 (DIAS; CASTELO, 2010).

Os valores investidos continuam crescendo. Em 2010, por exemplo, a Caixa Econômica Federal totalizou R\$ 77,8 bilhões em financiamentos em termos financeiros, um aumento de 57,2% em relação ao ano anterior (FINANCIAMENTO..., 2011).

O aumento da oferta de financiamento imobiliário nos últimos anos foi acompanhado da capitalização das empresas de incorporação e construção devido às aberturas de capital dessas companhias na bolsa de valores. Isto as obrigou a diversificar sua atuação, dada a saturação do segmento de habitações voltado à população de média e alta renda e à necessidade de remunerar os investimentos, sendo o segmento de construção de habitações para a população de baixa renda um dos seus principais alvos (MEDEIROS, 2009).

Assim, muitas incorporadoras e construtoras, usualmente com foco em outros mercados, abriram novas empresas e definiram novas marcas visando a esse

segmento. Por sua vez, as que nele já atuavam intensificaram suas atividades (EMPRESAS..., 2010).

Apesar de existirem elementos favoráveis à atuação nesse segmento, para que se tenha sucesso, é necessário que se considerem suas características específicas, as quais são abordadas na sequência.

1.1.2 Características do segmento de construção de habitações para população de baixa renda

São distintas as características da construção de habitações voltada ao segmento de baixa renda em relação às do mercado de maior poder aquisitivo. O custo da unidade habitacional deve ser baixo, tanto quando o empreendimento é contratado pela Caixa Econômica Federal (para famílias de menor renda, usualmente até três salários mínimos), que estabelece um preço fechado para a unidade; quanto nos casos de venda direta para o mercado, pois as linhas de financiamento voltadas a esse público também possuem limites para o valor do imóvel a ser financiado (LEAL, 2010; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). Por isso, é comum que as habitações desse segmento tenham área reduzida (respeitando-se as restrições impostas por códigos de obras e demais legislações) de modo a reduzir o preço total da unidade; além de um padrão de acabamento mais simples que reduza o custo de construção (LOTURCO, 2007; MARCHI, 2008; VERONEZI; LIMA JR., 2007).

Dado que o preço das habitações é fixado pelo mercado em patamares baixos e que há limite para redução do custo de construção, as margens de lucro praticadas são menores. Dessa forma, para aumentar o lucro absoluto das empresas, torna-se necessária a realização de empreendimentos de grande escala (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; LIZARRALDE; ROOT, 2008; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006) (Figura 2). O grande volume de produção dá mais argumentos para a negociação com fornecedores, aumentando o poder de barganha do construtor na aquisição dos recursos necessários à produção (LEAL, 2010). Empreendimentos com muitas unidades permitem ainda diluir os investimentos de implantação de equipamentos de lazer e até mesmo de itens de infraestrutura urbana nos condomínios, além de reduzir os custos condominiais, requisito importante para o cliente final de baixa renda (LOTURCO, 2007; MARCHI, 2008).

Figura 2 - Empreendimento habitacional de grande escala voltado ao mercado de baixa renda (OLIVEIRA; LIMA, 2009).

Os ganhos de escala decorrentes do grande volume de produção são potencializados pela repetibilidade, ou seja, a padronização de parte do produto ou mesmo da unidade habitacional completa (AHADZIE; PROVERBS; OLOMOLAIYE, 2008; FARIA, 2008) (Figura 3). A padronização das unidades habitacionais pode ser aplicada tanto a um único empreendimento, quanto a empreendimentos distintos, permitindo, no último caso, economia no custo de projetos, pela sua “reutilização” (MARCHI, 2008). Com isso, reduz-se também o tempo da etapa de projetos, o que permite acelerar o processo de aprovação de novos empreendimentos junto aos órgãos governamentais e financiadores (LEAL, 2010). A padronização do produto também acelera e simplifica a elaboração do orçamento e do planejamento da obra, além de permitir que lições aprendidas em empreendimentos realizados sejam utilizadas na formatação de empreendimentos futuros, possibilitando ajustes nos projetos e processos da empresa visando à sua otimização (AHADZIE; PROVERBS; OLOMOLAIYE, 2008; MARCHI, 2008). Apesar das vantagens que a produção seriada pode representar sob o ponto de vista de viabilização de empreendimentos voltados ao público de baixa renda, existem críticas em relação ao seu emprego, pois grandes conjuntos habitacionais compostos por unidades idênticas, sem um adequado projeto urbanístico, podem gerar monotonia na paisagem e levar à degradação social da região (KELLETT, 1993).

Figura 3 - Edifícios padronizados em empreendimento habitacional voltado ao mercado de baixa renda (LIVING CONSTRUTORA, 2012).

Outro requisito importante para viabilizar a atuação de empresas nesse segmento é ter alta produtividade nos processos de produção, o qual decorre de dois fatores: alto custo da mão de obra e necessidade de prazo reduzido para execução do empreendimento (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004). O cenário atual é de grande escassez de mão de obra, gerando alta significativa no custo desse recurso (CASTELO; HENRIQUES; GARCIA, 2011; TAMAKI; ROCHA, 2010). No que diz respeito ao prazo de execução da obra, é necessário comprimi-lo para reduzir custos indiretos e aumentar o giro do capital, permitindo às empresas realizarem investimentos em outros empreendimentos e, por consequência, aumentarem sua escala de produção (FORMOSO, 2009). Em alguns casos, os órgãos financiadores exigem que a obra tenha prazo de execução curto para que os futuros moradores possam usufruir rapidamente do imóvel, sem comprometer sua renda com pagamento simultâneo do financiamento e do aluguel da sua moradia, o que aumentaria o risco de inadimplência (MARCHI, 2008; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). Outro motivo pelo qual obras longas são indesejadas é que elas embutem maior risco, pois expõem o empreendimento a flutuações de mercado (LEAL, 2010).

É necessário também que a gestão da produção seja conduzida de tal forma que evite a ocorrência de desvios na obra em relação ao projetado e planejado para a produção, o que geraria custos adicionais que reduziriam a apertada margem de lucro praticada no segmento (LOTURCO, 2007). Além disso, a grande escala dos empreendimentos pode fazer com que esses desvios sejam multiplicados, o que impõe uma responsabilidade ainda maior sobre a gestão da execução dessas obras (AHADZIE; PROVERBS; OLOMOLAIYE, 2008; FORMOSO, 2009). Essa

consideração é válida não somente para desvios de prazo e custo, como também de qualidade das obras executadas, pois as margens reduzidas não permitem cobrir custos altos de assistência técnica em caso de patologia (LIMA, 2009).

1.1.3 A necessidade de industrialização da construção e do planejamento de processos

As características do segmento de construção habitacional para a população de baixa renda – grandes empreendimentos, produção em larga escala, necessidade de alta produtividade e controle da produção – são incompatíveis com a construção tradicional, a qual exhibe baixos níveis de produtividade e uso intensivo de recursos, atualmente escassos no mercado. Sendo assim, a industrialização da construção desponta como estratégia de competição adequada para atuação neste segmento (BARROS; CARDOSO, 2011; SILVA, 2010).

O conceito de industrialização da construção abrange diversos aspectos. Blachère (1970) associa a industrialização com a eliminação do caráter artesanal da construção, substituindo “mestres” experientes por operários treinados e especializados em determinadas funções estabelecidas pela Engenharia. A redução da dependência de mão de obra pode ser atingida ainda pela mecanização ou mesmo pela automação das atividades de produção, estratégias que também contribuem para o aumento da produtividade (BRUNA, 1976; GIRMSCHEID, 2005). Outro importante componente atribuído à industrialização da construção consiste no uso de elementos pré-fabricados, reduzindo as operações a serem feitas no canteiro de obras a atividades de montagem e acoplamento e transferindo operações mais complexas para ambientes fabris, que podem ser mais facilmente controlados (GIRMSCHEID, 2005; TRIEBEL, 1961).

Entretanto, a industrialização da construção não se restringe a aspectos relativos à tecnologia de construção (Figura 4 e Figura 5). É necessário também que a produção seja guiada pelos conceitos de organização e racionalização que embasam a produção industrial (BRUNA, 1976; SABBATINI, 1989). Bruna (19--), por exemplo, afirma que industrializar significa planejar e organizar os fatores de produção, em todos os níveis do processo, visando eliminar a casualidade das decisões e incrementar a produtividade. Sabbatini (1989), por sua vez, propõe uma

definição para industrialização da construção que engloba todos os aspectos antes apresentados e que, portanto, será utilizada como referência no presente trabalho:

Industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Figura 4 - Edifício em construção com painéis de concreto pré-moldados (TAMAKI; ROCHA, 2010).

Figura 5 - Edifício em construção com paredes de concreto moldadas no local com uso de formas metálicas (TAMAKI; ROCHA, 2010).

Dentre os aspectos relativos à gestão necessários à industrialização da construção, destaca-se, neste trabalho, o planejamento dos processos de produção, uma vez que a definição clara e precisa de processos provê a base para a melhoria da eficiência e da qualidade que resultam em uma produção competitiva (NIEBEL; DRAPER; WYSK, 1989).

Os processos de manufatura são definidos como sendo compostos por operações de transformação, que empregam energia para alterar a forma, propriedades físicas ou a aparência de um material; além de operações de montagem, visando à manufatura de um produto ou de um componente (EARY; JOHNSON, 1962; GROOVER, 1996). Similarmente, neste trabalho, o termo “processo de construção” será entendido como o conjunto de operações físicas – relacionadas entre si por sequência e lógica definidas pela tecnologia construtiva empregada – necessário para a consecução de uma determinada parte da edificação (HALPIN; RIGGS, 1992).

Na indústria manufatureira, que possui um alto nível de industrialização, o planejamento dos processos de manufatura envolve as atividades de: seleção do processo a ser utilizado na manufatura de cada componente; definição detalhada da

sequência de operações do processo; especificação dos equipamentos, ferramentas e demais recursos necessários à produção; e estabelecimento dos parâmetros operacionais (exemplo: tempo de cada operação) (CHANG, 1992; CHRYSSOLOURIS, 2006; HALEVI; WEILL, 1995; MEYERS; STEPHENS, 2005). Ou seja, para que se atinjam níveis de organização industrial similares aos apresentados pela manufatura, o planejamento de processos de construção deve contemplar as mesmas atividades (ROY; LOW; WALLER, 2005).

No entanto, o planejamento tradicional da construção de edifícios exhibe diferenças importantes em relação ao planejamento de processos praticado pela indústria manufatureira. Devido ao caráter único dos empreendimentos e temporário dos sistemas de produção configurados para sua construção, a construção é planejada com muito menos detalhes do que a manufatura na indústria. Consequentemente, deixam-se muitas decisões a encargo da obra, contando com a experiência de profissionais como o engenheiro residente e o mestre de obras (FABRÍCIO; MELHADO, 1998; KEHL, 1997; TAUKE, 2000); de agentes da produção direta (encarregados e oficiais); ou até mesmo de fornecedores, sejam eles especializados ou não. A documentação sobre os processos de construção é mais singela, pois não há preocupação com o registro de informações para que se possam extrair lições aprendidas para os próximos empreendimentos, pois se admite que as características não se repetem de um empreendimento para outro (ROY; LOW; WALLER, 2005). Além disso, os modelos de planejamento aplicados são mais voltados ao gerenciamento de empreendimentos e gestão de contratos (*project management*) do que ao planejamento de processos e gestão da produção (*process planning*) e à sua otimização (KIRSCH, 2008).

Observa-se, pois, que não há modelos consolidados para o planejamento de processos na construção habitacional, sobretudo quando se deve produzir em alta escala e com prazo e custo reduzidos. Por isso e considerando-se as exigências da produção industrializada em larga escala de edificações habitacionais voltadas à população de baixa renda, é que se propõe o presente trabalho com foco no planejamento de processos de construção.

1.2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é *propor um modelo para o planejamento de processos de construção para a produção industrializada de edifícios habitacionais, compreendendo o plano de ação e as ferramentas necessários para sua implantação.*

1.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho encontra-se sintetizada na Figura 6.

Figura 6 - Síntese da metodologia.

O trabalho foi iniciado por uma revisão bibliográfica sobre o segmento de construção de edificações habitacionais voltadas ao público de baixa renda, com o objetivo de caracterizá-lo. Tal caracterização possibilitou a identificação da necessidade de: produção em larga escala; da industrialização da construção e do planejamento dos processos de construção. As principais referências utilizadas foram periódicos setoriais (Construção Mercado, Técnica e Conjuntura da Construção) publicados entre 2007 e 2011. Foram consultadas também publicações dessa mesma época de instituições relacionadas a esse segmento (Ministério das Cidades, Caixa Econômica Federal); bem como alguns artigos científicos nacionais e internacionais

sobre o assunto, publicados entre 2004 e 2008. Para o esclarecimento do conceito de industrialização da construção, foram consultadas publicações de referência sobre o tema.

O desenvolvimento da base para a proposição do modelo de planejamento de processos foi a etapa seguinte e considerou dois cenários distintos: o planejamento de processos na indústria manufatureira e na indústria da construção de edifícios. A pesquisa sobre a manufatura teve como objetivo conhecer o planejamento de processos que nela se encontra consolidado; enquanto na construção de edifícios buscou-se levantar modelos que propusessem abordagens diferentes da prática tradicional de planejamento das atividades de construção, representando assim o estado da arte dessa temática no setor. Essa estratégia foi escolhida para que o modelo proposto refletisse a maneira pela qual a indústria realiza o planejamento de seus processos de manufatura, como também contivesse elementos que permitissem respeitar as particularidades do setor da construção de edifícios.

Para caracterizar esses dois cenários, optou-se pela realização de uma ampla revisão bibliográfica. No caso da indústria manufatureira, como o objetivo da revisão foi caracterizar o modelo consolidado de planejamento de processos (sem, no entanto, deixar de lado o levantamento de abordagens mais recentes e das tendências no que diz respeito a esse assunto), a pesquisa baseou-se em livros sobre Engenharia de Produção, Engenharia de Manufatura e Planejamento de Processos (publicados entre 1955 e 2006), por se entender que esse veículo possibilita a construção do conhecimento fundamental e consolidado a respeito do assunto pesquisado.

No âmbito da construção de edifícios, dado que o objetivo da revisão foi caracterizar o estado da arte em planejamento de processos, as fontes de pesquisa foram predominantemente artigos de periódicos e eventos científicos (nacionais e internacionais) e dissertações, tendo sido utilizados livros somente quando continham tópicos específicos e também para a caracterização do planejamento tradicional na construção. As fontes consultadas foram publicadas entre 1994 e 2011 (artigos e dissertações) e entre 1976 e 2010 (livros).

Em ambos os casos (indústria manufatureira e construção de edifícios), a revisão da literatura sobre o planejamento de processos teve como objetivo reunir informações de modo a responder as seguintes questões:

- Como o planejamento de processos se insere no ciclo de desenvolvimento do produto ou do empreendimento?
- Quais atividades fazem parte do planejamento de processos?
- Quais informações são necessárias ao planejamento de processos?
- Quais informações resultam do planejamento de processos?
- Quais ferramentas são utilizadas para o planejamento de processos e para sua documentação?
- Quem é o responsável pelo planejamento de processos?

Após a síntese do levantamento dos dados da literatura, foi conduzida uma análise comparativa entre os elementos de planejamento encontrados, visando identificar similaridades, diferenças (justificáveis ou não), pontos positivos e negativos de cada uma das abordagens, de modo a formar a base para a construção do modelo de planejamento de processos. Duas comparações principais foram feitas, uma entre o conteúdo e outra entre as ferramentas dos modelos de planejamento de processos. Analisaram-se também os fluxos de atividade sugeridos para a realização do planejamento de processos em ambas as situações.

Com base nos elementos extraídos da análise comparativa, elaborou-se o Modelo de Planejamento de Processos de Construção (M-PPC), objetivo principal deste trabalho. O modelo inclui: um plano de ação, constituído das principais atividades de planejamento adequadamente ordenadas para obtenção de um processo de construção bem definido; e as ferramentas necessárias ao registro do planejamento, para as quais são sugeridos o conteúdo e o formato. Discute-se ainda o escopo do M-PPC, bem como recomendações que podem facilitar a sua implantação em empresas.

Para possibilitar uma melhor compreensão da proposta do M-PPC, elaborou-se um exemplo de sua aplicação referente ao planejamento do processo de construção do subsistema vedado vertical estrutural de um edifício de múltiplos pavimentos, em alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto. Ilustrou-se a aplicação do plano de ação, descrevendo-se cada uma das atividades de planejamento, bem como a representação do planejamento do processo nas ferramentas propostas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é constituído por sete capítulos, sendo este o capítulo 1, em que se apresenta a introdução do trabalho, contendo uma caracterização do setor de baixa renda, os fatores que o tornam atrativo para o mercado e as características específicas de seus empreendimentos. Apresenta também os motivos que tornam necessária a industrialização da construção nesse segmento, bem como a importância da realização do planejamento dos processos de construção. Formula-se o objetivo do trabalho e descreve-se a metodologia para sua consecução, apresentando-se, também, a sua estruturação.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre o planejamento de processos na indústria manufatureira; enquanto o capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica sobre o planejamento de processos no setor da construção de edifícios. O capítulo 4 apresenta a análise comparativa entre os elementos identificados nos dois capítulos precedentes.

O capítulo 5 apresenta o Modelo de Planejamento de Processos de Construção (M-PPC), incluindo a definição do escopo, o plano de ação e as ferramentas que o constituem.

O capítulo 6 expõe um exemplo de aplicação do modelo proposto, para permitir seu melhor entendimento e visualização.

O capítulo 7 contém as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras. Por fim, são apresentadas as referências que embasaram o desenvolvimento deste trabalho.

2 O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS NA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA

“Manufatura” é uma palavra derivada do latim *manu factus*, que significa “feito à mão” (Kalpakjian; Schmid, 2006). No contexto industrial, a manufatura pode ser definida como “o processo de conversão de matérias-primas em hardware, ou seja, em produtos e seus componentes” (LUDEMA et al., 1987). De forma mais detalhada, Hitomi (1979) define a manufatura como “a transformação de materiais em produtos através de uma série de aplicações de energia, em que cada qual causa mudanças bem definidas nas propriedades físicas ou químicas dos materiais”. Groover (1996), por sua vez, a define como:

A aplicação de processos físicos e químicos para alterar a geometria, propriedades e/ou aparência de um material de início para fazer componentes ou produtos; manufatura também inclui a montagem de partes múltiplas para fazer produtos.

Como esta última definição é a mais abrangente, incluindo processos de montagem no escopo da manufatura, ela será adotada como referência no presente trabalho.

Nesse capítulo serão apresentadas as principais atividades necessárias à manufatura de um produto (item 2.1), destacando-se entre elas a de planejamento do sistema de manufatura (item 2.2) que, por sua vez, é constituída de outras atividades, dentre as quais será analisada especificamente a de planejamento de processos de manufatura (item 2.3) e suas ferramentas (item 2.4), cujo entendimento é o principal objetivo da revisão bibliográfica, como destacado na metodologia deste trabalho (item 1.3).

2.1 ETAPAS NECESSÁRIAS À MANUFATURA

Para que se desenvolva e produza um produto no âmbito da indústria, são necessárias diversas atividades, ilustradas na Figura 7 e caracterizadas na sequência.

Figura 7 - Principais atividades necessárias para a manufatura de um produto e áreas envolvidas (adaptado de Hitomi, 1979).

Diversas áreas são envolvidas nessa sequência de atividades: o projeto do produto é feito pela Engenharia de Produto, também conhecida como Engenharia de Projeto ou Engenharia de Desenvolvimento de Produto (VERNON, 1969); o planejamento do sistema de manufatura é feito pela Engenharia Industrial, que também pode ser denominada de Engenharia de Produção (KRICK, 1962; NADLER, 1992); a programação, acompanhamento e controle da produção são feitos pelo Planejamento e Controle de Produção (PCP) (GROOVER, 1996); e a produção propriamente dita é feita por uma área chamada Manufatura ou Produção (VERNON, 1969).

Uma vez tendo-se definido a necessidade de um produto, a primeira atividade consiste na elaboração do projeto do produto, que envolve a definição completa do que deverá ser produzido, de modo a atender aos requisitos de funcionalidade, custo e qualidade previamente estabelecidos (EARY; JOHNSON, 1962; HALEVI; WEILL, 1995). Pode consistir no projeto de produtos completamente novos ou de melhoria de produtos existentes. Principalmente no caso de produtos novos, podem ser necessárias atividades de pesquisa e desenvolvimento e elaboração de modelos e protótipos para testes funcionais (GURGEL, 1997; HITOMI, 1979). Dessa atividade devem resultar os projetos técnicos do produto e de seus componentes; as especificações técnicas, inclusive tolerâncias de fabricação e requisitos de

qualidade; e as listas de materiais especificados para a manufatura do produto (GURGEL, 1997; HALEVI; WEILL, 1995; PLOSSL, 1987; VERNON, 1969).

Uma vez especificado o produto, a próxima atividade consiste no planejamento do sistema de manufatura, que envolve a definição de uma combinação de *hardware* (operários, instalações de produção, equipamentos, etc.) e *software* (método de produção, tecnologia e fluxo de informações) para a produção de um determinado bem ou componente (CHRYSSOLOURIS, 2006; HITOMI, 1979). Nesse momento, define-se como o produto será produzido, envolvendo aspectos relativos à própria planta industrial (denominada frequentemente somente como “planta”) e à cadeia de suprimentos (*supply chain*), e todos os recursos necessários para que a produção ocorra (PLOSSL, 1987). Para tanto, engloba as seguintes atividades: definição dos processos de manufatura; especificação dos respectivos equipamentos e ferramentas; planejamento do *layout* da planta e da movimentação de materiais; elaboração do projeto da fábrica e da infraestrutura necessária; e preparação dos planos de controle da manufatura, como, por exemplo, plano de controle de qualidade (GROOVER, 1996; HITOMI, 1979; LUDEMA et al., 1987; WALKER; BOOTHROYD, 1996).

Definido como o produto será manufaturado, é possível avançar para a programação da produção. As principais atividades que a compõem são: a programação da produção no tempo; a programação de aquisição de materiais, equipamentos, ferramentas e demais insumos que sejam necessários à produção; e a resolução de problemas logísticos de modo a garantir o abastecimento da linha de produção, além da elaboração das programações de curto prazo e liberação de ordens de produção (CIMORELLI; CHANDLER, 1996; GROOVER, 1996).

A próxima atividade é a produção do produto em si e, paralelamente, o controle da produção, que consiste no monitoramento de indicadores para aferir o desempenho do processo e fazer a sua gestão. Ressalta-se que é frequente a produção em escala ser precedida por etapas-piloto (protótipos de fabricação), de modo que sejam efetuados ajustes no processo enquanto a produção ocorre em caráter experimental (CIMORELLI; CHANDLER, 1996).

A sequência apresentada na Figura 7 representa, de forma simplificada, a abordagem tradicional da indústria manufatureira e é útil para a compreensão do escopo de cada uma das atividades pertencentes ao processo completo de

manufatura de um produto; no entanto, esta não é a maneira como a produção industrial tem sido conduzida atualmente (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006). Essa forma de encadear as atividades embute um problema significativo: o projeto do produto é feito pela Engenharia de Produto e as demais áreas são envolvidas somente após sua realização; entretanto, diversas decisões que lhes competem têm impacto sobre o projeto, gerando um grande número de solicitações de revisão, o que, por sua vez, implica um maior tempo de desenvolvimento do projeto (devido aos ajustes necessários) e maior custo deste processo como um todo (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006).

Para tornar o processo de desenvolvimento do produto mais eficiente e econômico e diminuir o tempo de introdução do produto no mercado, surgiu a Engenharia Simultânea, definida por Syan (1994) como “uma abordagem sistemática para o projeto integrado e simultâneo de produtos e seus respectivos processos, incluindo manufatura e suporte”. A Engenharia Simultânea consiste em envolver todas as áreas que possam influenciar no projeto do produto desde o início, desenvolvendo suas atividades de forma paralela e não sequencial, sendo as principais áreas, além da Engenharia do Produto: Engenharia de Manufatura, Planejamento e Controle, Manufatura/Produção, Engenharia de Qualidade, Marketing e Vendas, ou, ainda, outras especialidades conforme a necessidade (HALEVI; WEILL, 1995; WALKER, BOOTHROYD, 1996).

Considerando-se a abordagem da Engenharia Simultânea, o encadeamento de atividades apresentado na Figura 7 seria alterado para uma configuração em que as atividades prévias à produção são executadas de forma paralela (Figura 8).

Figura 8 - Sequenciamento das atividades necessárias à manufatura de acordo com a abordagem da Engenharia Simultânea.

Destaca-se que cada uma das cinco atividades apresentadas pode ser desdobrada em diversas outras, em função da complexidade da produção, da organização em que ela ocorre e dos objetivos da análise. Analogamente, as áreas responsáveis também foram apresentadas de forma ampla e seria possível desdobrá-las em subáreas ou especialidades. Como o objetivo do presente capítulo é analisar especificamente o planejamento de processos de manufatura na indústria, no item 2.2 será detalhada a atividade de “planejamento do sistema de manufatura”.

2.2 PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE MANUFATURA

De acordo com a caracterização apresentada no item 2.1, o planejamento do sistema de manufatura envolve diferentes atividades e distintas áreas da empresa, cujas relações são ilustradas na Figura 9, construída com base em Chryssolouris (2006), Ludema et al. (1987), Mathewson (1956) e Vernon (1969).

Figura 9 - Atividades que compõem o planejamento do sistema de manufatura e áreas da Engenharia Industrial responsáveis pela sua realização.

O planejamento dos processos de manufatura tem como objetivo estabelecer a sequência de operações de processamento e montagem para converter um determinado material ou componente da sua forma inicial à forma final estabelecida no projeto de Engenharia; bem como estabelecer os parâmetros dos processos de manufatura (ex.: velocidade de processamento) e especificar os equipamentos e ferramentas necessários (CHANG, 1992; CHRYSSOLOURIS, 2006; HALEVI; WEILL, 1995). Segundo Chang (1992), trata-se da ligação crítica entre as fases de projeto e de manufatura propriamente dita. Essa atividade é desenvolvida por uma área da Engenharia Industrial chamada Engenharia de Manufatura ou Engenharia de Processos (CHANG, 1992; MATHEWSON, 1956). Como a compreensão dessa atividade é o principal objetivo desta parte da revisão bibliográfica, ela será detalhada no item 2.3.

O estudo de tempos e métodos, por sua vez, tem como objetivo estabelecer métodos padronizados para processos que empregam trabalho humano (no caso de

processos automatizados, o método é imposto pelo funcionamento do equipamento) e medir o tempo necessário para executar cada uma das operações do método em questão (RODGERS, 1956). A padronização de métodos envolve o estudo detalhado das operações e de seu sequenciamento; dos materiais e de seu fluxo; das ferramentas e dos equipamentos utilizados; do *layout* da estação de trabalho e dos movimentos do operador (empregando conceitos de ergonomia), de modo a estabelecer a forma de trabalho que obtenha resultado produtivo máximo com um mínimo de fadiga (GURGEL, 1997; KRICK, 1962; WALKER et al., 1996). Tendo-se o método de trabalho padronizado, faz-se a medição do tempo de execução da operação – este dado pode ser usado para programação da produção, cálculo do custo de mão de obra, estabelecimento de metas de desempenho para o pessoal, entre outros. O estudo de métodos é empregado com frequência também para análise de operações já existentes, procurando oportunidades de melhoria e otimização (KADOTA; SAKAMOTO, 1992). Esta atividade é de responsabilidade de uma área denominada Engenharia de Métodos (KRICK, 1962; RODGERS, 1956).

Entretanto, este tipo de estudo somente se justifica para operações que apresentem extensivo uso de mão de obra, ciclos de produção curtos, alta repetitividade e que sejam empregadas por um tempo que justifique o investimento em sua análise detalhada (FRANCISCHINI, 1997; KADOTA; SAKAMOTO, 1992). Além disso, pode-se afirmar que o estudo de tempos e métodos está cada vez mais se tornando obsoleto, pois há uma tendência de se enfatizar o envolvimento e a motivação do operário e o emprego de equipes autocontroladas, transferindo grande parte da definição do método para o próprio operário que irá realizar a tarefa e especificando as operações em um nível mais macro (GROOVER, 1996; KADOTA; SAKAMOTO, 1992).

Outra atividade que faz parte do planejamento do sistema de manufatura é o projeto de equipamentos e ferramentas. Segundo Eary e Johnson (1962), equipamentos ou máquinas são dispositivos movidos a algum tipo de energia, utilizados no processamento ou na movimentação de materiais e componentes; e ferramentas são dispositivos usados para adaptar os equipamentos à produção de um determinado componente (incluem suportes, fôrmas, matrizes, etc.). Embora a especificação destes insumos seja escopo do planejamento do processo, no caso de equipamentos especiais (não disponíveis no mercado), faz-se necessário projetá-

los, atividade exercida por uma área usualmente denominada Engenharia de Equipamentos ou Projeto de Equipamentos (GROOVER, 1996; MUTTER, 1996).

O planejamento da movimentação de materiais é um componente fundamental do planejamento do sistema de manufatura e pode ser definido como a função de mover “o material certo, para o local correto, no tempo e quantidade estipulados, na sequência e condição adequadas, de modo a minimizar custos de produção” (MEYERS; STEPHENS, 2005). Envolve a análise de fluxos de materiais, a especificação dos equipamentos de transporte e das condições de estoque, além da definição dos sistemas de controle de materiais (localização de componentes, controle de estoques, sistemas de identificação, entre outros). Essa atividade é realizada pela Engenharia de Planta (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006; MEYERS; STEPHENS, 2005).

A Engenharia de Planta exerce também duas outras atividades: o planejamento do *layout* da planta e o projeto da fábrica. O *layout* é o arranjo físico das instalações industriais e inclui os espaços para equipamentos e pessoal envolvidos na operação, bem como para movimentação de materiais, estoque, trabalhadores indiretos e todas as outras atividades de suporte e serviços (alimentação, vestiários, ambulatório, etc.), e deve ser pensado para permitir a maior eficiência na combinação de recursos (MUTHER, 1956; TOMPKINS, 1992). Para propor o *layout*, a Engenharia de Planta faz uso dos dados do planejamento do processo e da movimentação de materiais para definir os fluxos, a disposição de equipamentos e estações de trabalho e a necessidade de espaço para cada um destes itens; além de levar em consideração a disponibilidade de espaço e recursos na fábrica, caso esta já exista (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006; MEYERS; STEPHENS, 2005; PLOSSL, 1987).

O planejamento do *layout* de planta, por sua vez, subsidiará a elaboração do projeto da planta ou do projeto da fábrica, que, além do local de cada equipamento e da distribuição de dispositivos, estoques e instalações, envolve: a determinação dos requisitos de infraestrutura (água, energia, iluminação, gás, combustíveis, etc.); a especificação de requisitos construtivos (por exemplo, bases de equipamentos sujeitos a altos níveis de vibração); a definição da implantação da fábrica e dos requisitos da edificação que a abrigará; entre outros. Estas atividades se aplicam

tanto ao projeto de novas instalações fabris, como a adaptações em instalações existentes (MEYERS; STEPHENS, 2005; PLOSSL, 1987).

Também faz parte do planejamento do sistema de manufatura a definição dos sistemas de controle da manufatura (NADLER, 1992). Uma das atividades mais importantes desta etapa é o planejamento do controle de qualidade da produção, feito pela Engenharia de Qualidade, que envolve a preparação dos planos de inspeção para recebimento de insumos externos e controle da qualidade na produção; o planejamento do controle estatístico de qualidade no processo; o estabelecimento de procedimentos de ensaio; a seleção dos equipamentos de medição; etc. (LINTS, 1996; VERNON, 1969). Além disso, são necessários sistemas de controle da movimentação de materiais, de estoques, das condições de processamento, de produtividade, entre outros, elaborados, em grande parte, pela Engenharia de Sistemas (NADLER, 1992).

A seguir, o planejamento de processos de manufatura será detalhado.

2.3 PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE MANUFATURA

No início da produção industrial, a função de determinar “como produzir” era atribuída a encarregados ou mestres de produção, pois eram as pessoas dentro da organização que detinham o conhecimento do processo de manufatura. Com o avanço da industrialização, que trouxe o ganho de escala na produção e a especialização de tarefas, esta função passou a ser feita por técnicos: orçamentistas, analistas de métodos, projetistas de equipamentos ou engenheiros diretamente responsáveis pela produção. Por fim, o planejamento dos processos de manufatura tornou-se uma atividade tão importante que se criou uma nova especialidade para exercê-la: a Engenharia de Manufatura ou Engenharia de Processos (GRASS, 1956). Por este motivo, a descrição das atividades pertencentes à atividade de planejamento dos processos de manufatura e a descrição do escopo da área de Engenharia de Manufatura podem ser consideradas equivalentes.

O planejamento dos processos de manufatura consiste, basicamente, em definir como o produto será manufaturado, o que inclui o fornecimento das seguintes informações específicas como saídas deste processo de planejamento (CHANG, 1992; HALEVI; WEILL, 1995; MEYERS; STEPHENS, 2005):

- processo de manufatura selecionado;
- sequência de atividades para o processo de manufatura em questão;
- especificação das condições das matérias-primas utilizadas;
- especificação dos equipamentos e ferramentas necessários;
- especificação dos parâmetros de operação (ex.: configuração de equipamentos, tempos de processamento).

Para se chegar a essas informações, é necessário desenvolver uma série de atividades adequadamente ordenadas, de modo a se obter uma manufatura eficiente e que atenda aos objetivos estipulados. Essas atividades são apresentadas de forma sintética na Figura 10 (construída com base em CHANG (1992)) e serão detalhadas nos itens a seguir (CHANG, 1992; GOMES, 2010).

Figura 10 - Fluxo de atividades que constituem o planejamento dos processos de manufatura.

2.3.1 Análise do projeto do produto

Para se definir os processos de manufatura e seus parâmetros, é importante que, primeiro, sejam conhecidos o produto a ser manufaturado e o desempenho dele esperado, motivo pelo qual o ponto de partida do planejamento do processo de manufatura é a análise do projeto do produto (CHANG, 1992; KALPAKJIAN;

SCHMID, 2006). Para isso, devem ser fornecidos à Engenharia de Manufatura os seguintes documentos (MEYERS; STEPHENS, 2005):

- projeto de cada componente do produto;
- projeto de montagem do produto;
- vistas explodidas da montagem do produto (facilitam a visualização da sequência de montagem (Figura 11);
- lista de materiais.

Figura 11 - Exemplo de vista explodida para montagem de produtos (WALKER, 1996).

A análise do projeto tem como objetivo identificar os seguintes elementos a respeito do produto que subsidiam a escolha de processos de manufatura (CHANG, 1992; CHRYSSOLOURIS, 2006; HALEVI; WEILL, 1995):

- configuração geral dos componentes (dimensões e formas);
- materiais e componentes que constituem o produto;
- especificações técnicas, tais como tratamentos superficiais e acabamentos;
- especificações de tolerâncias dimensionais.

Além disso, ao analisar o projeto, o responsável pelo planejamento do processo deve ter uma visão crítica e avaliar sua manufaturabilidade, ou seja, a facilidade que o produto apresenta de ser produzido empregando-se processos existentes, pois isso influenciará diretamente na escolha dos processos de manufatura e, conseqüentemente, no custo de produção (CHRYSSOLOURIS, 2006; PLOSSL, 1987). Eventualmente, após essa análise, a Engenharia de Manufatura pode solicitar a revisão do projeto do produto, de modo a torná-lo mais adequado aos meios de produção disponíveis (CHRYSSOLOURIS, 2006; EARY; JOHNSON, 1962; GURGEL, 1997; VERNON, 1969). Um exemplo desse tipo de revisão de projeto, aplicado ao processo de montagem de um produto, é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Desenho de montagem de um controle: a) antes da análise de manufaturabilidade; b) após a análise de manufaturabilidade. Observa-se que a segunda montagem é muito mais simples (WALKER; BOOTHROYD, 1996).

A condição ideal, no entanto, é que o produto seja concebido de forma que já tenha boa manufaturabilidade. Trata-se de uma filosofia de desenvolvimento do projeto do produto, denominada “Projeto para Manufatura” ou “Projeto para Manufatura e Montagem” (em inglês, *Design for Manufacturing* – DFM ou *Design for Manufacturing and Assembly* – DFMA, respectivamente) (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006). É uma forma mais eficaz de se elaborar o projeto do produto, pois é no projeto que se definem os materiais, componentes, superfícies e tolerâncias e, por consequência, os processos e métodos de montagem. Portanto, é nesse momento que se

consegue promover as mudanças com maior potencial de melhoria da produção e de redução de custos (SYAN; SWIFT, 1994). Além disso, é também uma postura mais eficiente, porque não aguarda a conclusão do projeto do produto para então tentar torná-lo manufaturável. Isso reduz o número de solicitações de revisão de projeto e, por consequência, o tempo para sua finalização (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006; PLOSSL, 1987). Groover (1996) cita os seguintes benefícios de se praticar a filosofia de Projeto para Manufatura:

- menor tempo para levar o produto ao mercado;
- transição mais suave do projeto para a produção;
- menor número de componentes no produto final;
- montagem mais fácil;
- menores custos de produção;
- maior qualidade de produção;
- maior satisfação do cliente.

Ou seja, a prática do Projeto para Manufatura pode resultar em benefício ao planejamento do processo. Entretanto, para que isso seja possível, é necessário que a Engenharia de Manufatura se envolva na realização do projeto do produto, pois a Engenharia de Produto normalmente não dispõe de todo o conhecimento a respeito dos processos de manufatura para considerá-los em projeto – a não ser que existam pessoas desse departamento especialmente capacitadas para essa análise (GROOVER, 1996; HALEVI; WEILL, 1995). Observa-se, portanto, que a implantação da filosofia de “Projeto para Manufatura” pressupõe a existência de um ambiente de Engenharia Simultânea (Figura 8).

2.3.2 Análise dos requisitos de produção

Para a definição dos processos de manufatura, além do conhecimento das características do produto obtido da análise do projeto, é necessário buscar informações complementares sobre a produção, tais como (CHANG, 1992; CHRYSSOLOURIS, 2006; KALPAKJIAN; SCHMID, 2006):

- volume de produção requerido e/ou tamanho do lote de produção;
- taxa de produção estipulada (ex.: unidades/dia);
- disponibilidade de equipamentos e ferramentas (para plantas existentes);

- capacidade dos equipamentos e ferramentas disponíveis (para plantas existentes).

Esses dados são tão importantes quanto as características do produto para a seleção de processos de manufatura – altas taxas de produção, por exemplo, irão demandar a escolha de um processo que tenha alta produtividade e podem, inclusive, justificar o emprego de processos automatizados (HALEVI; WEILL, 1995).

2.3.3 Plano de terceirização da produção

Uma vez conhecidas as características do produto e da produção, é necessário que se decida sobre quais componentes serão manufaturados internamente, e quais serão adquiridos de fornecedores externos, ou seja, terão sua produção terceirizada. Essa decisão é usualmente registrada em um plano, conhecido em inglês pelo termo *make-or-buy plan* (CHANG, 1992; TANNER, 1996).

Para essa tomada de decisão, os seguintes fatores devem ser levados em consideração (BENHABIB, 2003; EARY; JOHNSON, 1962; GOMES, 2010):

- volume de produção;
- tempo pelo qual o produto será produzido;
- grau de padronização do produto;
- grau de especialização da manufatura;
- competência tecnológica da empresa;
- existência de fonte alternativa de suprimento;
- confiabilidade do fornecedor;
- custo;
- estratégia da empresa.

A decisão sobre quais componentes manufaturar internamente ou externamente não é uma decisão estática, ou seja, será necessário que a empresa revise suas escolhas em diversos momentos em função de mudanças no cenário econômico e de mercado (ROSCOE, 1955).

2.3.4 Seleção dos processos de manufatura

Identificadas as características do produto, os requisitos da produção e escolhidas quais partes serão fabricadas internamente e quais serão compradas, pode-se

prosseguir com a seleção dos processos de manufatura. É possível que esses dados restrinjam as possibilidades a um único processo de manufatura (GRASS, 1956); entretanto, com a crescente diversidade de opções de tecnologia, a situação mais comum é que haja diversos processos disponíveis para se atingir o mesmo fim (GOMES, 2010). Sendo assim, faz-se necessário mapear os processos de manufatura disponíveis e conduzir um processo de seleção, com o objetivo primordial de se obter a manufatura mais econômica possível (GOMES, 2010; HALEVI; WEILL, 1995).

Para efetuar a escolha entre processos alternativos, é possível basear-se nos seguintes critérios sobre os processos de manufatura (EARY; JOHNSON, 1962; KALPAKJIAN; SCHMID, 2006):

- atendimento aos requisitos de projeto (qualidade, funcionalidade e confiabilidade);
- atendimento aos requisitos de taxas e volume de produção;
- nível de uso da capacidade dos equipamentos e ferramentas;
- eficiência no uso de materiais;
- flexibilidade para acomodação de mudanças no projeto do produto ou decorrentes de melhoria do processo;
- produção de resíduos;
- segurança na operação (proteção ao operador e ao componente em processamento);
- custo de investimento;
- custo de operação.

2.3.5 Definição da sequência de atividades

Uma vez selecionado o processo de manufatura, é necessário detalhá-lo, especificando sua sequência de atividades (CROSS, 1986; HALEVI; WEILL, 1995). Em alguns casos, as atividades de seleção de processos e detalhamento da sequência de atividades podem ser simultâneas e complementares, pois dados da sequência de atividades podem subsidiar decisões sobre os processos a serem empregados.

Primeiramente, deve-se verificar se existem sequências-padrão de atividades já estabelecidas e documentadas para os processos definidos. É frequente a existência de sequências de atividades genéricas, que se aplicam a uma categoria de produtos no qual o processo de manufatura seja empregado e que servem como ponto de partida para elaboração da sequência de atividades específica para o produto em questão. O uso destas sequências pode economizar uma quantidade considerável de tempo da etapa de planejamento do processo de manufatura (TANNER, 1996).

Para iniciar a definição da sequência de atividades, é necessário considerar que existem cinco categorias gerais de atividades em processos de manufatura, que são (CHANG, 1992; HITOMI, 1979; MULLEE; PORTER, 1956):

- operação: ocorre quando um objeto é intencionalmente modificado em qualquer uma das suas características, é montado ou desmontado de outro objeto, ou é configurado para outra operação, transporte, inspeção ou estoque;
- inspeção: ocorre quando um objeto é examinado para identificação ou é verificado para qualidade ou quantidade em qualquer uma das suas características;
- transporte: ocorre quando um objeto é movido de um lugar para o outro, exceto quando esses movimentos são parte da operação ou causados pelo operador durante a operação ou inspeção;
- estoque: um estoque ocorre quando um objeto é mantido e protegido contra remoção não autorizada;
- espera: ocorre a um objeto quando ele permanece inativo (sem processamento, inspeção, movimentação ou estoque), exceto em casos em que o tempo de espera intencionalmente mude suas características do objeto (ex: cura).

As operações, que são as atividades de transformação ou montagem propriamente ditas, são normalmente decorrentes das características do processo de manufatura selecionado, e sua definição e o estabelecimento de seus parâmetros são de responsabilidade direta da Engenharia de Manufatura.

A definição das inspeções é compartilhada entre a Engenharia de Manufatura (ou responsável pelo planejamento do processo) e a Engenharia de Qualidade (LINTS, 1996). Atualmente, ferramentas sofisticadas de controle estatístico de processo são

usadas para garantia da qualidade, em substituição à concepção original de controle de qualidade por meio de inspeções de produto somente ao final da produção (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006). Com isso, a definição das formas de inspeção e dos momentos em que elas são feitas tornou-se muito mais complexa. O estabelecimento de planos de amostragem e demais detalhes a respeito das inspeções, no entanto, são de responsabilidade exclusiva da Engenharia de Qualidade (LINTS, 1996).

As atividades de transporte, estoques e esperas, por sua vez, podem ser classificadas como “movimentação de materiais” e são definidas em conjunto com a Engenharia de Planta. A definição dessas atividades envolve o estudo do fluxo de produção em planta, a especificação de equipamentos de transporte e estocagem, a fixação das condições de estocagem, entre outros aspectos; e embutem grandes oportunidades de otimizar o processo, empregando-se configurações logísticas adequadas. Por serem atividades que não agregam valor ao produto, elas devem ser minimizadas sempre que possível (SHETH, 1996).

O nível de detalhamento da decomposição do processo em atividades deve ser estudado conforme a situação, uma vez que, quanto maior o detalhamento, maior o custo da análise e o tempo gasto na etapa de planejamento do processo (CHANG, 1992; GRASS, 1956). Uma atividade representada no nível da montagem de um produto (ex.: montagem de um determinado componente) pode ser desdobrada em diversas atividades que representam a produção deste componente, e cada uma destas atividades no nível do componente pode ser desdobrada no nível do operador, e assim por diante, chegando, em casos extremos, à análise de movimentos do operador. Entretanto, conforme abordado no item 2.2, análises muito detalhadas devem ser feitas somente para atividades com alto volume de produção, longa vida útil e tempos de ciclo curtos (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).

2.3.6 Definição dos recursos das atividades

Além de definir a sequência de atividades de um determinado processo de manufatura, deve-se também especificar os recursos necessários: equipamentos, ferramentas, acessórios e outros dispositivos, além de materiais necessários aos processos e que não são especificados pelo projeto do produto (por exemplo,

lubrificantes para máquinas) e os recursos humanos necessários (EARY; JOHNSON, 1962; HALEVI; WEILL, 1995).

Os equipamentos e ferramentas exercem influência decisiva na definição do processo de manufatura – no caso de processos com alto grau de mecanização, a seleção do equipamento é praticamente a totalidade da definição do processo a ser adotado. Além disso, equipamentos e ferramentas são comumente itens de alto custo e, portanto, a sua escolha deve ser criteriosa, tendo como dados de entrada o volume e a taxa de produção requeridos, bem como dados de depreciação, considerações fiscais, entre outros (HALEVI; WEILL, 1995; MUTTER, 1996). Além do custo, devem-se levar em consideração os seguintes fatores técnicos relativos às alternativas analisadas (EARY; JOHNSON, 1962):

- precisão;
- produtividade;
- material do qual é feito o equipamento;
- dispositivos de controle;
- energia (forma, abastecimento e consumo);
- velocidade de produção e abastecimentos;
- segurança;
- reparos (acessibilidade e rapidez);
- carregamento e descarregamento;
- considerações gerais da operação.

Para manter os custos de equipamentos baixos, deve-se especificar, sempre que possível, equipamentos de uso geral, ou seja, que possam ser aplicados a qualquer configuração de produto; e comercialmente disponíveis, pois apresentam como vantagens: menor investimento inicial, redução do risco de obsolescência, possibilidade de uso para diversas operações, entre outros (EARY; JOHNSON, 1962; GROOVER, 1996). Equipamentos específicos só devem ser usados no caso das vantagens advindas da possibilidade de combinação de operações (por exemplo, aumento da qualidade do produto, redução do número de equipamentos, redução do espaço em planta) superarem economicamente os equipamentos de uso geral (EARY; JOHNSON, 1962; GROOVER, 1996; ROSCOE, 1955). As ferramentas, por sua vez, costumam ser específicas para uma determinada

configuração de produto, pois sua finalidade é justamente adaptar os equipamentos aos diversos produtos que neles serão processados (item 2.2).

Entretanto, no caso de equipamentos ou ferramentas especiais se mostrarem necessários e economicamente viáveis, eles deverão ser projetados. Conforme abordado no item 2.2, a Engenharia de Manufatura deve especificar os seus requisitos e o projeto será de responsabilidade da Engenharia de Equipamentos (ou ao fornecedor do equipamento, caso este seja adquirido externamente) (GROOVER, 1996). Os mesmos fatores técnicos listados para a seleção de equipamentos podem ser usados como diretrizes para o projeto de equipamentos novos.

Também devem ser especificados os instrumentos que serão usados nas atividades de inspeção, em conjunto com a Engenharia de Qualidade (HALEVI; WEILL, 1995; MUTTER, 1996). Além desses, deve-se prever, ainda, as ferramentas manuais, tais como martelos, marretas, ganchos, pinças, entre diversas outras (EARY; JOHNSON, 1962). Normalmente são ferramentas disponíveis comercialmente e que as empresas mantêm uma quantidade razoável em estoque, de modo que são menos críticas do que os itens anteriormente abordados. Ainda assim, é possível que a Engenharia de Manufatura se depare com a necessidade de projetar ferramentas manuais especiais, tarefa para a qual se deve consultar a área de Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional ou Ergonomia (MUTTER, 1996).

Os recursos humanos necessários à manufatura (ex: operadores) também devem ser especificados conforme o nível de qualificação requerido para a operação em que serão empregados. Na produção em grande volume, por exemplo, torna-se interessante automatizar a manufatura, o que permite utilizar operadores menos qualificados, desde que haja instruções detalhadas para configuração e operação do maquinário automatizado. Por outro lado, no caso da manufatura em pequena escala, pode ser necessária a contratação de operadores mais qualificados (HALEVI; WEILL, 1995).

2.3.7 Definição dos parâmetros do processo

Estabelecidas as atividades que fazem parte do processo de manufatura e os seus recursos, é necessário definir os parâmetros inerentes ao processo, tais como: quantidade de recursos (número de equipamentos, ferramentas e recursos humanos envolvidos em cada operação), tempos para cada uma das atividades, velocidades

de processamento e de abastecimento, configurações de equipamentos, entre outros (HALEVI; WEILL, 1995; MUTTER, 1996; TANNER, 1996). Entre esses parâmetros, o tempo das atividades é o de maior importância, uma vez que serve como base para o dimensionamento de todos os outros itens: quantidades de máquinas, equipamentos, ferramentas e recursos humanos (EARY; JOHNSON, 1962; VERNON, 1969).

A determinação do tempo de execução de uma atividade pode ser feita a partir de estimativas baseadas em processos semelhantes; cronometragem do tempo que um operário-médio leva executando a operação em questão; decomposição dos movimentos de uma determinada operação e soma dos tempos tabelados para cada movimento, entre outros (ZANDIN, 1996). Pode-se ainda optar por agrupar diversas atividades e estabelecer um tempo global para o conjunto (ROSCOE, 1955). No caso de medição de tempos unitários, em que um método-padrão se faz necessário, esta tarefa deve ser executada pela Engenharia de Métodos (ZANDIN, 1996).

Ressalta-se que uma parcela importante do tempo do processo é gasto em atividades de movimentação de materiais (transportes, estoques e esperas) e, por isso, sofre grande influência da configuração de *layout*. Nesta atividade do planejamento do processo, deve existir, portanto, uma interação com a definição da movimentação de materiais e com a proposta do *layout* da planta, e, por consequência, a participação da Engenharia de Planta na tomada de decisões (SHETH, 1996). A interação entre as atividades do planejamento do processo e as demais atividades inerentes ao planejamento do sistema de manufatura é apresentada na Figura 13.

Uma vez conhecidos os tempos de cada atividade do processo (ou do conjunto das mesmas), a capacidade dos recursos que são usados nas atividades (ex.: produção horária de equipamentos) e a quantidade a ser produzida, é possível determinar a quantidade necessária de cada recurso para consecução do processo de manufatura (MEYERS; STEPHENS, 2005). Entretanto, para que a manufatura seja econômica, é necessário que a determinação da quantidade de recursos seja feita de forma a deixar a produção balanceada, ou seja, garantir que a produção ocorra sem grandes variações, o que poderia gerar estoques intermediários indesejáveis, sobrecarga em alguns pontos da manufatura e ociosidade em outros, além de distribuição desigual de recursos (MOODIE, 1992; TANNER, 1996). Isto é

particularmente importante em linhas de montagem em que há uma velocidade estabelecida em função da taxa de saída de produtos requerida, exigindo que todas as operações que fazem parte da linha sejam dimensionadas para respeitar esta velocidade, tendo, portanto, um mesmo tempo de ciclo, conhecido em inglês pelo termo “*takt time*” (MEYERS; STEPHENS, 2005).

Figura 13 - Relação entre as atividades de planejamento do processo com atividades do planejamento do sistema de manufatura.

Existem diversos algoritmos e *softwares* para efetuar o balanceamento de linhas de montagem, baseados, sobretudo, em métodos heurísticos e procedimentos de otimização. Todos eles têm como objetivo distribuir os elementos de trabalho entre

as diversas estações de modo que o esforço atribuído a cada uma seja o mais igual possível, respeitando o tempo das operações e as restrições de precedência e atendendo à programação da produção (MOODIE, 1992). Segundo Meyers e Stephens (2005), algumas estratégias para balanceamento de linhas de montagem são: modificar a distribuição de operadores, combinar operações, retirar algumas operações da linha principal de montagem (transformando-as em submontagens), entre outros. Halevi e Weill (1995), no entanto, entendem que o balanceamento do uso de recursos de manufatura (sobretudo do maquinário) não é responsabilidade exclusiva da Engenharia de Processos e deve ter participação do departamento responsável pela programação da produção.

2.4 FERRAMENTAS PARA O PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS DE MANUFATURA

É fundamental que as decisões sobre o planejamento dos processos de manufatura sejam adequadamente registradas, para que a produção possa utilizar as informações consideradas importantes para a manufatura (HALEVI; WEILL, 1995). Da mesma forma que os projetos registram “o que” deve ser produzido, devem existir documentos que registram “como” o produto deverá ser manufaturado (BUFFA, 1973). Mesmo em caso de uso de poucos processos, simples e repetitivos, a ponto dos operadores e gestores decorarem sua sequência e parâmetros, é importante que seja feita a sua documentação, para que haja um registro formal e uma base sobre a qual possa ser analisado ou modificado (CHANG, 1992; TANNER, 1996). A seguir, são apresentadas as principais ferramentas utilizadas para o planejamento e registro dos processos de manufatura.

2.4.1 Folha de processo

O principal documento gerado na etapa de planejamento dos processos de manufatura é a folha de processo, conhecida em inglês como *route sheet*, *operation routing*, *process sheet* ou *process plan* (CHANG, 1992; CHRYSSOLOURIS, 2006; CIMORELLI; CHANDLER, 1996; HALEVI; WEILL, 1995; MEYERS; STEPHENS, 2005). A folha de processo estabelece a sequência de atividades de manufatura necessárias para a produção de um determinado componente ou produto, e também contém as seguintes informações (CHANG, 1992; CHRYSSOLOURIS, 2006;

CIMORELLI; CHANDLER, 1996; GROOVER, 1996; HITOMI, 1979; MEYERS; STEPHENS, 2005):

- identificação do componente submetido ao processo;
- projeto de referência que define o componente em processamento;
- identificação da área/departamento onde o processo é conduzido;
- identificação da matéria-prima do processo;
- para cada atividade:
 - identificação da atividade através de um número ou código;
 - descrição sucinta da atividade (na folha de processo, normalmente são apresentadas somente atividades de operação ou inspeção);
 - identificação do equipamento envolvido na atividade;
 - identificação de ferramentas, dispositivos e medidores usados na atividade;
 - configurações dos equipamentos e ferramentas;
 - tempo de execução da atividade.

Além dos dados mencionados, a folha de processo deve apresentar informações documentais, tais como: responsável por sua elaboração, revisão, data, etc. (CIMORELLI; CHANDLER, 1996; EARY; JOHNSON, 1962; HITOMI, 1979). A Figura 14 e a Figura 15 apresentam modelos de folhas de processo.

Part No: 031393		Part Name: Housing, valve		Rev. 2	Page 1 of 2	
Matl: 416 Stainless		Size: 2.0 dia × 5. long		Planner: MPG	Date: 3/13/XX	
No.	Operation	Dept.	Machine	Tooling, gages	Setup time	Cycle time
10	Face; rough & finish turn to 1.473 ± 0.003 dia. × 1.250 ± 0.003 length; face shoulder to 0.313 ± 0.002; finish turn to 1.875 ± 0.002 dia.; form 3 grooves at 0.125 width × 0.063 deep.	L	325	G857	1.0 h	8.22 m
20	Reverse; face to 4.750 ± 0.005 length; finish turn to 1.875 ± 0.002 dia.; drill 1.000 + 0.006, -0.002 dia. axial hole.	L	325		0.5 h	3.10 m
30	Drill & ream 3 radial holes at 0.375 ± 0.002 dia.	D	114	F511	0.3 h	2.50 m
40	Mill 0.500 ± 0.004 wide × 0.375 ± 0.003 deep slot.	M	240	F332	0.3 h	1.75 m
50	Mill 0.750 ± 0.004 wide × 0.375 ± 0.003 deep flat.	M	240	F333	0.3 h	1.60 m

Figura 14 - Folha de processo para produção de uma válvula (GROOVER, 1996).

OPERATION SHEET					
Item	Shaft	Quantity	1500	Chart No.	346
Drawing No.	C-103	Part No.	116700	Analyst	K. Okuda
Chart Begins	Lathe Dept.			Date	15. Sept. 1977
Chart Ends	Lathe Dept.			Sheet No.	1 of 1
Machine No.	#791	Machine Type	Lathe	Material	Steel
Normal Cycle Time	3.283	Pieces per hour	18.3	Coolant	Oil
Setup Time	.9				

No.	Element Description	Speed	Feed	Jigs, Tools
1	Centering	75	hand	Centre drill
2	Turning	400	0.015	Right-hand cutting tool
3	Turning	400	0.015	Left-hand cutting tool
4	Turning	85	0.0025	Forming tool
5	Screw-cutting	240	pitch 0.138	Threading tool
6	Cutting-off	85	0.002	Cutting-off tool

Machine Maintenance

Oil once/day

Grease once/week

Remarks No special.

Figura 15 - Folha de processo para produção de um eixo em torno mecânico (HITOMI, 1979).

A definição de quais informações a respeito do processo devem constar na folha de processo é variável, pois cada empresa elabora esse documento conforme as prioridades e objetivos da sua manufatura e de acordo com o nível de detalhamento de informações de planejamento desejado (CROSS, 1986). Na Figura 14, por exemplo, a descrição das atividades inclui as tolerâncias estabelecidas para cada uma das operações; há a identificação da área em que é conduzido cada passo do processamento; e são apresentados os tempos para configuração dos equipamentos e o tempo de ciclo. Na Figura 15, porém, não há a indicação de tolerâncias e a descrição das atividades é bem mais simples; além disso, observa-se que a produção ocorre em um único equipamento, existindo somente a troca de ferramentas; e são disponibilizados dados a respeito da quantidade de produção.

2.4.2 Diagrama de processo

O diagrama de processo ou diagrama de montagem (*operation process chart*, também conhecido como *outline process chart* ou *assembly chart*) tem como objetivo representar a sequência de montagem de componentes de um produto (KADOTA; SAKAMOTO, 1992; MEYERS; STEPHENS, 2005; TANNER, 1996). Trata-se de uma forma mais adequada de visualizar a montagem como um todo, do que simplesmente uma coleção de folhas de processo que definem como cada um dos componentes deve ser produzido, sendo, portanto, uma ferramenta complementar à folha de processo (KADOTA; SAKAMOTO, 1992). O diagrama de processo normalmente apresenta as seguintes informações (BUFFA, 1973; TANNER, 1996; VERNON, 1969):

- sequência de atividades pertencentes ao processo de montagem (assim como na folha de processo, normalmente no diagrama de processo são apresentadas somente as operações e inspeções);
- materiais e componentes que fazem parte do produto e o momento em que são inseridos no processo de manufatura;
- para cada atividade:
 - identificação da atividade através de um número ou código;
 - identificação do equipamento em que é feita a atividade;
 - tempo de ciclo ou de execução.

Ao contrário das folhas de processo, os diagramas de processo têm um padrão de apresentação que é usualmente seguido. A forma de organização das informações é apresentada na Figura 16 e funciona da seguinte maneira: a sequência de montagem é representada da esquerda para a direita e de cima para baixo; as linhas horizontais representam os materiais/componentes que entram no processo e as operações e inspeções são organizadas na vertical. As informações específicas sobre cada atividade podem ser apresentadas ao lado dos seus respectivos símbolos – operações são representadas por círculos e inspeções por quadrados, que é o padrão definido pela *American Society of Mechanical Engineers* (TANNER, 1996).

Figura 16 - Princípios para a montagem de diagramas de processo (adaptado de Mullee e Porter (1956) e Tanner (1996)).

A Figura 17 e a Figura 18 apresentam exemplos de diagramas de processo.

Figura 17 - Diagrama de processo para montagem de um regulador de fluxo de ar (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).

Figura 18 - Diagrama de processo para montagem de um suporte de prateleira (VERNON, 1990).

Observa-se que o diagrama de processo apresentado na Figura 17 menciona somente as atividades e os componentes; além disso, ele agrupa diversas operações em uma única operação (por exemplo, na linha de montagem principal, a operação 0701 envolve “remover rebarbas no lado interno e inspecionar as superfícies internas e externas”). Na Figura 18, por sua vez, as atividades são apresentadas em um nível mais elementar e são indicados os tempos de ciclo para algumas destas atividades.

Além de permitir melhor visualização do processo de manufatura geral, o diagrama de processo também pode ser uma ferramenta de suporte à análise do projeto do produto (permite entender a montagem e identificar eventuais incoerências), e de suporte à definição do *layout* (permite visualizar preliminarmente o fluxo de materiais) (BUFFA, 1973).

2.4.3 Fluxograma de processo

Outra ferramenta que pode ser usada para o planejamento de processos de manufatura é o fluxograma de processo (*flow process chart*). Trata-se de um fluxograma que representa as atividades que ocorrem durante o processo de manufatura, incluindo as atividades de transporte, espera e estoque – portanto, é mais detalhado do que o diagrama de processo (BUFFA, 1973). Existem dois tipos básicos de fluxogramas de processo: o que representa as atividades que ocorrem

em um material, componente ou produto; e o que mostra as atividades feitas por uma pessoa (KADOTA; SAKAMOTO, 1992; MULLEE; PORTER, 1956).

A simbologia comumente utilizada em fluxogramas de processo segue o padrão estabelecido pela *American Society of Mechanical Engineers*, apresentada na Figura 19.

Figura 19 - Simbologia adotada em fluxogramas de processo (adaptado de Hitomi, 1979).

A Figura 20 e a Figura 21 apresentam exemplos do fluxograma de processo.

Figura 20 - Fluxograma de processo para preparo de areia para processo de moldagem (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).

Figura 21 - Fluxograma de processo para atividade de atribuição de preços e despacho de pedidos (atividade administrativa) (TANNER, 1996).

Observa-se que o fluxograma de processo apresentado na Figura 20 tem formato semelhante a um diagrama de processo; porém, com a inclusão das atividades de movimentação de materiais; são apresentados também os tempos de ciclo e as distâncias de transporte, informações que podem ser úteis para analisar o processo como um todo. Já o formato de fluxograma de processo apresentado na Figura 21 apresenta um padrão bastante utilizado para análise de processos aplicados em um único material ou trabalhador (MULLEE; PORTER, 1956) e inclui: descrição da atividade; classificação do tipo de atividade (conforme a simbologia apresentada na Figura 19); distância percorrida (para atividades de transporte); quantidade (de peças produzidas para operações, de peças movidas para transporte, de peças inspecionadas para inspeções, de peças na unidade de estoque para estoques, e de peças inativas para esperas); e tempo gasto na atividade (MEYERS; STEPHENS, 2005).

Nota-se ainda que o fluxograma de processo da Figura 21 apresenta algumas colunas destinadas à análise das operações (eliminar, combinar, mudar, melhorar), campos que normalmente são utilizados pela Engenharia de Métodos na análise de operações (TANNER, 1996). Observa-se que o uso de fluxogramas de processo está mais frequentemente associado à análise e melhoria de operações existentes do que ao desenvolvimento e registro de novos processos (VERNON, 1969; BUFFA, 1973). Essa ferramenta é, inclusive, aplicada a processos que não os de manufatura – o exemplo da Figura 21, apesar de extraído de um livro sobre Engenharia de Manufatura, refere-se a um processo administrativo (TANNER, 1996).

2.4.4 Outras ferramentas para registro dos processos de manufatura

Além das três principais categorias de documentos sobre os processos de manufatura apresentadas nos itens anteriores, outras ferramentas podem ser usadas.

Uma delas é o diagrama de múltiplas atividades (*multiple activity process chart*), gráfico que representa atividades realizadas por mais de uma pessoa, por mais de um equipamento ou por uma combinação de pessoas e equipamentos (neste último caso, pode ser chamado de diagrama homem-máquina ou *man-machine chart*) e o tempo gasto em cada uma das atividades, para um ciclo de produção (KADOTA; SAKAMOTO, 1992; MULLEE; PORTER, 1956). É utilizado para estudar a composição de equipes de trabalho ou combinação de equipamentos de modo eliminar tempos ociosos durante a manufatura (MULLEE; PORTER, 1956). Um exemplo é apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Diagrama de múltiplas atividades para montagem final de bicicleta. Os tempos ociosos são identificados em cinza (*idle*) (KRICK, 1962).

Outra ferramenta que pode ser utilizada é o diagrama de rede, que é a representação gráfica das relações de atividades interdependentes em um processo ou projeto (KADOTA; SAKAMOTO, 1992). Através da construção da rede de atividades e da atribuição de duração a essas atividades, é possível identificar o caminho crítico do projeto, ou seja, as atividades que não podem apresentar atrasos, sob pena de atrasar a duração do projeto como um todo. Trata-se de uma ferramenta comumente usada em grandes projetos, de natureza única, que envolvem centenas ou milhares de componentes, como, por exemplo, a construção de aviões (BUFFA, 1973; KADOTA; SAKAMOTO, 1992). A Figura 23 exemplifica um diagrama de rede.

Figura 23 - Diagrama de rede (KADOTA; SAKAMOTO, 1992).

Outro documento que pode ser de grande utilidade, principalmente para o planejamento do *layout* da planta, é o diagrama de fluxo (*flow diagram*), que consiste na representação das atividades do processo de manufatura (usualmente as mesmas que constam no fluxograma de processo) sobre o *layout* da planta

(MEYERS; STEPHENS, 2005). A vantagem desse diagrama é que ele permite visualizar o fluxo de materiais ou pessoas e identificar pontos de congestionamento, movimentações excessivas ou desnecessárias, entre outros pontos críticos da movimentação de materiais (MULLEE; PORTER, 1956). Eventualmente, gargalos identificados por meio do diagrama de fluxo podem requerer mudanças no próprio processo de manufatura (MEYERS; STEPHENS, 2005). Um exemplo dessa ferramenta é apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Diagrama de fluxo (MEYERS; STEPHENS, 2005).

Existem ainda documentos cujo objetivo principal é instruir operários sobre as atividades de manufatura a serem feitas e que, por isso, apresentam um formato mais simples. Tanner (1996) afirmam que representações visuais (modelos, vistas isométricas, vistas explodidas, rascunhos, fotografias, etc.) complementadas com algumas notas e instruções podem ser mais bem compreendidas pelos operários do que folhas de processo, por exemplo; e propõem o uso de instruções de trabalho (um exemplo é ilustrado na Figura 25). Early e Johnson (1962), por sua vez, propõem o uso de um documento chamado ilustração do processo (*process picture*), que representa o componente em um determinado estágio do processamento e

adiciona informações, tais como: dimensões adicionais/ intermediárias necessárias para a manufatura (e que não constam no projeto do produto), forma de posicionamento da peça no equipamento em que será processada, configuração de dispositivos de produção (posicionadores, grampos, medidores) acoplados ao componente em processamento, entre outros (Figura 26).

Figura 25 - Instrução de trabalho (TANNER, 1996).

Figura 26 - Ilustração de processo (EARY; JOHNSON, 1962).

2.4.5 Ferramentas computacionais para planejamento de processos

Além das ferramentas citadas nos itens anteriores, que se destinam a auxiliar no planejamento de processos de manufatura e registrá-lo, há também sistemas mais sofisticados, que se propõem a automatizar parte de ou toda a atividade de planejamento de processos, denominados de "Planejamento de Processos Auxiliado por Computador" ou "Computer-Aided Process Planning" (CAPP). Esses sistemas computadorizados podem funcionar de três formas (HALEVI; WEILL, 1995; HOUTZEEL, 1996; KALPAKJIAN; SCHMID, 2006):

- abordagem variante (*variant approach*): o sistema possui um banco de dados de planejamento de processos, com folhas de processo elaboradas para

determinados tipos de componentes. Para elaborar o planejamento do processo de manufatura de um novo componente, o sistema resgata a folha de processo relativa à família daquele componente (por isso, faz-se necessário um sistema de codificação e classificação em famílias) e, a partir daí, o responsável pelo planejamento pode efetuar as modificações necessárias com base no processo existente;

- abordagem generativa (*generative approach*): o sistema gera o planejamento do processo com base em algoritmos, lógicas de decisão, fórmulas e dados baseados na geometria de componentes, tentando reproduzir a linha de raciocínio que seria empregada por um humano realizando o mesmo processo. São sistemas mais complexos do que os de abordagem variante, pois são totalmente automatizados e não buscam processos de referência; por outro lado, oferecem a vantagem de não se depender do conhecimento de um planejador de processos;
- abordagem semigenerativa: dada a dificuldade de estruturação de um sistema CAPP com abordagem generativa completa, é possível fazer com que o sistema recorra a folhas de processo existentes como base (variante) e, a partir daí, aplique regras para a elaboração do planejamento para o componente em questão (generativo). É, portanto, de uma abordagem mista.

Os sistemas CAPP frequentemente estão inseridos em um sistema maior, que integra diversos outros aspectos da manufatura, denominado de *Computer Integrated Manufacturing* ou CIM. Segundo Kalpakjian e Schmid (2006), trata-se de um termo que descreve a integração computadorizada de todos os aspectos de projeto, planejamento, manufatura, distribuição e gestão que concernem a uma indústria manufatureira. Além do CAPP, sistemas CIM integram outros subsistemas relacionados às atividades industriais, entre os quais vale destacar: *Computer-Aided Design* (CAD), que envolve o uso de computadores para criar projetos e modelos de produto e traz maior agilidade nas análises de engenharia; e o *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), que utiliza computadores e tecnologia da informação para dar assistência direta à produção, atuando sobre a operação e controle do maquinário de produção, equipamentos de manuseio de materiais e de inspeção (por exemplo: automação da produção através de máquinas com controle numérico computadorizado, CNC) (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006).

Através da automação provida pela implantação do CIM, busca-se reduzir o tempo necessário para desenvolvimento do produto. Além disso, decorrem benefícios tais como: melhor controle do processo de manufatura, levando a uma maior uniformidade do produto; aumento da produtividade; e redução de custos de produção (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006). Em relação especificamente aos sistemas CAPP, podem ser citadas as seguintes vantagens: menor demanda por planejadores qualificados, menor tempo de planejamento de processos, menor custo de planejamento e de manufatura, criação de planos de manufatura consistentes, produção de planos precisos e aumento da produtividade (CHANG, 1992; HALEVI; WEILL, 1995; KALPAKJIAN; SCHMID, 2006). Entretanto, a abordagem detalhada destes sistemas foge ao escopo deste trabalho.

Outra ferramenta computacional que pode ser muito útil à atividade de planejamento de processos de manufatura é a simulação de processos, que tem crescido rapidamente devido ao contínuo desenvolvimento de *softwares* e *hardwares* computacionais. Segundo Wu (1992), a simulação computacional pode ser considerada uma abordagem para estudar certas propriedades funcionais de uma organização através da experimentação em um modelo computacional apropriado. Trata-se de uma forma mais econômica, flexível, rápida e menos arriscada de se promover experimentações, se comparada à execução de protótipos, por exemplo. Para a simulação, faz-se necessário conhecer as características do processo que será modelado e os parâmetros que regem seu funcionamento, para que possam ser inseridos no modelo computacional por meio de programação apropriada às finalidades da análise que será feita (WU, 1992).

Existem duas finalidades principais na simulação de processos: modelagem de uma operação específica com o objetivo de determinar sua viabilidade, otimizá-la ou melhorar seu desempenho; ou modelagem de múltiplos processos e respectivas interações, de modo a ajudar os responsáveis pelo processo e pela planta a estabelecerem o *layout* de maquinário e instalações (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006). Além disso, a simulação pode ser aplicada à melhoria de sistemas de manufatura existentes ou para projeto de novos processos ou instalações (WU, 1992).

A principal vantagem das simulações reside no uso da animação para facilitar a compreensão e a análise da situação que se encontra modelada, como, por exemplo, um processo de manufatura. Entretanto, modelos computacionais

requerem grande conhecimento e tempo para serem preparados, além de ser muito importante que os resultados da simulação sejam analisados criticamente – a simulação computacional não pode ser encarada como uma substituta ao planejamento de processos, e sim como uma ferramenta de apoio (WU, 1992). Novamente, a análise detalhadas de sistemas de simulação de processos foge ao escopo do presente trabalho, mas considerou-se importante abordar as práticas mais avançadas de planejamento de processos na indústria manufatureira, para que a caracterização dessa atividade fosse completa.

3 O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

3.1 ETAPAS NECESSÁRIAS À CONSTRUÇÃO

Para a construção de um empreendimento, assim como para a manufatura de um produto, são necessárias diversas atividades (Figura 27), aqui sintetizadas.

Figura 27 - Principais atividades necessárias para a construção de um empreendimento e áreas envolvidas (CARDOSO, 1996; MELHADO, 2005).

A primeira atividade consiste em conceber e analisar a viabilidade econômica do empreendimento, sendo coordenada pelo empreendedor, que é o responsável por garantir que o empreendimento seja financiado, adequadamente projetado e construído (CLOUGH; SEARS, 1991; MELHADO, 2005). Comprovada a viabilidade, inicia-se o projeto do empreendimento, para definir as características dos edifícios e das demais áreas que o compõem (periferia, áreas comuns, etc.). Os projetos são desenvolvidos em grau crescente de detalhamento, sendo comum a divisão em fases: anteprojeto (com grau de detalhamento suficiente para submissão do empreendimento à aprovação dos órgãos governamentais, por meio dos “projetos legais”), projeto básico e projeto executivo (MELHADO, 2005). Essa última fase resulta na preparação dos desenhos finais de produção e nas especificações do programa completo de construção (CLOUGH; SEARS, 1991).

Com os projetos executados, é possível realizar o planejamento da produção, a contratação de empresas e aquisição de suprimentos necessários para a construção do empreendimento (MELHADO, 2005). Normalmente, essas atividades são feitas pela empresa construtora (AHUJA; DOZZI; ABOURIZK, 1994; CLOUGH; SEARS, 1991). O planejamento da produção (detalhado no item 3.2) envolve: a seleção dos métodos construtivos e a definição da duração de cada serviço, resultando em um cronograma de execução; a definição das quantidades de recursos e o estabelecimento de um plano de ataque (estratégia de execução) para o empreendimento (CARDOSO, 1996).

A fase de construção consiste em erguer fisicamente o empreendimento, o que é feito pelas equipes de produção, sejam elas da construtora ou dos subempreiteiros contratados (AHUJA; DOZZI; ABOURIZK, 1994; CLOUGH; SEARS, 1991). A gestão e a supervisão das atividades de construção cabem à engenharia de obra da construtora e envolvem a compatibilização dos recursos necessários para o andamento adequado das atividades, a gestão dos espaços e estoques no canteiro de obras, o acompanhamento do andamento dos serviços, o controle de qualidade, entre outros (CARDOSO, 1996; CLOUGH; SEARS, 1991).

Assim como na indústria de manufatura, o setor de construção de edifícios também aplica o conceito de Engenharia Simultânea, em que torna paralelas as atividades de projeto e planejamento, para reduzir o tempo total de execução do empreendimento e acelerar o retorno do investimento. Na construção, entretanto, existe um paralelismo que não é comumente observado na manufatura: a simultaneidade entre as fases de projeto e planejamento e a etapa de execução. Essa prática é denominada *fast tracking* e consiste em liberar a construção de determinadas partes do empreendimento à medida que seus projetos são finalizados, sem que o projeto completo do edifício esteja pronto; dessa forma, as fases iniciais da construção são executadas enquanto etapas mais tardias ainda se encontram em projeto (CLOUGH; SEARS; 1991). A Figura 28 ilustra as fases típicas de um empreendimento ao longo de sua duração e permite observar o paralelismo de atividades devido à abordagem de Engenharia Simultânea (concomitância entre planejamento/ *planning* e projeto/ *engineering*) e de *fast tracking* (a construção / *construction* se inicia antes do término das atividades de engenharia e planejamento) (AHUJA; DOZZI; ABOURIZK, 1994).

Figura 28 - Distribuição das atividades ao longo do ciclo de um empreendimento (AHUJA; DOZZI; ABOURIZK, 1994).

3.2 PLANEJAMENTO TRADICIONAL DA CONSTRUÇÃO

3.2.1 Estruturação do planejamento tradicional

A construção de empreendimentos de edifícios é uma atividade complexa, com diversos agentes intervenientes e, para que ela ocorra de forma adequada, gerando o produto concebido e o retorno desejado sobre o investimento, é fundamental que sua execução seja planejada. Existem diversos níveis de planejamento que se aplicam à construção de edifícios, conforme a parte interessada nas informações e a fase em que o empreendimento se encontra.

Para o empreendedor (cliente/empresa incorporadora) são relevantes as informações de planejamento tais como duração total do empreendimento, datas de conclusão das principais fases da obra e fluxo de caixa, para que este possa se programar em relação aos principais dispêndios e monitorar tanto o progresso físico da construção quanto o retorno do seu investimento (HALPIN; WOODHEAD, 1980; HARRIS; MCCAFFER, 2006). A escala de tempo utilizada nos cronogramas para esta finalidade é de meses ou semanas e a execução é apresentada em termos de fases do empreendimento, sem contemplar detalhes de sequenciamento referentes aos métodos construtivos a serem empregados (CALVERT, 1995).

Essas informações, no entanto, não são suficientes para condução da execução do empreendimento. A empresa construtora precisa elaborar uma estratégia de modo a possibilitar a sua produção dentro dos prazos e custos estabelecidos (HALPIN; WOODHEAD, 1980; HARRIS; MCCAFFER, 2006). Para isso, elabora-se a Estrutura

Analítica de Projeto (EAP) ou *Work Breakdown Structure* (WBS), que consiste na decomposição da totalidade do empreendimento em elementos gerenciáveis, por meio de uma estrutura hierárquica (HARRIS; MCCAFFER, 2006; LIMMER, 1997; MATTOS, 2010). Esses elementos são denominados pacotes de trabalho e caracterizam os tipos e as quantidades de serviço gerenciáveis para fins de planejamento, com horizonte de duração facilmente discernível e que, preferencialmente, representem uma parte ou componente acabado do empreendimento (LIMMER, 1997; MATTOS, 2010). A definição de pacotes de trabalho reflete a prática do setor que divide a construção entre empresas ou equipes especializadas, contratadas pela construtora responsável pela gestão do empreendimento como um todo (CALVERT, 1995; HALPIN; WOODHEAD, 1980). A Figura 29 ilustra uma EAP simplificada.

Atividade	
0	Casa
1	1 Infraestrutura
2	1.1 Escavação
3	1.2 Sapatas
4	2 Superestrutura
5	2.1 Paredes
6	2.1.1 Alvenaria
7	2.1.2 Revestimento
8	2.1.3 Pintura
9	2.2 Cobertura
10	2.2.1 Madeiramento
11	2.2.2 Telhas
12	2.3 Instalações
13	2.3.1 Instalação elétrica
14	2.3.2 Instalação hidráulica

Figura 29 - EAP para produção de uma casa (MATTOS, 2010).

Identificados os pacotes de trabalho que compõem o empreendimento, estabelece-se o sequenciamento das atividades que os compõem (MATTOS, 2010). Para isso, é necessário conhecer os métodos construtivos que serão utilizados, pois eles subsidiam a identificação das relações de precedência entre atividades e dos recursos necessários à produção (materiais, equipamentos e mão de obra) (GOULD, 1997; HALPIN; WOODHEAD, 1980; MATTOS, 2010). Por fim, distribuem-se essas atividades no tempo disponível para execução da obra e ajustam-se as quantidades de recursos para viabilizar a produção da forma mais econômica possível – a escala de tempo normalmente utilizada nesse nível de planejamento é de semanas ou dias (CHRISTIAN, 1981; HARRIS; MCCAFFER, 2006; LIMMER, 1997).

Há ainda um nível mais detalhado de planejamento, que possibilita a orientação e supervisão das atividades de cada uma das equipes de execução (CALVERT, 1995). Trata-se do desdobramento de parte do cronograma geral da obra, identificando-se as atividades relativas ao processo construtivo empregado para execução de um determinado sistema ou trecho. É comum que esse planejamento seja feito com a obra em andamento e seja revisto semanalmente, em reuniões envolvendo os diversos agentes participantes do empreendimento naquele período (CALVERT, 1995). A escala de tempo é em dias – segundo Mattos (2010), atividades com duração menor do que um dia devem ser fundidas a outras constituindo atividades mais longas, para que não haja um detalhamento excessivo do planejamento, que seria incompatível com a capacidade de gerenciamento na obra. Entretanto, alguns itens podem inclusive requerer planejamento horário, como é o caso da programação de uso dos equipamentos de transporte vertical (exemplo: elevador cremalheira) (CALVERT, 1995; HARRIS; MCCAFFER, 2006).

As ferramentas utilizadas na representação dos diversos níveis de planejamento tradicional da construção de edifícios são apresentadas no item a seguir.

3.2.2 Ferramentas do planejamento tradicional

Existem diversas ferramentas passíveis de uso para o planejamento das atividades de construção; entretanto, as seguintes podem ser consideradas consolidadas no setor: gráficos de barras, diagramas de rede e linhas de balanço (NUNNALLY, 1998).

O gráfico de barras, cujo formato mais conhecido é o gráfico de Gantt, é o método mais antigo e mais utilizado de planejamento da construção, por ter uma representação gráfica simples e ser de fácil entendimento (CHRISTIAN, 1981; HARRIS; MCCAFFER, 2006; MATTOS, 2010). Ele mostra o período de tempo previsto para a execução de cada pacote de trabalho. Nesse gráfico, as atividades provenientes da EAP são listadas na vertical e representa-se sua duração em uma escala de tempo na horizontal, empregando-se barras que se estendem da data de início à data de término da execução de cada item, conforme ilustra a Figura 30 (CHRISTIAN, 1981; LIMMER, 1997). Entretanto, esta ferramenta apresenta uma limitação importante: ela não evidencia as relações de dependência entre as diversas atividades do processo, tampouco permite identificar quais seriam as

atividades críticas para o empreendimento, ou seja, aquelas cujos atrasos causariam atraso da construção como um todo (GOULD, 1997; MATTOS, 2010; NUNNALLY, 1998). Apesar disso, seu uso é muito amplo e, mesmo quando o planejamento é estabelecido por outros métodos mais precisos, o gráfico de barras é utilizado como forma de comunicar o cronograma resultante (GOULD, 1997).

Figura 30 - Exemplo de gráfico de barras (MATTOS, 2010).

Dada a limitação dos gráficos de barras na identificação das relações de dependência entre as atividades de construção, o que pode gerar incoerências significativas no planejamento estabelecido para a obra, desenvolveu-se outra ferramenta: os diagramas de rede (CHRISTIAN, 1981; HALPIN; WOODHEAD, 1980; MATTOS, 2010). Eles apresentam graficamente todas as atividades pertencentes a um determinado processo de execução, organizadas em sequência e conectadas de forma lógica, obedecendo a restrições relativas principalmente às características das tecnologias e métodos de construção empregados (GOULD, 1997; HALPIN; WOODHEAD, 1980; HARRIS; MCCAFFER, 2006). O procedimento para sua elaboração pode ser descrito da seguinte forma (CHRISTIAN, 1981; HALPIN; WOODHEAD, 1980; HARRIS; MCCAFFER, 2006; MATTOS, 2010):

- decompor o projeto em pacotes de trabalho (EAP);
- organizar essas atividades em sequência, no formato de rede, respeitando-se as relações de precedência e identificando-se possibilidades de simultaneidade, de acordo com a tecnologia construtiva adotada;
- estimar as durações de cada atividade e, com base nisso, calcular as datas de início e término para todas as atividades e as respectivas folgas;
- identificar o caminho crítico, composto pelas atividades que não têm folga.

A Figura 31 ilustra um diagrama de rede, em que as atividades são representadas por setas e identificadas por letras, cujo significado é apresentado na Figura 32. Os círculos definem os eventos de início e término de uma determinada atividade. Os números sob as setas indicam a duração das atividades, enquanto os números nos círculos indicam os dias, a partir do início do diagrama, em que os eventos correspondentes ocorrerão. Esta é uma das formas possíveis de se representar um diagrama de rede.

Figura 31 - Exemplo de diagrama de rede. (MATTOS, 2010).

Código	Atividade	Predecessoras	Duração (dias)
A	Limpeza do terreno	—	1
B	Locação da fundação	A	1
C	Escavação da fundação	B	3
D	Montagem das formas	C	2
E	Fornecimento do aço	—	5
F	Preparação da armação	E	4
G	Colocação da armação	D, F	4
H	Mobilização da betoneira	—	6
I	Instalação/teste da betoneira	A, H	2
J	Concretagem	G, I	1

Figura 32 - Atividades apresentadas no diagrama de rede (MATTOS, 2010).

Existem dois métodos principais para cálculo da duração do empreendimento associados aos diagramas de rede: o CPM (sigla para *Critical Path Method* ou Método do Caminho Crítico), que considera as durações das atividades de forma determinística; e o PERT (sigla para *Program Evaluation and Review Technique* ou Técnica de Avaliação e Revisão do Programa), que trata as durações de forma probabilística (CHRISTIAN, 1981; LIMMER, 1997). Para ambos os métodos, a forma de construção do diagrama de rede anteriormente descrita é aplicável.

Tendo sido construída uma primeira versão do diagrama de rede, é necessário avaliar os recursos necessários para a execução das atividades (materiais, equipamentos e recursos humanos), uma vez que as durações individuais das

atividades usadas no cálculo da rede implicam em um comprometimento de recursos suficientes para cada atividade, de modo a compatibilizar o volume de trabalho com a produtividade que pode ser obtida com esses recursos (HALPIN; WOODHEAD, 1980; HARRIS; MCCAFFER, 2006). Em relação às restrições impostas pelos recursos, Harris e McCaffer (2006) explicam que existem duas categorias de problema: “limitado pelo tempo”, em que a atividade precisa ser completada dentro de um determinado tempo e o recurso é dimensionado em função dessa necessidade; e “limitado pelo recurso”, em que a atividade precisa ser completada dentro dos recursos disponíveis, mesmo que isso signifique estendê-la além do prazo inicialmente estabelecido. Nota-se, portanto, que a avaliação da disponibilidade de recursos pode alterar o planejamento estabelecido. Além disso, deve-se dimensionar os recursos de modo a usá-los de forma balanceada (CHRISTIAN, 1981; MATTOS, 2010).

Existe ainda outra ferramenta, empregada no caso de obras com características repetitivas (rodovias, ferrovias, conjuntos habitacionais e até mesmo edifícios de múltiplos pavimentos), chamada linha de balanço ou diagrama tempo-caminho (GOULD, 1987; LIMMER, 1997; MATTOS, 2010). Nessa ferramenta, que se assemelha a um gráfico, o eixo horizontal representa a escala de tempo e o eixo vertical representa o progresso ou as unidades acumuladas correspondentes ao avanço físico (exemplo: km de estrada) (LIMMER, 1997). As atividades são representadas por meio de linhas traçadas no gráfico, cuja inclinação indica o ritmo da atividade (LIMMER, 1997; MATTOS, 2010). É possível também representá-las por meio de faixas, em que a espessura corresponde à duração da atividade (MATTOS, 2010). As linhas de balanço partem da premissa de que a taxa de produção por atividade é uniforme, ou seja, o avanço da unidade é considerado linear (MATTOS, 2010). Com isso, é possível balancear os recursos, de modo a eliminar tempos ociosos e sobreposição de atividades, definindo para cada atividade a equipe ótima (HARRIS; MCCAFFER, 2006). A Figura 33 apresenta um exemplo de linha de balanço.

Figura 33 - Exemplo de linha de balanço para obra de instalação de dutos enterrados (MATTOS, 2010).

Independentemente da ferramenta de planejamento a ser utilizada, tem sido grande o emprego de *softwares* computacionais de auxílio ao planejamento (HUANG et al., 2007), sobretudo devido ao alto volume de informações a ser processado no planejamento de um empreendimento (CHRISTIAN, 1981; HARRIS; MCCAFFER, 2006). Segundo Limmer (1997), são diversos os programas disponíveis, com diferentes características: enquanto alguns *softwares* só executam operações elementares de planejamento (exemplo: traçado de um gráfico de Gantt), outros permitem realizar o nivelamento automático de recursos e fornecem relatórios sob forma gráfica de alta sofisticação. Afirmam, ainda, que existe uma tendência de se integrar os programas utilizados no planejamento da construção com módulos de CAD (*Computer-Aided Design* ou projeto auxiliado por computador), possibilitando a transferência direta de dados de projeto para o planejamento e facilitando a montagem da EAP, a tipificação dos serviços e o levantamento de quantidades de atividades e serviços. Entre os *softwares* comumente utilizados para o planejamento de empreendimentos, destacam-se o MS Project® e o Primavera®. Entretanto, essas ferramentas computacionais não são foco deste trabalho e, por isso, não serão detalhadas.

3.2.3 Limitações do planejamento tradicional

A forma tradicionalmente adotada pela construção de edifícios para a realização do planejamento apresenta limitações importantes, principalmente no que diz respeito à suficiência das informações sob o ponto de vista da produção, ou, em outras palavras, ao grau de definição dos processos de construção. Segundo Li et al. (2008), um empreendimento de construção pode ser caracterizado como um processo experimental, guiado por informações de projeto e planejamento que, na maioria das vezes, são insuficientes, incompletas e contêm erros – a discussão da

qualidade das informações de projeto foge ao escopo do presente trabalho, apesar de exercer influência sobre a produção (por exemplo, paradas devido a indefinições de projeto e falta de detalhes construtivos).

Sobre a qualidade das informações de planejamento, Serpell e Tapia (2009) conduziram uma pesquisa com 60 construtoras de edificações residenciais no Chile, cujo objetivo foi aferir o grau de domínio das empresas em relação ao planejamento de seus processos de construção. Para isso, os autores listaram 10 variáveis consideradas fundamentais para o planejamento e seleção de processos e os resultados dessa pesquisa, baseada em entrevistas com gestores das empresas, estão apresentados no Quadro 1.

Variáveis	avaliação do domínio				
	muito mau	mau	deficiente	bom	muito bom
Conhecimento dos procedimentos de projeto e seleção de processos	0%	0%	65%	33%	2%
Conhecimento dos requisitos de processo	0%	0%	43%	45%	12%
Análise dos recursos do processo	0%	2%	55%	43%	0%
Análise de diferentes métodos de trabalho	0%	0%	38%	37%	25%
Análise da capacidade do processo	22%	58%	18%	2%	0%
Desenvolvimento do projeto do processo	0%	2%	63%	35%	0%
Verificação do projeto do processo	0%	22%	67%	10%	2%
Controle da aplicação do processo	0%	0%	22%	52%	27%
Ações corretivas e de melhoria	0%	0%	55%	42%	3%
Planejamento do processo	0%	2%	33%	45%	20%

Quadro 1 - Análise do domínio das construtoras em relação às variáveis relativas ao planejamento de processos (adaptado de Serpell e Tapia (2009)).

Observa-se que a maior parte das empresas (65%) diz ter domínio limitado sobre seus procedimentos de planejamento e seleção de processos de construção. Além disso, 55% das empresas consideram deficiente a análise que conduzem acerca dos recursos necessários ao processo, e 98% avaliaram desde deficiente até muito mal sua análise da capacidade do processo (a capacidade, nesse caso, refere-se ao grau em que o processo de construção consegue atender aos requisitos de qualidade e produção estabelecidos para o empreendimento). Além disso, os autores destacam que, apesar da maioria das empresas ter afirmado que se preocupa com o planejamento, muitas reconheceram que essa atividade não é feita em detalhe. Em geral, a abordagem mais comumente usada é um gráfico de Gantt simples, sendo que o planejamento não está necessariamente relacionado às decisões sobre a seleção de processos e às suas características (SERPELL; TAPIA,

2009). Desse trabalho é possível concluir que existem dois problemas: a falta de detalhamento do planejamento e a incompatibilidade entre o que está definido no cronograma do empreendimento e as características e restrições dos processos de construção a serem utilizados.

Analisando-se a incompatibilidade de informações entre planejamento e processos, Ballard et al. (2001) explicam-na da seguinte maneira: a EAP divide a execução total do empreendimento em atividades que são atribuídas a diversas empresas de execução subcontratadas, configurando pacotes de trabalho distintos; entretanto, a premissa assumida por este raciocínio é falha, pois as atividades de construção são tipicamente interdependentes e, portanto, não poderiam ser divididas dessa forma. Kirsch (2008) afirma que o planejamento na construção concentra-se somente na definição de datas de início e término dos pacotes de trabalho e na atribuição de responsabilidades para cada um deles, sem necessariamente refletir sobre o processo de execução do edifício. Mattos (2010) apresenta constatação semelhante, ao colocar que o planejamento muitas vezes prescinde de análise apurada, carecendo de informações consistentes.

Quanto à falta de detalhamento e de suficiência das informações de planejamento da construção, Mikaelsson e Swensson (2008), que caracterizaram o planejamento de empresas na Suécia, afirmam que uma das características da forma de trabalho das construtoras analisadas é tratar a produção e a organização do trabalho com baixa prioridade. Deixam-se cada vez mais decisões a serem tomadas pelos que conduzem o trabalho, ou seja, as equipes de campo, o que não poderia ser caracterizado como planejamento. De acordo com Mattos (2010), enquanto algumas construtoras se esforçam por gerar cronogramas detalhados e aplicar programações semanais de serviço, outras creem que a experiência de seus profissionais é suficiente para garantir o cumprimento do prazo e do orçamento. Além disso, segundo Costa, Schramm e Formoso (2004), devido ao caráter único dos empreendimentos de construção, é aceito no setor que os processos também são únicos e devem ser resolvidos no momento de sua execução, pelo engenheiro, empreiteiro ou mestre de obras; prática constatada também por Tauk (2000) e Cardoso (2001).

Também contribui para a falta de detalhamento a cultura do setor de considerar os processos de construção de conhecimento geral ou óbvios, de modo que eles não

precisariam ser minuciosamente planejados (KEHL, 1997). Entretanto, isso nem sempre é verificado em campo (principalmente em momentos de escassez de mão de obra, em que se faz necessário recorrer a recursos humanos com pouca experiência), além de ter como consequência que os processos são executados da forma como sempre foram feitos, sem necessariamente refletir as melhores práticas (SERPELL; TAPIA, 2009). Segundo Kehl (1997), essa postura traz diversos impactos indesejáveis: dificulta o treinamento de pessoas não qualificadas e a divisão do trabalho, gera perda de tempo e desperdício de materiais e, finalmente, frustra o esforço de coordenação e controle da obra. Cria-se, assim, um ambiente negativo de trabalho, sobrecarregando os gestores e mestres de obra, que precisam constantemente lidar com problemas urgentes (MIKAELSSON; SWENSSON, 2008).

A partir da caracterização apresentada, é possível constatar que o processo de planejamento tradicionalmente empregado na construção não contém os elementos necessários para se planejar os processos de construção de forma detalhada (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SOUZA, 1996) e, portanto, não seria o modelo adequado para a produção industrializada de edificações habitacionais. Sendo assim, buscou-se reunir outros modelos para a elaboração do planejamento da construção, que apresentassem elementos semelhantes aos estabelecidos pelo planejamento de processos da indústria de manufatura, os quais são apresentados nos itens a seguir.

3.3 PROJETO PARA PRODUÇÃO

A elaboração do projeto para produção surge como uma proposta de detalhamento de aspectos relativos ao processo de construção dos edifícios. Uma das primeiras definições para o termo “projeto para produção”, no âmbito nacional, amplamente adotada até os dias de hoje, foi registrada por Melhado (1994) como sendo:

Conjunto de elementos de projeto elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de: disposição e sequência de atividades de obra e frentes de serviço; uso de equipamentos; arranjo e evolução do canteiro; dentre outros itens vinculados às características e recursos próprios da empresa construtora.

Publicações posteriores envolvendo esse autor apresentam definições semelhantes. Melhado e Fabrício (1998), por exemplo, afirmam que os projetos para produção devem conter informações que subsidiem a execução do empreendimento, tais

como: a forma de empregar os materiais de construção; como obter o melhor desempenho na execução de tarefas; a sequência de atividades; entre outros, o que coincide com o entendimento de Aquino (2004). Melhado (2005) e Maneschi e Melhado (2010) estabelecem que os projetos para produção tenham como objetivo definir como e com quais recursos serão produzidos o produto, distinguindo-os dos projetos do produto, que indicam o que deverá ser entregue. Observa-se, portanto, que se trata de um documento (ou conjunto de documentos) específico, que reúne informações sobre o processo de construção da edificação (sequência executiva e equipamentos) e sobre o local em que ela ocorre (canteiro de obras).

Há autores que atribuem ao projeto para produção também a definição de detalhes construtivos do produto, como Barros e Sabbatini (1996), que estabelecem que o projeto para produção seja realizado em duas partes: a primeira focada na interface do subsistema projetado (ex: vedação vertical) com as demais disciplinas de projeto, especificando-se os detalhes construtivos compatíveis com as características de produção; e a segunda focada na interface com a produção propriamente dita, especificando-se detalhes do processo de execução. Souza e Melhado (1998) e Dueñas Peña e Franco (2004) compartilham dessa concepção, assim como Chalita (2010), que define que o “projeto para produção [...] engloba o projeto do processo e incorpora o projeto do produto, o planejamento e a gestão da produção [...]”.

É importante observar que, além de projeto para produção, existem outros termos em uso que se aplicam ao mesmo tipo de conteúdo, tais como “projeto voltado à produção”, “projeto de produção” e “projeto da produção” (CHALITA, 2010). Melhado (2005), no entanto, aceita como corretos somente os termos “projeto para produção” e “projeto voltado à produção”, pois os demais (“projeto de/da produção”) teriam um significado diferente. Segundo Fabrício e Melhado (1998) e Aquino (2004), as atividades repetitivas, comuns a todos os empreendimentos de uma empresa, são descritas pelo “projeto da produção”; enquanto as características específicas de cada obra fazem parte do “projeto para produção”. Dessa forma, o “projeto da produção” tem como objetivo o aprimoramento do sistema de produção da empresa, com foco na tecnologia de produção; e o “projeto para produção” tem foco no desenvolvimento dos processos críticos de cada obra, em sua construtibilidade e na otimização da obra (MELHADO; FABRÍCIO, 1998). Ou seja, o “projeto da produção”

é geral e o “projeto para produção” é específico para um empreendimento, mas ambos contêm informações semelhantes.

Tomando-se como referência o termo “projeto para produção”, em nenhuma das conceituações apresentadas ele assume significado equivalente ao de sua tradução para o inglês “*design for manufacturing*”, que consiste em uma metodologia de projeto do produto com foco na sua manufaturabilidade (vide item 2.3.1). Isso evidencia uma divergência de conceitos entre a bibliografia nacional da área de construção de edifícios e da indústria de manufatura. Essa divergência se repete em relação a publicações internacionais sobre construção, tais como Cox et al. (1999), Fox, Marsh e Cockerham (2001), Omigbodun (2001) e Pedreschi (1999), que utilizam o termo “*design for manufacturing*” em concordância ao seu entendimento pela manufatura e não com o conceito atribuído pela bibliografia nacional analisada. Uma vez que não é objetivo deste trabalho discutir tais diferenças e tendo-se esclarecido o entendimento do termo “projeto para produção” na construção de edifícios pelo meio técnico e acadêmico nacional, na sequência, serão analisados somente seus elementos que dizem respeito ao planejamento dos processos de construção, quais sejam:

- definição da sequência de atividades (operações, inspeções, transportes, esperas e estoques);
- definição dos recursos das atividades (equipamentos, ferramentas, recursos humanos);
- definição dos parâmetros do processo (tempo de execução, velocidades de processamento, entre outros).

Para isso, foram consultados escopos disponíveis em Melhado (2005) e Maneschi e Melhado (2010) para os projetos para produção de diferentes serviços. Foram identificados os seguintes itens relativos ao planejamento do processo de construção, ainda que não tenham sido fornecidos exemplos por ambos os autores:

- procedimento de execução e controle, com passo-a-passo das atividades;
- estabelecimento das condições para o início da execução;
- definição das frentes de trabalho;
- especificação de equipamentos e ferramentas para execução e controle;
- lista de pontos de verificação para controle de qualidade;

- definição dos intervalos mínimos de tempo que devem ser respeitados entre os serviços.

Ou seja, o planejamento do processo é feito empregando-se procedimentos de execução, normalmente pertencentes ao Sistema de Gestão da Qualidade das empresas e que, portanto, são incorporados aos projetos para produção. Chalita (2010) compartilha dessa visão e a exemplifica com alguns procedimentos de execução apresentados na Figura 34 e na Figura 35.

SERVIÇO: ELEVÇÃO DE ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS OU BLOCOS DE CONCRETO	
1. OBJETIVO	
O objetivo deste procedimento é padronizar a elevação de alvenaria com blocos cerâmicos ou blocos de concreto.	
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	
Projeto para Produção de Vedações Verticais (para pavimento tipo)	
Projeto de Arquitetura para demais alvenarias;	
PE.ALV.05 - Procedimento para execução de tubulação seca em alvenaria I;	
PE.INS.02 - Procedimento para execução de embutimento de eletroduto em laje;	
PE.ALV.04 - Procedimento para execução de pré-moldados para alvenaria;	
PE.ARG.01 - Produção Industrializada de Argamassa em Canteiro de Obra.	
3. FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS	
DESCRIÇÃO	
Linha de nylon	
Colher de pedreiro	
Bisnaga ou espaleta para assentamento de blocos	
Régua Técnica de 2 m com nível bolha	
Carrinho para transporte de blocos	
Carrinho p/ transporte de massa	
Caixote de massa c/ suporte	
Andaimes metálicos	
Escantilhões com régua móvel (Ref. Escantilhão Telescópico da Equipaobra)	
Giz de cera para marcação	
Metro / Trena	
Pistola Hilti (Ref.: DX-A41)	
Nível de bolha (20 a 30 cm)	
Galga de marcação das telas	
Prumo de Face	
Argamassadeira de eixo horizontal (conforme PE.ARG.01)	
Nível alemão	
Esticador de Linha	

Figura 34 - Exemplo de procedimento de execução pertencente ao projeto para produção de vedações verticais (elevação de alvenaria). (CHALITA, 2010). Observa-se a listagem de ferramentas e equipamentos.

Figura 35 - Exemplo de procedimento de execução pertencente ao projeto para produção de vedações verticais (furações em lajes para passagens hidráulicas) (CHALITA, 2010). Observa-se a sequência de execução descrita.

Em alguns casos, no entanto, o projeto para produção não se vale dos procedimentos de execução da empresa, mas apresenta os detalhes da execução em uma recomendação específica, normalmente inclusa em um componente denominado “caderno de detalhes, recomendações e especificações técnicas” (MELHADO, 2005). Alguns exemplos de sequências de execução detalhadas nesse tipo de documento são ilustrados na Figura 36 e Figura 37, extraídas de Chalita (2010).

Figura 36 - Exemplo de orientação para execução de caderno de especificações e recomendações técnicas de projeto para produção - procedimentos para aplicação de telas de amarração da alvenaria (CHALITA, 2010).

Figura 37 - Exemplo de projeto para produção de vedações verticais - detalhamento da central de produção de peças pré-moldadas. O retângulo vermelho destaca a sequência de atividades para concretagem das peças (CHALITA, 2010).

Há ainda outros elementos do projeto para produção que se destinam a estabelecer o planejamento do processo de construção. Chalita (2010), por exemplo, apresenta a sequência de execução das paredes de vedação de um empreendimento (Figura 38), enquanto Souza (1996) apresenta a definição dos fluxos físicos das atividades pertencentes à produção de lajes de concreto armado (Figura 39).

Figura 38 - Exemplo de ciclo de produção que define a sequência de execução das paredes no pavimento tipo, pertencente ao projeto para produção de vedações verticais (CHALITA, 2010).

Figura 39 - Elementos do projeto para produção de lajes: a) sentido de concretagem em cada painel; b) posicionamento dos caminhos de concretagem (SOUZA, 1996).

O baixo número de exemplos de informações de processo em projetos para produção encontrados na bibliografia deve-se a que poucos desses projetos contêm informações relativas à produção, restringindo-se, na maior parte dos casos, ao detalhamento construtivo de um determinado subsistema. Aquino e Melhado (2004) constataram essa deficiência, bem como Dueñas Peña e Franco (2004). Segundo esses últimos autores, isso ocorre porque os itens de processo não fazem parte do escopo do serviço dos escritórios que desenvolvem os projetos para produção. A terceirização da elaboração desses “projetos” tem sido prática comum das empresas construtoras (CHALITA, 2010; MELHADO; FABRÍCIO, 1998); entretanto, isso exerce efeitos negativos sobre seu conteúdo, uma vez que os terceiros não têm domínio da tecnologia construtiva empregada pela construtora e esse arranjo dificulta a participação de pessoas com domínio dos processos, como, por exemplo, os engenheiros de obra (AQUINO; MELHADO, 2004).

No que diz respeito aos benefícios da implantação dos projetos para produção, eles têm se destacado no mercado em função do seu potencial de racionalização

(DUENÑS PEÑA; FRANCO, 2004). Essa racionalização decorre de diversos aspectos, além da definição do processo de construção: auxílio na avaliação da construtibilidade dos projetos do produto (MELHADO; FABRÍCIO, 1998); fomento da articulação dos projetos do produto com a execução da obra (FABRÍCIO; MELHADO, 1998); e fornecimento de subsídios para a produção, retirando das mãos de quem produz a tomada de decisões no canteiro de obras (AQUINO; MELHADO, 2004). Segundo Dueñas Peña (2003), os benefícios obtidos são: aumento da produtividade, diminuição dos custos de produção, redução no número de incertezas no decorrer da produção, redução dos problemas decorrentes da interferência de serviços entre os demais subsistemas, redução do retrabalho e de desperdícios e diminuição de problemas patológicos. Esses benefícios são ainda maiores se a elaboração do projeto para produção tiver início simultâneo ao desenvolvimento dos projetos do produto, pois, dessa forma, questões relativas à construção poderiam exercer influência sobre as definições do projeto do edifício – trata-se de uma forma de aplicação do conceito de “Engenharia Simultânea” (AQUINO; MELHADO, 2001; CORRÊA, ANDERY, 2007).

3.4 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Outro modelo para o planejamento na construção de edifícios é a elaboração do Projeto do Sistema de Produção (PSP). De acordo com Silveira, Heineck e Alves (2008), Souza Neto e Hirota (2007), o PSP contempla todas as decisões sobre o sistema de produção que antecedem o processo de planejamento e controle da produção, ou seja, trata da estruturação do sistema de produção. Segundo Schramm, Costa e Formoso (2006), o PSP consiste no processo de análise e discussão de alternativas de organização do sistema de produção do empreendimento e na seleção da alternativa mais adequada à consecução de um desempenho adequado desse sistema durante a etapa de execução. Traduzindo este conceito para a prática, no PSP são tomadas as decisões relativas à maneira como o produto (empreendimento) deverá ser produzido, envolvendo escolhas de combinações de recursos humanos, equipamentos e materiais; assim como a seleção de insumos, operações, fluxos de trabalho e métodos para produção (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

O PSP se diferencia do planejamento tradicional de empreendimentos à medida que muda a concepção de produção de uma simples transformação de entradas em saídas para um conceito mais amplo, que considera o fluxo e o caráter de geração de valor da produção (BALLARD et al., 2001). Enquanto o planejamento tradicional se foca na definição da estrutura organizacional e na criação de estruturas analíticas de projeto que dividem o trabalho a ser feito, o PSP baseia-se em uma visão sistêmica, buscando analisar os processos produtivos com vistas à otimização do sistema de produção como um todo, estando, portanto, alinhado à *Lean Construction* (BALLARD et al., 2001; COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

Para iniciar o detalhamento do conteúdo do PSP, a Figura 40 sintetiza os principais componentes e fases que o constituem. Outros autores propõem estruturação semelhante, tais como Schramm, Costa e Formoso (2006), Schramm, Rodrigues e Formoso (2007), Silveira, Heineck e Alves (2008), Souza Neto e Hirota (2007).

Figura 40 - Fluxo de atividades para elaboração do Projeto do Sistema de Produção (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

Da Figura 40, observa-se, primeiramente, a separação entre o PSP e o Planejamento e Controle da Produção (PCP). Segundo Silveira, Heineck e Alves (2008), cabe ao PCP operacionalizar o que foi definido pelo PSP, motivo pelo qual o PSP é uma das primeiras tarefas administrativas a ser realizada para a produção de um empreendimento (MOTA; ALVES, 2008).

Observa-se, ainda, o estabelecimento da “unidade base de produção”, termo definido por Schramm, Costa e Formoso (2006) como “uma unidade repetitiva que, conforme as características do empreendimento em estudo, pode ser representada por um pavimento, um apartamento, uma casa ou um sobrado”. A esta unidade-base

é possível atribuir uma sequência específica de atividades e definir um tempo de ciclo para sua produção, facilitando a estruturação do sistema de produção do empreendimento como um todo (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

A primeira atividade do PSP consiste na definição da sequência de execução da unidade-base de produção objeto de análise, simultaneamente à definição dos equipamentos e mão de obra e ao pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção. Para isso, no entanto, outras decisões se fazem necessárias: (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006; SOUZA NETO; HIROTA, 2007):

- seleção das tecnologias a serem empregadas, em termos de materiais, sistemas construtivos e equipamentos;
- nível de integração vertical, ou seja, decisão de quais materiais ou processos serão executados pela empresa ou adquiridos de fornecedores.

Para representação da sequência de execução, o diagrama de precedência ou diagrama de rede, conforme apresentado na Figura 41 é indicado por diversos autores (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SCHRAMM; COSTA FORMOSO, 2006; SOUZA NETO; HIROTA, 2007), pois ele permite a visualização dos diversos processos que compõem a produção da unidade-base e suas interdependências.

Figura 41 - Diagrama de rede (ou de precedência) para execução da unidade-base de um conjunto habitacional de prédios (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

Observa-se que o diagrama de rede apresentado na figura 11 não contém as durações das atividades, o cálculo da duração total e a identificação do caminho

crítico, assemelhando-se a um fluxograma constituído apenas de atividades operacionais.

Para representar os recursos designados aos processos de produção e seu pré-dimensionamento, é proposta a planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção, ilustrada pela Figura 42, (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

Empresa		Data		
Obra		Engenheiro Responsável		
PRÉ DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES E EQUIPAMENTOS				
ATIVIDADE	EQUIPAMENTO	EQUIPE	Unidade-base	DURAÇÃO (dias)
Marcação das Fundações	Equipamento toográfico	Everson	Bloco	1
Estacas (broca strauss)	Caminhão de broca	1O - 1A - 3S	Bloco	6
Vigas de fundação (forma)		8C - 3S	Bloco	5
Vigas de fundação (ferro)		4F	Bloco	
Vigas de fundação (concreto)		2P - 8S	Bloco	
Vigas de fundação (desforma)		1C	Bloco	1
Impermeabilização			Bloco	
M - maquinista; C - Carpinteiro; F - Ferreiro; P - Pedreiro; S - Servente; E- Eletricista; H - Hidráulico				

Figura 42 - Planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

Nesta planilha, constam: identificação de cada atividade; recursos necessários (mão de obra e equipamentos); unidade-base e tempos de ciclo (tempo de conclusão de uma unidade repetitiva) (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004). Para este caso específico, a planilha contém as atividades necessárias à execução das fundações (incluindo estacas, vigas baldrame e impermeabilização) de um bloco (torre) do empreendimento; ou seja, nesse caso, o “bloco” é a unidade-base definida.

A segunda etapa do PSP consiste na definição dos fluxos de trabalho na unidade-base. O estudo desses fluxos tem como objetivo identificar possíveis interferências entre as atividades, nas dimensões espaço e tempo, de modo a ajustar a distribuição das equipes ou o ritmo de produção das atividades para que a produção ocorra sem interrupções ou picos. A ferramenta usada nesse caso é a linha de balanço (Figura 43), devido à sua característica de fornecer, de forma gráfica e de fácil compreensão, as trajetórias e os ritmos de produção das equipes, as interferências, as durações das atividades e as folgas existentes no processo (MOTA; ALVES, 2008; SCHRAMM; RODRIGUES; FORMOSO, 2007).

Figura 43 - Linha de balanço para execução de um bloco/ torre (unidade-base) de um conjunto habitacional de prédios (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

Resolvido o sistema de produção na escala da unidade-base, a próxima etapa do PSP consiste na definição do plano de ataque para o empreendimento, também denominado de “estratégia de execução do empreendimento” (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). Basicamente, o plano de ataque estabelece a trajetória a ser percorrida pelas diversas equipes ao longo da execução do empreendimento, para a produção das diversas unidades-base que o compõem (SOUZA NETO; HIROTA, 2007) (Figura 44).

Figura 44 - Exemplo de plano de ataque de um empreendimento (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

Na Figura 44, a parte de baixo define o caminhamento horizontal da equipe entre os blocos (torres) a serem executados, e a parte de cima define o caminhamento vertical dentro de cada bloco ou entre blocos (torres). Os números representados nas elevações correspondem às semanas em que os pavimentos (alvenaria ou laje) são executados (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

Paralelamente à definição do plano de ataque do empreendimento, devem ser estudados seus fluxos de trabalho. Nessa etapa, são analisados os efeitos das decisões tomadas anteriormente sobre os fluxos físicos, especialmente em relação ao plano de ataque definido, de modo a minimizar a necessidade de transporte e a ajustar os ritmos de produção dos processos para garantir a continuidade no fluxo de trabalho (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SOUZA NETO; HIROTA, 2007). Além disso, na sincronização dos processos, deve-se levar em consideração a disponibilidade de capacidade dos recursos de produção que são compartilhados por diferentes segmentos do empreendimento (por exemplo, guindastes) (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). Por este motivo, o estudo dos fluxos de trabalho tem interface com a definição do *layout* do canteiro e dos equipamentos de transporte horizontal e vertical (SOUZA NETO; HIROTA, 2007). Desse estudo resulta a definição do número de frentes de trabalho que serão abertas no empreendimento (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). A ferramenta indicada para o estudo de fluxos de trabalho no empreendimento, assim como no estudo dos fluxos de trabalho para a unidade-base, é o diagrama de sincronia (Figura 45).

Figura 45 - Diagrama de sincronia (ou linha de balanço) para execução de um empreendimento (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

É necessário ainda dimensionar a capacidade dos recursos de produção, ou seja, dos equipamentos e da mão de obra, a partir dos estudos dos fluxos de trabalho e dos dados do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos realizado na escala da unidade-base (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). Nessa etapa, os recursos de maior importância para o dimensionamento de sua capacidade são aqueles compartilhados pelos diversos processos e que, portanto, não foram considerados no pré-dimensionamento, como, por exemplo, os equipamentos de transporte. Souza Neto e Hirota (2007) afirmam que, para a definição dos sistemas de transporte, devem ser considerados os estudos dos fluxos de trabalho e o plano de ataque, que determinam a demanda por transporte, bem como os dados sobre a capacidade de cada equipamento, encontrados na literatura ou fornecidos pelos fabricantes. Essas informações sobre o dimensionamento de recursos são representadas por planilhas e histogramas (Figura 46) (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

Figura 46 - Histograma de mão de obra para o empreendimento (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

Por fim, há a identificação e o projeto dos processos críticos para o empreendimento. Souza Neto e Hirota (2007) definem processos críticos como “aqueles com uma capacidade individual que limita ou pode vir a limitar a capacidade de produção do sistema inteiro, caso sejam gerenciados inadequadamente”, entendimento compartilhado por Schramm, Costa e Formoso (2006). Segundo os últimos autores, o projeto de processos críticos deve compreender, de forma geral, sua sequência de execução e a alocação dos recursos necessários; podendo-se fazer uso de uma série de ferramentas para isso, tais como: estudo de *layout* e de capacidade do processo, planilha de definição da sequência de execução do processo; planilha de avaliação da capacidade *versus* demanda, entre outros – entretanto, os autores não exemplificam nenhuma dessas ferramentas.

Entre os benefícios da elaboração do PSP, além da otimização global do sistema de produção, é possível citar: melhoria da previsibilidade das atividades de produção, devido à redução de sua variabilidade advinda da padronização de diversos aspectos que podem ser considerados repetitivos nos sistemas de produção de cada empresa; favorecimento da aprendizagem das equipes, a partir do referencial estabelecido pelo PSP; criação de um ambiente propício à melhoria contínua; e identificação de possibilidades de compartilhamento de recursos entre processos

diferentes de um mesmo sistema (MOTA; ALVES, 2008; SOUZA NETO; HIROTA, 2007). Assim como no caso dos “projetos para produção” (item 3.3), também no caso do PSP os benefícios são maiores quanto antes se der sua implantação, de modo que possa influenciar no projeto do produto (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

Apesar dos benefícios do PSP, o setor tem dado pouca atenção a esse modelo, porque os empreendimentos na construção de edifícios usualmente são de caráter único e, portanto, os sistemas de produção configurados para executá-los são temporários, levando muitos a acreditarem que a elaboração do PSP não valeria a pena (SCHRAMM; RODRIGUES; FORMOSO, 2007; SOUZA NETO; HIROTA, 2007). Entretanto, ainda que os produtos não se repitam na maioria dos empreendimentos, existem alguns segmentos que mantêm características de repetitividade dos seus processos, como, por exemplo, a produção de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos, que reúne características favoráveis à elaboração do PSP (SOUZA NETO; HIROTA, 2007).

3.5 MAPEAMENTO DE PROCESSOS

Outra maneira de detalhar os processos construtivos é realizando o mapeamento dos processos de construção, que consiste em identificar todas as atividades que pertencem a um determinado processo, seu ordenamento e respectivos recursos. Dessa forma, torna-se possível verificar quais atividades agregam valor ao produto ou processo e quais não agregam, eliminando ao máximo as últimas (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004; SANTOS; HEINECK, 2006). Ressalta-se que, ao contrário das metodologias descritas nos itens 3.3 e 3.4, esse modelo normalmente é aplicado a processos de construção em operação, ou seja, ele retrata uma situação existente para que se possa promover uma melhoria (TZORTZOPOULOS; SEXTON; COOPER, 2005). Entretanto, é possível elaborar mapeamentos que representem o planejamento de um processo novo, e não uma situação existente; Tzortzopoulos, Sexton e Cooper (2005) diferenciam esses modelos empregando os termos “*as-is model*” (processo existente) e “*to-be model*” (processo em planejamento).

O mapeamento de processos é usualmente representado por um fluxograma operacional (SANTOS; HEINECK, 2006), também chamado de diagrama de

processo (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004) ou de mapa de processo (TZORTZOPOULOS; SEXTON; COOPER, 2005). O nível de detalhamento dos fluxogramas varia de acordo com o objetivo da análise a ser realizada (TZORTZOPOULOS; SEXTON; COOPER, 2006). Santos e Heineck (2006), por exemplo, elaboraram fluxogramas operacionais para diversos processos construtivos de vedações verticais – a Figura 47 exemplifica um desses fluxogramas relativo à montagem de painéis de vedação em concreto armado; a legenda para a simbologia adotada encontra-se na Figura 48.

Figura 47 - Fluxograma operacional para montagem de painéis pré-moldados de concreto (SANTOS; HEINECK, 2006).

Processamento	○
Armazenagem	△
Verificação	□
Transporte	↔
Decisão	◇
Espera	D
Atividades facilitadoras	
Retrabalho	●

Figura 48 - Simbologia adotada no fluxograma operacional (SANTOS; HEINECK, 2006).

Outro exemplo de fluxograma operacional é apresentado na Figura 49, aplicado à execução de alvenaria estrutural. Sales, Barros Neto e Almino (2004) tiveram como objetivo analisar as atividades de fluxo do processo, motivo pelo qual as atividades de execução não estão detalhadas (a execução da alvenaria, por exemplo, é representada como um único passo nomeado “execução do serviço”).

Figura 49 - Exemplo de diagrama de processo focado nas atividades de fluxo (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004).

Outra representação utilizada pelo mapeamento de processos é o mapofluxograma, que consiste na apresentação das atividades de fluxo apresentadas de forma espacial (planta ou croqui), o que permite maior facilidade de visualização da movimentação de materiais. Um exemplo de mapofluxograma, aplicado ao processo da Figura 49, é apresentado na Figura 50. É possível notar possíveis conflitos na movimentação de materiais no espaço de trabalho, servindo como mais um subsídio à análise dos processos.

Figura 50 - Exemplo de mapofluxograma (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004).

Diferentemente do PP e do PSP, o mapeamento de processos aborda atividades de fluxo, e não somente operações e inspeções. Entretanto, apesar de evidenciar a sequência das atividades e possibilitar o rearranjo de modo a eliminar aquelas que não agregam valor, os fluxogramas operacionais apresentados não fornecem informações detalhadas sobre os recursos empregados no processo, tampouco sobre os parâmetros do processo (tempos de ciclo, quantidades de recurso, etc.).

3.6 ESTUDO DE TEMPOS E MÉTODOS

Apesar do estudo de tempos e métodos estar se tornando gradativamente obsoleto na manufatura, conforme abordado no item 2.2, em sua aplicação na construção é possível observar o emprego de diversas ferramentas de planejamento de processos utilizadas na indústria seriada. Assim como na manufatura, o estudo de tempo e métodos é definido como um procedimento sistemático de investigação e melhoria das atividades de construção, sendo composto pelo estudo do método e pela medição do tempo de trabalho e tendo como objetivo examinar formas de trabalho para desenvolver métodos mais fáceis e efetivos de produção (CALVERT, 1995). Esse procedimento é indicado por diversos autores, que ressaltam seu potencial para aumentar a produtividade e melhorar o uso de recursos humanos e materiais nas atividades de construção (CALVERT, 1995; NUNNALLY, 1998; PILCHER, 1976). Entretanto, assim como na indústria, seu uso se justifica somente para atividades que empregam mão de obra alocada em processos altamente

repetitivos, de modo que seus resultados contribuam para a melhoria da gestão (HALPIN; RIGGS, 1992; PILCHER, 1976).

As principais ferramentas usualmente empregadas para o estudo de métodos na construção são (CALVERT, 1995; NUNNALLY, 1998; PILCHER, 1976):

- Diagrama de processo (*outline process chart*): representa somente as atividades de operação e inspeção, ordenadas na sequência, além de mostrar o momento em que os materiais são introduzidos no processo. Trata-se de uma ferramenta utilizada no início do estudo de métodos e serve, inclusive, para avaliar se será necessária uma análise mais aprofundada (Figura 51);

Figura 51 - Diagrama de processo para montagem de peça de madeira (PILCHER, 1976).

- Fluxograma de processo (*flow process chart*): além das operações e inspeções, representa as atividades de transporte, estoques e esperas, indicando, conforme a atividade, o tempo ou a distância empregados. A análise pode ser focada no fluxo descrito por um componente, um operário ou até mesmo um equipamento. O nível de detalhamento da análise dependerá do escopo do processo a ser registrado, e é comum o uso de formulários padronizados, similares ao apresentado na Figura 21 (Figura 52);

FLOW PROCESS CHART										NUMBER	PAGE NO.	NO. OF PAGES							
PROCESS Assemble Truss										101	1	1							
☒ MAN OR ☐ MATERIAL CHART BEGINS Parts stack CHART ENDS Parts stack CHARTED BY J. Doe DATE 7/13 ORGANIZATION E Z Construction										SUMMARY ACTIONS PRESENT NO. TIME PROPOSED NO. TIME DIFFERENCE NO. TIME OPERATIONS 10 137 TRANSPORTATIONS 9 90 INSPECTIONS 0 DELAYS 0 STORAGES 0									
DISTANCE TRAVELLED (Feet)										300									
DETAILS OF ☒ PRESENT METHOD	OPERATION	TRANSPORTATION	INSPECTION	DELAY	STORAGE	DISTANCE IN FEET	QUANTITY	TIME (sec)	ANALYSIS					NOTES	ANALYSIS				
									WHY?	HOW?	WHAT?	WHERE?	WHEN?		WHY?	HOW?	WHAT?	WHERE?	WHEN?
1 Remove chords from stack	○	○	○	○	○	2	3												
2 Transport chord to jig	○	○	○	○	○	25	2	10											
3 Position chords in jig	○	○	○	○	○	2	5												
4 Return to parts stack	○	○	○	○	○	25	6												
5 Remove rafters from stack	○	○	○	○	○	2	3												
6 Transport rafters to jig	○	○	○	○	○	25	2	10											
7 Position rafters in jig	○	○	○	○	○	2	5												
8 Return to parts stack	○	○	○	○	○	25	6												
9 Remove diagonals	○	○	○	○	○	2	3												
10 Transport diagonals	○	○	○	○	○	25	2	10											
11 Position diagonals in jig	○	○	○	○	○	2	5												
12 Return to parts stack	○	○	○	○	○	25	6												
13 Remove hanger from stack	○	○	○	○	○	1	3												
14 Transport hanger to jig	○	○	○	○	○	25	1	10											
15 Position hanger in jig	○	○	○	○	○	1	5												
16 Fasten truss plates	○	○	○	○	○	12	85												
17 Remove truss from jig	○	○	○	○	○	1	20												
18 Trans & stack truss	○	○	○	○	○	50	1	15											
19 Return to parts stack	○	○	○	○	○	75	17												
20	○	○	○	○	○														
21	○	○	○	○	○														
								Cycle time = 227 sec											

Figura 52 - Fluxograma de processo (NUNNALLY, 1998).

- Diagrama de fluxo (*flow diagram*): representa, em escala, a locação de todas as instalações físicas, máquinas e materiais envolvidos no processo, e utiliza a mesma simbologia para mostrar as locações e movimentações das atividades na planta relativas a um determinado processo. Normalmente utilizado em conjunto com o respectivo fluxograma de processo, é uma ferramenta útil para avaliar possíveis melhorias e reduções da quantidade de movimentação de material e da distância entre operações (Figura 53);

Figura 53 - Diagrama de fluxo (PILCHER, 1976).

- Gráfico de múltiplas atividades (*multiple activity chart*) ou gráfico de balanceamento de equipes (*crew balance chart*): representa diversas atividades simultâneas (de uma equipe, por exemplo) durante um determinado ciclo de produção, sendo útil para efetuar o balanceamento de tarefas em uma equipe, uma vez que tornam evidentes tempos ociosos de seus membros (Figura 54).

Figura 54 - Gráfico de múltiplas atividades (NUNNALLY, 1998).

As ferramentas pertencentes ao estudo de tempos e métodos na construção apresentam a definição da sequência de atividades (inclusive com atividades de fluxo), bem como o estabelecimento dos parâmetros de processo (tempos e distâncias, no fluxograma de processo, e balanceamento de recursos humanos, no gráfico de múltiplas atividades), cobrindo, portanto, grande parte das informações necessárias ao planejamento de processos. Entretanto, elas não apresentam os recursos necessários (por exemplo, especificação de equipamentos e ferramentas), que é uma parte importante do planejamento de processos (na manufatura, esta informação é veiculada pela folha de processo).

3.7 OUTROS MODELOS

Além dos modelos apresentados nos itens 3.3 a 3.6 para o planejamento de processos de construção, existem outras propostas isoladas, ou seja, que não chegam a configurar metodologias ou linhas de pesquisa, mas merecem ser analisadas pela sua potencial contribuição.

3.7.1 Sistema de documentação de processos

Roy, Low e Waller (2005) desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi criar um sistema de documentação de processos de construção baseado em conceitos similares implantados na indústria de motores. Os autores consideram essa documentação de fundamental importância para possibilitar a padronização dos processos com base em boas práticas, bem como para comunicar de forma clara a especificação da construção e os requisitos de qualidade ao pessoal de campo e à mão de obra contratada. Além disso, os autores afirmam que esse modelo tem como finalidade servir como base para desenvolver o pensamento em função de processos na construção, o que favorece a visualização de interferências entre atividades, a identificação de atividades que não agregam valor, entre outros benefícios, melhorando assim a qualidade do planejamento efetuado.

A proposta de Roy, Low e Waller (2005) baseia-se na elaboração de um documento denominado folha de processo (*process sheet*). Cada folha de processo descreve uma operação autônoma do processo geral de construção. Apresenta a sequência de atividades de execução, os materiais e componentes necessários em cada uma dessas atividades e respectivas quantidades, os requisitos de qualidade,

informações sobre segurança do trabalho (os equipamentos de proteção a serem utilizados são representados por ícones), bem como uma ilustração do processo para facilitar seu entendimento. Os autores afirmam ainda que a folha de processo tem como objetivo reunir informações que se encontram dispersas em uma multiplicidade de documentos, o que frequentemente leva a confusão e falta de controle sobre a execução. A Figura 55 apresenta um exemplo de folha de processo não preenchido e a Figura 56 apresenta outro exemplo de documento de processo, que, no entanto, não segue o padrão proposto pela folha de processo.

Process Method Sheet				House Type: Module: Option:	Issued by: Date: Telephone:
Hazard icons				Safety Factors	
Illustration					
Element	Method Statement	Materials/ Parts	Qty		
Quality Issues:					
Reason for Change		Name	Date		
Operation No.	Version	Build Stage	Sheet Description		Page No.

Figura 55 - Folha de processo (ROY; LOW; WALLER, 2005).

Illustration

Method Statement

- 1 Place seal on top of DPC. Note: Lap Joints at corners required.
- 2 Position panel with 10mm overlap (i.e. cement board thickness) ensuring accuracy of plumb and line. Ensure studwork at end of panel level with foundation. Brace panels as shown in diagram.
- 3 Complete corner assembly (op 2080) before continuing subsequent joint.
- 4 FF panels to be skew screwed at 1200mm centres.

Quality Issues

All panels to be accurately positioned ensuring walls are level and plumb. If cement board is broken on edges ensure repair is done (Op 2230). Maximum wall panel weight equal to 550kg.

Figura 56 - Exemplo de documento de processo (ROY; LOW; WALLER, 2005).

A simplicidade da linguagem das folhas de processo é fundamental para que o documento possa ser compreendido e efetivamente utilizado pelo público-alvo, composto pelas equipes de campo e pela mão de obra. Eles devem se concentrar nos aspectos críticos para a qualidade, eficiência e um ambiente seguro de operação; devem evitar, ainda, descrições textuais extensas e utilizar ilustrações sempre que possível (ROY; LOW; WALLER, 2005).

Os autores propõem ainda um sistema de combinação entre folhas de processos relativas a elementos distintos do edifício, de modo a possibilitar a customização em massa (*mass customization*) na produção industrializada de residências. Para isso, é criada uma estrutura hierárquica, baseada nas características de projeto (módulos) existentes (Figura 57). Pela identificação das características do edifício a ser construído dentro das possibilidades existentes, é possível compor o correspondente planejamento de processo.

Figura 57 - Estrutura hierárquica para composição de processo de construção a partir de opções de características de projeto (ROY; LOW; WALLER, 2005).

Comparando as informações disponibilizadas nas folhas de processo aos elementos necessários ao planejamento de processos, observa-se que estão presentes a definição da sequência de atividades (operações e inspeções) e o estabelecimento de alguns parâmetros (quantidades de materiais e requisitos de qualidade). Falta, no entanto, a definição dos recursos (equipamentos, recursos humanos) para que esta abordagem possa ser considerada adequada ao planejamento completo de processos de construção.

3.7.2 Projeto de processos

Cardoso (2001) propõe a elaboração do “projeto do processo” na construção de edifícios, que tem como objetivo definir a execução de um determinado serviço de construção a ser feito, bem como garantir que as soluções adotadas pelas áreas envolvidas com o serviço sejam suficientemente detalhadas. Para isso, além de explicitar a sequência de atividades, o projeto do processo deve conter informações sobre o uso de equipamentos e ferramentas, além de especificar o uso e a quantidade de materiais inerentes à execução do serviço.

Cardoso (2001) destaca que o projeto do processo deve ser elaborado em linguagem fácil e apropriada ao entendimento de quem for executar o serviço, contendo unidades de medidas únicas e simplificadas e informações precisas e

simples. É importante também que ele seja de fácil manuseio, sobretudo no caso de peças gráficas utilizadas na obra.

Apesar de não apresentar um exemplo, Cardoso (2001) elabora uma lista de requisitos, em forma de perguntas, que uma documentação deve respeitar para que possa ser caracterizada como “projeto do processo”:

1. O projeto apresentado tem as informações necessárias à execução das atividades, não necessitando de peças gráficas adicionais, presença de um técnico, etc.?
2. As informações referentes à execução das atividades contidas no projeto do processo são claras de modo que não sugerem alternativas de execução que dependam de situações encontradas in loco ou de outras informações?
3. O projeto é apresentado em linguagem simples, com poucas notas técnicas?
4. O projeto é apresentado com legendas simples, com poucas referências técnicas?
5. As peças gráficas são apresentadas em formato menor ou igual ao A3?
6. As peças gráficas, do projeto do processo, são apresentadas com muitas cores e em formato aproximado de manual ilustrado?
7. O projeto contém informações claras quanto aos tipos de equipamento/ferramenta a serem utilizados na execução da atividade?
8. O projeto contém informações claras quanto aos materiais a serem utilizados na execução das atividades?
9. O projeto contém informações claras quanto à mão de obra e à equipe necessárias à execução da atividade?
10. As informações que se apresentam no projeto sugerem a sequência das atividades a serem desenvolvidas?
11. As peças gráficas referentes ao projeto são apresentadas ordenadamente, por exemplo, encadernadas?
12. O projeto contém informações claras sobre as quantidades do insumo material e sua disposição no local de trabalho?

13. O projeto contém informações claras sobre a quantidade de mão de obra e equipes necessárias à execução da atividade?
14. O projeto contém informações claras sobre a quantidade do insumo equipamento/ferramenta necessária à execução da atividade?
15. É dado algum treinamento ou explicação aos operários, em relação ao projeto do processo a eles apresentado?
16. Os operários são envolvidos na elaboração do projeto do processo, para transmitirem suas experiências de execução?
17. As peças gráficas pertinentes ao projeto do processo estão de fácil acesso aos operários, a qualquer instante da execução da atividade?
18. Na elaboração do projeto há participação efetiva de uma equipe multidisciplinar?

A partir de um estudo de caso, Cardoso (2001) aplicou o questionário à análise da documentação de uma construtora. A empresa tinha um documento denominado “projeto para o operário”, apresentado no formato de revista em quadrinhos (a autora não apresenta um exemplo), que atendeu à maior parte dos critérios estabelecidos no questionário, exceto aos requisitos de número 9 e 13 (relativos à especificação da mão de obra e de sua quantidade) e 16 (envolvimento dos operários na elaboração do projeto do processo).

Observa-se que a proposta de Cardoso (2001) cobre, em teoria (uma vez que não se apresenta um exemplo do projeto do processo), praticamente todos os aspectos do planejamento de processos: definição da sequência de atividades, dos recursos (e suas respectivas quantidades) e de parâmetros do processo, sendo que, no caso deste último item, não fica claro que o projeto do processo deve conter os tempos de execução das atividades, tampouco os requisitos de qualidade. Essa proposta considera a suficiência, a clareza e a facilidade de entendimento das informações veiculadas, envolvimento do operário na elaboração do projeto do processo, bem como treinamentos para uso do documento. Nota-se, entretanto, certa confusão entre o que seria planejamento do processo e material de treinamento para os operários, pois a autora estabelece a necessidade de que o documento se apresente em forma de manual ilustrado, com muitas cores e com poucas notas

técnicas, sendo que estas são importantes para o planejamento de processos do ponto de vista da Engenharia.

3.7.3 Metodologia para projeto e seleção de processos

Serpell e Tapia (2009) propõem outro modelo para o planejamento de processos, considerando que o projeto ou seleção de métodos ou processos para operações de construção de um empreendimento é uma atividade crítica, cuja realização impacta diretamente no desempenho do empreendimento como um todo, em termos de qualidade, prazo e custo; e que é fundamental que os responsáveis pelo seu planejamento conheçam a capacidade dos processos atenderem aos requisitos de qualidade estabelecidos para o produto.

Os autores conduziram uma pesquisa com empresas construtoras para aferir o grau de domínio das mesmas em relação ao projeto ou seleção de seus processos de construção, abordada no item 3.2.3 deste trabalho. Com base nas conclusões de seu estudo, Serpell e Tapia (2009) propuseram a metodologia para projeto e seleção de processos na construção apresentada na Figura 58 e no Quadro 2.

Figura 58 - Fluxo de atividades da metodologia para projeto e seleção de processos na construção (SERPELL; TAPIA, 2009).

Estágio	Ações	Documentos	Resultados
Análise	- Identificar requisitos de processo: custo, tempo, qualidade, segurança, meio-ambiente, entre outros.	- Diagrama causa-efeito - Especificações - Desenhos - Outros documentos de projeto	Conhecimento total dos requisitos do processo
Projeto e planejamento	- Análise dos recursos: materiais, equipamentos, tecnologias, trabalho, informação. - Análise da capacidade de processos existentes - Análise de diferentes métodos de construção - Análise dos modos de falha e de seus efeitos	- Instruções de construção - Instruções e recomendações de fornecedores - Plano de qualidade - Normas	- Fluxogramas do processo (<i>process flow diagram</i>) - Planejamento do processo - Procedimento de execução do processo

Quadro 2 - Descrição das atividades da metodologia (adaptada de Serpell e Tapia (2009), somente com os elementos referentes às fases pertencentes ao planejamento de processos).

A metodologia proposta por Serpell e Tapia (2009) tem como pressuposto que o projeto do produto esteja finalizado, ou seja, que os requisitos do produto tenham

sido estabelecidos e convertidos em especificações técnicas e desenhos, servindo como ponto de partida para o planejamento dos processos de construção. O planejamento dos processos se inicia pela identificação dos requisitos de processo, em termos de custo, tempo, qualidade, segurança e meio-ambiente. Com base nessas informações, prossegue-se para a fase de projeto e planejamento do processo, que tem como dados de entrada: a análise dos recursos disponíveis ou a serem adquiridos, a verificação dos processos disponíveis e de sua respectiva capacidade de atendimento aos requisitos de processo para a produção do produto em questão. A saída deste processo de planejamento é veiculada por meio de fluxogramas e procedimentos de execução do processo, os quais não foram exemplificados pelos autores. As demais fases (execução e controle) fogem ao escopo do planejamento de processos e consistem, basicamente, em ações de verificação dos processos implantados e de melhoria contínua dos mesmos.

Apesar de não detalharem nem exemplificarem as ferramentas de planejamento, nem o tipo de informação nelas veiculada, a lógica do planejamento de processos contida na metodologia de Serpell e Tapia (2009) assemelha-se em muitos aspectos à de planejamento de processos adotada pela indústria de manufatura.

3.8 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Com o advento da tecnologia de modelagem de informações de construção, conhecida como *Building Information Modeling* (BIM), que permite criar modelos virtuais das edificações e atribuir informações a cada elemento pertencente a este modelo, surgiu a possibilidade de se simular etapas de construção (KYMMELL, 2008).

Trata-se do conceito de prototipagem virtual, descrito por Huang et al. (2007) como:

Um processo de projeto auxiliado por computador, que envolve a construção de modelos digitais de produtos (protótipos virtuais) e simulações gráficas realísticas que atendem às demandas de *layout* físico, conceito operacional, especificações funcionais e análise dinâmica em diversos ambientes operacionais.

Esses modelos das edificações são construídos em três dimensões (3D) e, através da adição da 4ª dimensão – o tempo, representado pelo cronograma de execução – torna-se possível animar o modelo (4D), simulando virtualmente sua execução (LI et al., 2008; SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Sacks, Treckmann,

Rozenfeld (2009) ressaltam, no entanto, que para fins de simulação, é necessário que o modelo da edificação tenha um nível de detalhamento compatível com a produção.

Alguns sistemas já foram desenvolvidos para a simulação de processos na construção de edifícios. Como a abordagem detalhada desses sistemas foge do escopo do presente trabalho, será apresentado somente um deles a título de exemplo. Huang et al. (2007) desenvolveram um sistema denominado *Construction Virtual Prototyping* (CVP), com base em plataformas consolidadas da indústria manufatureira (DELMIA® e CATIA®). O sistema desenvolvido contém uma biblioteca de modelos paramétricos 3D de plantas de construção, instalações de trabalho temporárias (por exemplo, andaimes) e componentes de construção; bem como embute tecnologia para simular a colaboração espontânea entre operários, além de uma ferramenta para simular atividades de construção. As informações sobre o processo de construção são introduzidas no CVP por meio de um cronograma tipo PERT (Figura 59). A partir desse conjunto de elementos, torna-se possível simular a produção do edifício virtualmente. A Figura 60 traz uma imagem extraída da simulação da execução em um determinado momento, incluindo tanto o produto (edifício) como elementos da produção (gruas, plataformas, proteções periféricas, etc.) (HUANG et al., 2007).

Figura 59 - Visualização do cronograma tipo PERT no sistema CVP. Cada ícone representa uma atividade de construção (HUANG et al., 2007).

Figura 60 - Visualização de uma das etapas da construção no sistema CVP. Observa-se, à esquerda, o desdobramento da lista em elementos de processo, produto e recursos (HUANG et al., 2007).

Os modelos 4D são úteis tanto como ferramenta de análise como de comunicação do planejamento dos processos de construção. Em relação à análise do planejamento, Li et al. (2008) afirmam que a tecnologia de prototipagem virtual possibilita aos construtores “construírem os edifícios múltiplas vezes” no computador, permitindo a simulação de diversos cenários para identificação de potenciais problemas em cada situação. Nos sistemas de prototipagem virtual, todas as variáveis que afetam os processos construtivos (por exemplo: *layout* do canteiro, taxa de ocupação de máquinas, quantidade de recursos, etc.) podem ser consideradas para a avaliação da viabilidade dos métodos e sequências construtivos propostos e para explorar soluções e melhorias na metodologia antes do início dos trabalhos (obra), em que ajustes teriam um custo muito mais alto (KYMMELL, 2008; LI et al., 2008). Ou seja, trata-se de uma ferramenta de análise da construtibilidade do projeto do edifício (HUANG et al., 2007). Além disso, o modelo virtual possibilita a comunicação do planejamento aos participantes do empreendimento, bem como o estabelecimento de procedimentos padronizados de trabalho de uma forma mais fácil de visualizar (HUANG et al., 2007; SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009).

Apesar dos evidentes benefícios da simulação de processos, sua aplicação ainda é limitada na construção de edifícios. Huang et al. (2007) afirmam que as equipes que utilizaram o CVP gostaram da possibilidade que o sistema provê de visualizar o processo de construção; por outro lado, elas também relataram preocupação em relação ao tempo gasto para coletar e dar entrada nos dados requeridos para construir e apresentar a simulação, que não seria compatível com o tempo atualmente disponível para o processo de planejamento. Além desses entraves, deve-se considerar também que a própria tecnologia BIM ainda se encontra em desenvolvimento e com adoção restrita pelo mercado (ROCHA, 2011), o que, por hora, limita o uso da prototipagem virtual.

4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS NA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA E NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

A partir da caracterização do planejamento de processos na indústria manufatureira e dos modelos adotados pela construção de edifícios, realizou-se uma análise comparativa entre ambos para identificar similaridades e diferenças, compreender seus motivos e verificar quais elementos podem ser aproveitados com vistas à elaboração de um modelo de planejamento de processos para a produção industrializada de edifícios habitacionais. O planejamento tradicional da construção de edifícios não foi contemplado nessa comparação, pois se discutiu, no item 3.2.3, sua inadequação à finalidade do modelo a ser proposto neste trabalho.

A análise compreende duas vertentes: o conteúdo de cada modelo estudado (item 4.1) e as ferramentas de planejamento empregadas em cada caso (item 4.2). Ao final, no item 4.3, é feita uma comparação geral entre os dois cenários pesquisados (manufatura e construção), discutindo-se o fluxo de atividades de planejamento de processos observado em cada situação.

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DOS MODELOS DE PLANEJAMENTO

Para analisar o conteúdo dos modelos de planejamento de processos, elaborou-se o Quadro 3, estabelecendo-se como referência o modelo de planejamento consolidado na indústria de manufatura e verificando a presença de seus elementos em cada um dos modelos propostos para a construção de edifícios. Ainda que alguns dos modelos da construção incluíssem também dados relativos a outras fases da manufatura, apenas as informações de processo foram consideradas. Além disso, nem todos os modelos apresentados no capítulo 3 foram incluídos no Quadro 3. No caso da “metodologia para projeto e seleção de processos” proposta por Serpell e Tapia (2009) (item 3.7.3), os autores apresentam somente uma visão geral de como deve ser feito o planejamento de processos, sem detalhar as informações que dele resultam, o que impossibilitou a análise do seu conteúdo. Em relação à prototipagem virtual e simulação de processos (item 3.8), por se tratar de uma ferramenta, será

considerada no item destinado à análise das ferramentas empregadas no planejamento de processos.

Analisando-se as relações estabelecidas no Quadro 3, é possível constatar que nenhuma das abordagens propostas na construção de edifícios corresponde exatamente ao planejamento de processos da indústria manufatureira. Computando-se o número de correlações positivas (“sim”), a abordagem que mais se aproximaria da manufatura seria o “projeto do processo”, caso se tivesse certeza das informações por ele veiculadas (vide itens classificados como “talvez”), o que não foi possível devido à não-exemplificação da proposta, conforme discutido no item 3.7.2. Desconsiderando-se os itens incertos do “projeto do processo”, a proposta que passa a ser mais semelhante à da indústria é o “estudo de tempos e métodos” (8 respostas “sim”, sendo 5 delas porque especificam todos os tipos de atividades de manufatura); seguida pelo “projeto do sistema de produção” (7 respostas “sim”); “projeto de produção” (6 respostas “sim”); “projeto do processo” e “mapeamento de processos” (5 respostas “sim”); e, por último, “sistema de documentação” (2 respostas “sim”).

elementos do planejamento de processos da indústria manufatureira		Modelos de planejamento de processos na construção de edifícios					
		Projeto para Produção	Projeto do Sistema de Produção	Mapeamento de Processos	Estudo de Tempos e Métodos	Sistema de Documentação de Processos	Projeto do Processo
definição da sequência de atividades	operações	sim	sim	sim	sim	sim	sim
	inspeções (+ Eng. de Qualidade)	sim	não	sim	sim	sim	talvez
definição dos recursos das atividades	transportes (+ Eng. de Planta)	não	não	sim	sim	não	talvez
	estoques (+ Eng. de Planta)	não	não	sim	sim	não	talvez
	esperas (+ Eng. de Planta)	não	não	sim	sim	não	talvez
definição dos recursos das atividades	especificação de equipamentos	sim	sim	não	não	não	sim
	especificação de ferramentas	sim	sim	não	não	não	sim
	especificação de instrumentos de inspeção (+ Eng. de Qualidade)	sim	não	não	não	não	talvez
	especificação de recursos humanos (qualificação)	não	sim	não	não	não	sim
definição dos parâmetros do processo	tempos de execução	não	sim	não	sim	não	não
	configurações de equipamentos	sim	não	não	não	não	não
	quantidades de recursos	não	sim	não	sim	não	sim
processo	balanceamento de recursos	não	sim	não	sim	não	não
observações		os itens são definidos de forma genérica, aplicável a qualquer configuração de produto	separa o planejamento dos processos entre "unidade base" (ex: casa) e empreendimento	normalmente aplicado à melhoria de processos existentes	normalmente aplicado à melhoria de processos existentes	-	a proposta não foi exemplificada e, por isso, não foi possível verificar quais informações são efetivamente disponibilizadas (por isso há a categoria "talvez")

Quadro 3 - Correspondência entre os elementos de planejamento de processos do modelo da indústria de manufatura (referência) e dos modelos da construção de edifícios. Legenda: sim = elemento presente (no modelo da construção de edifícios); talvez = elemento presente de acordo com a descrição do modelo, mas não verificado através de exemplo; não = elemento não presente.

Em relação às categorias de informação abordadas nos modelos da construção de edifícios frente às informações presentes na indústria, é possível estabelecer as análises que seguem.

- Sobre a definição da sequência de atividades:
 - todos os modelos envolvem a definição da sequência de atividades operacionais, sem a qual não é possível estabelecer os processos de produção;
 - todos os modelos, exceto o “projeto do sistema de produção”, definem as atividades de inspeção (ainda que em diferentes níveis), o que evidencia a importância do controle de qualidade do processo;
 - somente o “mapeamento de processos” e o “estudo de tempos e métodos” incluem, na sequência de atividades, as de fluxo (transporte, estoque, espera). Isso porque o objetivo desses modelos consiste na eliminação de atividades que não agregam valor, que são, em grande parte, as de fluxo.
- Sobre a definição dos recursos das atividades:
 - a especificação de equipamentos e ferramentas foi considerada no “projeto para produção”, no “projeto do sistema de produção” e no “projeto do processo”. Os demais modelos não incluem a definição desses recursos que, como anteriormente discutido (vide item 2.3.6) são considerados importantes para a definição clara do processo;
 - apenas o “projeto para produção” incluiu a especificação de instrumentos de inspeção, apesar de cinco dos seis modelos terem apresentado a necessidade de definição de atividades de inspeção. Portanto, depreende-se que, para esses cinco modelos, mesmo não havendo a explicitação da especificação de instrumentos de inspeção, eles deverão existir para que a atividade de inspeção possa ser realizada;
 - somente o “projeto do sistema de produção” e o “projeto do processo” consideraram a especificação dos recursos humanos necessários ao processo, apesar da importância desse recurso para as operações de construção, que são predominantemente manuais.
- Sobre a definição dos parâmetros do processo:

- somente o “projeto do sistema de produção” e o “estudo de tempos e métodos” fizeram menção à definição do tempo de execução e ao balanceamento de recursos (sobretudo equipe);
- apenas o “projeto do sistema de produção” e o “projeto do processo” incluem a definição da quantidade de recursos do processo;
- só o “projeto de produção” aborda a configuração de equipamentos, o que talvez se justifique porque, na construção de edifícios, poucas tarefas são mecanizadas e o ajuste de ferramentas manuais normalmente é considerado de conhecimento do operador.

Além das informações contidas no planejamento de processos adotado pela manufatura, foram identificadas duas outras informações nos modelos da construção de edifícios: definição das frentes de trabalho e do plano de ataque ao empreendimento. Na construção de edifícios, o produto não se move ao longo de uma linha de produção fixa ou entre estações de trabalho, como ocorre em grande parte da manufatura. Dessa forma, para que diversas unidades possam ser produzidas ao mesmo tempo, é necessário que as equipes se dividam entre os produtos a serem construídos, distribuindo-se em diversos locais no empreendimento, o que se denomina “frente de trabalho”. A forma como essas equipes se deslocam no empreendimento é denominada “plano de ataque”. Apesar de não aplicável ao cenário industrial, trata-se de uma informação importante na construção de edifícios.

Há ainda algumas considerações a serem feitas a respeito de outros conceitos identificados nos modelos estudados:

- abordagem genérica do “projeto para produção”: a maior parte das informações sobre o processo de construção apresentada pelo “projeto para produção” é genérica, ou seja, é disponibilizada em um nível de detalhamento tal que permite sua aplicação a qualquer configuração de produto. Muito embora isso reflita uma deficiência da abordagem, dado que essas informações muitas vezes não são particularizadas e detalhadas para um determinado produto (deixando, portanto, pontos do processo em aberto); por outro lado, essa prática se assemelha às “sequências-padrão” de processos utilizadas na indústria (item 2.3.5), as quais servem como base para a elaboração de processos específicos ou similares, o que pode ser útil;

- níveis de planejamento distintos para “unidade-base” e “empreendimento” no “projeto do sistema de produção”: a maior parte dos empreendimentos de construção de edifícios é de caráter único, ou seja, seu projeto não será repetido em outro local por diversas razões: variação de terreno, diferenças de legislações municipais, etc. Mattos (2010) afirma que, mesmo que uma construtora esteja produzindo blocos de apartamentos iguais, não se anula o caráter de unicidade porque não se trata de produção em massa, mas da realização de produtos similares que obedecem a um espírito de projeto. Entretanto, existem certas situações que permitem identificar uma unidade do empreendimento com características que se repetem, como o pavimento-tipo em edifícios de múltiplos pavimentos ou casas em condomínios horizontais. Esta unidade de caráter repetitivo recebe o nome de “unidade-base”, à qual é possível atribuir uma sequência específica de atividades e um tempo de ciclo de produção. O planejamento da “unidade base”, portanto, pode ser feito de forma detalhada e, quando somado ao planejamento dos demais itens que compõem o empreendimento (infraestrutura viária, terraplenagem, etc.), resulta no planejamento geral da obra;
- nenhuma proposta envolveu, ainda que parcialmente, o estabelecimento de requisitos para o projeto de novos equipamentos ou ferramentas, provavelmente por partirem do pressuposto de utilizar no processo somente recursos existentes, que é a situação mais comum na construção de edifícios.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO

O Quadro 4 apresenta as ferramentas de planejamento de processos de manufatura e de construção e sintetiza suas principais características. As ferramentas computacionais não foram inseridas nesta análise, pois, na sequência, é feita uma discussão específica para elas.

Ferramenta	Finalidade	Conteúdo	Modelos que a utilizam	Observação
Folha de processo (Figura 14)	Descrição do processo de manufatura com foco no componente	<ul style="list-style-type: none"> - Sequência de atividades (operação + inspeção) - Breve descrição de cada atividade - Especificação de equipamentos e ferramentas - Especificação de ferramentas manuais - Especificação de instrumentos de inspeção - Tempo de execução de cada atividade - Configurações de equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria Manufatureira - Sistema de Documentação de Processos 	<ul style="list-style-type: none"> - Principal documento da Eng. de Processos - Foco no componente
Diagrama de processo (Figura 17)	Descrição/Visão geral do processo de montagem com foco no produto	<ul style="list-style-type: none"> - Sequência de atividades (operação + inspeção) - Especificação de equipamentos e ferramentas - Tempo de execução de cada atividade 	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria Manufatureira - Estudo de Tempos e Métodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Foco no produto
Fluxograma de processo (Figura 21)	Análise e melhoria de processos de manufatura com foco no componente	<ul style="list-style-type: none"> - Sequência de atividades (todas) - Tempo de execução de cada atividade 	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria Manufatureira - Mapeamento de Processos - Estudo de Tempos e Métodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Foco no componente, movimentação de operário ou uso de equipamento
Diagrama de múltiplas atividades (Figura 22)	Balanceamento de recursos	Atividades (todas) de cada recurso analisado VS. tempo para identificar tempos ociosos	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria Manufatureira - Estudo de Tempos e Métodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode-se analisar o grau de ocupação de operários ou equipamentos
Diagrama de rede (Figura 23)	Cálculo da duração de projetos e identificação do caminho crítico	<ul style="list-style-type: none"> - Sequência de atividades (operação) - Tempo de execução de cada atividade 	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria Manufatureira - Projeto do Sistema de Produção 	<ul style="list-style-type: none"> - Usado para grandes projetos, de caráter não-cíclico e atividades macro
Diagrama de fluxo (Figura 24)	Descrição e análise do fluxo de materiais na planta	Representa sequência de atividades (todas) sobre o <i>layout</i> da planta, para analisar distâncias de transporte e eventuais conflitos de movimentação	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria Manufatureira - Mapeamento de Processos 	<ul style="list-style-type: none"> - Útil para o planejamento da movimentação de materiais e do <i>layout</i>
Procedimento de Execução (Figura 34)	Descrição do processo de construção de forma genérica (qualquer config. de produto)	<ul style="list-style-type: none"> - Sequência de atividades (operação + inspeção) - Descrição das atividades - Especificação de equipamentos e ferramentas (geral) - Especificação de ferramentas manuais (geral) - Especificação de instrumentos de inspeção (geral) - Configurações de equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto para Produção 	<ul style="list-style-type: none"> - Definições são gerais e se aplicam a qualquer config. de produto - Listas de recursos são gerais e apresentadas no início do documento (não equivale à folha de processo)
Linha de balanço (Figura 33)	Balanceamento de recursos	Gráfico que representa a escala de tempo na abscissa e as unidades de produção na ordenada. Permite visualizar ritmo de produção de cada atividade e verificar interferências entre equipes	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto do Sistema de Produção 	<ul style="list-style-type: none"> - Foco no empreendimento - Atividades macro
Plano de ataque (Figura 44)	Descrição e análise do deslocamento de frentes de trabalho no empreendimento	Representa deslocamento das equipes sobre o <i>layout</i> do empreendimento de acordo com as frentes de trabalho definidas	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto para Produção - Projeto do Sistema de Produção 	<ul style="list-style-type: none"> - Útil para gestão das equipes no canteiro de obras

Quadro 4 - Síntese das características das ferramentas de planejamento de processos de manufatura e de construção.

Considerando-se as características das ferramentas apresentadas no Quadro 4, é possível afirmar que:

- a ferramenta que descreve de forma mais completa o processo na manufatura é a folha de processo, e na construção é o procedimento de execução. Ambas englobam a descrição da sequência de atividades (exceto as de fluxo), a especificação dos recursos necessários e a determinação de parâmetros do processo. Entretanto, enquanto a folha de processo normalmente é específica para uma determinada configuração de componente ou produto, o procedimento de execução contém informações gerais sobre o processo, aplicáveis a qualquer configuração de produto em que se utilize o processo em questão. Além disso, o procedimento de execução geralmente é apresentado em forma de texto (Figura 34); enquanto a folha de processo é apresentada em forma de quadro (Figura 14), sendo, portanto, mais objetiva;
- o diagrama de processo é outra ferramenta de caráter descritivo, mas não entra em detalhes dos processos de produção, nem especifica todos os recursos necessários, pois tem como objetivo a visualização da sequência completa de manufatura de um produto;
- o fluxograma do processo inclui uma descrição parcial do processo, abordando a sequência de atividades (inclusive atividades de fluxo), e é frequentemente utilizado em análises visando à melhoria do processo, buscando, principalmente, a eliminação de atividades que não agregam valor;
- o diagrama de múltiplas atividades é uma ferramenta de caráter predominantemente analítico, que tem como objetivo balancear o uso de recursos. Apesar de sua finalidade ser parecida com a da linha de balanço, que também pode ser considerada analítica, ele aborda atividades isoladas e mais detalhadas; enquanto a linha de balanço envolve a visualização de todo o empreendimento e trata de atividades mais gerais, com um ritmo de produção constante e linear. O uso do tempo e eventuais tempos ociosos ficam evidentes na primeira ferramenta, enquanto a segunda torna claros os ritmos de produção das diversas atividades, mas não possibilita identificar tempos ociosos com tanta clareza;
- o diagrama de rede também pode ser considerado uma ferramenta analítica, pois, apesar de apresentar a sequência de atividades operacionais, não inclui

mais nenhuma informação sobre o processo (ex: recursos), exceto pelos tempos de execução que são usados para calcular a duração completa da construção;

- o diagrama de fluxo não trata especificamente do processo de produção, mas sim da forma como ele se desenvolve na planta industrial ou no canteiro de obras, no que diz respeito ao fluxo de materiais. Trata-se, portanto, de uma ferramenta de caráter descritivo-analítico, importante para o planejamento do *layout*, que envolve a Engenharia de Planta, no caso da manufatura, e a Engenharia de Obra, no caso da construção;
- o plano de ataque não aborda o processo de produção, mas como as diversas equipes se distribuem no canteiro de obras de acordo com a fase de construção em que cada trecho se encontra.

Além das considerações sobre as informações veiculadas em cada ferramenta e sua finalidade, observa-se que:

- apesar da folha de processo ser considerada o documento mais importante da Engenharia de Manufatura, ela foi citada por somente uma proposta do âmbito da construção de edifícios e que, ainda assim, não apresenta correlação direta, pois a folha de processo do “sistema de documentação de processos” não inclui informações sobre os recursos utilizados (equipamentos, ferramentas, etc.);
- a ferramenta mais citada entre as abordagens pesquisadas foi o fluxograma de processos, utilizado pela indústria manufatureira, pelo estudo de tempos e métodos e pelo mapeamento de processos, com o objetivo predominante de analisar processos em busca de sua otimização;
- somente duas ferramentas foram citadas por uma única proposta: o procedimento de execução (projeto para produção) e a linha de balanço (projeto do sistema de produção);
- o procedimento de execução, a linha de balanço e o plano de ataque são ferramentas citadas somente em modelos de planejamento da construção de edifícios. Enquanto a primeira ferramenta é semelhante à folha de processo, as demais, devido às suas características, têm aplicação somente no cenário da construção.

Sobre o uso de ferramentas computacionais no planejamento de processos, constatou-se que:

- a indústria manufatureira utiliza o *Computer-Aided Process Planning* (CAPP), que consiste basicamente na automatização da atividade de planejamento de processos, em que as folhas de processo (principal documento de descrição) são geradas ou por analogia (*variant approach*) ou por regras que seguem a lógica de um planejador humano (*generative approach*). Não foi encontrada nenhuma abordagem semelhante na construção de edifícios;
- a indústria manufatureira também faz uso do *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), que integra os projetos feitos no CAD (*Computer-Aided Design*), o planejamento realizado pelo CAPP e máquinas de controle numérico para automatização e integração dos processos de planejamento e produção. Em função do baixo grau de mecanização e automação da construção civil, não foram encontrados registros de abordagens similares;
- por outro lado, a construção de edifícios faz uso de *softwares* que dão apoio ao planejamento de empreendimentos, por meio da execução automática de cálculos de redes de precedência e de nivelamento na alocação de recursos;
- tanto para a manufatura quanto para a construção de edifícios a simulação computacional de processos é tida como ferramenta importante para auxiliar a visualização dos processos de produção que estão sendo planejados, devido à possibilidade de animação dos modelos. Há uma tendência de crescimento do uso deste tipo de ferramenta.

4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A respeito do conteúdo dos modelos de planejamento de processos estudados, é possível afirmar que foram identificadas propostas na construção que procuram se aproximar da indústria de manufatura, ainda que não tenha sido observada nenhuma relação direta. Enquanto os modelos da construção de edifícios especificam de forma adequada a sequência de operações do processo, observam-se deficiências em relação à definição de atividades de fluxo, dos recursos das atividades e dos parâmetros operacionais. Isso se deve, em parte, a que os modelos da construção continuam a considerar a unicidade de seus empreendimentos, buscando contornar isso com documentos que apresentam informações genéricas para que não se tornem rapidamente obsoletos – os parâmetros operacionais, por exemplo, apresentam grande relação com as condições específicas de cada obra.

Foram identificadas informações que não constam no planejamento de processos da manufatura, tais como o plano de ataque e a informação sobre equipamentos de segurança a serem utilizados, consideradas importantes no caso da construção.

Alguns dos modelos estudados são mais adequados à otimização de processos existentes do que à estruturação de processos novos de construção, caso do “mapeamento de processos” e do “estudo de tempos e métodos”. O “projeto para produção” apresenta uma gama de informações adequada ao planejamento de processos, ainda que adote a postura de incorporar documentos do sistema de gestão da qualidade das construtoras. O “projeto do sistema de produção”, por sua vez, apresenta uma separação entre o planejamento da unidade-base e do empreendimento considerada pertinente para a construção de condomínios habitacionais horizontais. O modelo de “projeto do processo” apresenta uma descrição muito abrangente e sem exemplos do planejamento de processos, enquanto o “sistema de documentação de processos” tem mais foco na ferramenta de registro do planejamento (o único a citar a folha de processo na construção de edifícios) do que na atividade em si.

Em relação às ferramentas identificadas, observa-se que, enquanto na manufatura o principal documento é a folha de processo, na construção de edifícios o procedimento de execução é o mais utilizado. Verifica-se também que há um grande esforço para simplificar a documentação, sintetizando as informações em forma de planilhas, diagramas e fluxogramas. Além disso, certas propostas têm a preocupação com a facilidade da linguagem do documento, para tornar possível a leitura por parte da mão de obra, usualmente com baixo grau de escolaridade na construção civil. Entretanto, não se deve confundir o registro do processo de construção com material destinado ao treinamento dos operários.

Algumas ferramentas que não se verificam na manufatura, como o plano de ataque e a linha de balanço, são importantes para o registro do planejamento na construção de edifícios. Além disso, embora tenham sido levantadas e analisadas ferramentas computacionais para o planejamento de processos em ambos os cenários, o objetivo dessa análise era somente traçar um panorama de práticas atuais e tendências nesse campo, e esses dados não serão utilizados para subsidiar a construção do modelo a ser proposto.

Analisando-se de forma geral os modelos estudados no âmbito da construção de edifícios, observa-se que apenas dois apresentaram um fluxo de atividades para realização dessa tarefa: o projeto do sistema de produção (Figura 40) e a metodologia de planejamento de processos (Figura 58). O primeiro separa o estudo da construção da unidade-base e do empreendimento e explicita a relação entre essa etapa e o planejamento e controle da produção. O projeto do sistema de produção menciona ainda a necessidade de seleção dos processos e de decisão sobre quais itens serão terceirizados previamente à elaboração do planejamento do processo, o que está em consonância com a indústria de manufatura. A metodologia de planejamento de processos de Serpell e Tapia (2009), por sua vez, apresenta um sequenciamento de atividades muito semelhante ao da manufatura e cita a identificação dos requisitos de processo antes do planejamento propriamente dito, o que também se assemelha à indústria, que analisa os dados de projeto e as necessidades impostas à produção. Os demais modelos estudados apresentaram somente o conteúdo e/ou as ferramentas para o planejamento de processos.

Outra constatação que se extrai da comparação geral é que há, em ambos os cenários, uma tendência de adoção da Engenharia Simultânea. Tanto na proposta do “projeto para produção”, quanto no “projeto do sistema de produção”, afirmou-se que, quanto antes os fatores referentes à construção forem levados em consideração (preferencialmente ainda na fase de projeto do produto), melhores serão os resultados das metodologias propostas e do empreendimento como um todo. Isso evidencia um alinhamento das propostas feitas para a construção de edifícios com conceitos atualizados da manufatura, ainda que os modelos de planejamento de processos não sejam correspondentes.

Por fim, mas não menos importante, destaca-se que no setor de construção de edifícios não existe uma área equivalente à Engenharia de Processos ou de Manufatura. Existem pessoas ou departamentos responsáveis pelo planejamento da construção, o qual normalmente tem foco na programação das atividades e na obtenção e uso dos recursos, e não nas tecnologias e processos de produção (conhecimento de fundamental importância à Engenharia de Processos). Trata-se de uma diferença importante, que explica em parte não se ter um planejamento de processos propriamente dito na construção de edifícios.

5 MODELO DE PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO (M-PPC)

Neste capítulo, apresenta-se o modelo de planejamento de processos de construção (M-PPC), construído com base na revisão bibliográfica e na análise apresentadas nos capítulos precedentes.

5.1 ESCOPO DO M-PPC

Uma vez que o M-PPC se destina ao planejamento de processos de construção visando à industrialização da construção, considera-se o modelo seja adequado para o planejamento dos processos de produção de elementos de um empreendimento em cuja construção seja possível aplicar os conceitos da organização industrial e que apresentem algum grau de padronização e repetibilidade. Isso é comumente possível no âmbito do edifício ou de seus subsistemas e elementos e, portanto, o escopo do M-PPC se restringe a essa escala. Aos elementos de empreendimentos que não apresentam características de industrialização (exemplo: fundações, pavimentação, infraestrutura comum, etc.), é preferível aplicar outras metodologias de planejamento; cuidando, no entanto, para que as diversas esferas do planejamento sejam adequadamente integradas. Tomando como referência o modelo de projeto do sistema de produção (item 3.4), sintetizado na Figura 40, essa restrição de escopo equivaleria a dizer que o M-PPC se destina ao planejamento da unidade-base de produção.

Outro aspecto importante do M-PPC é a necessidade de que seja específico para cada configuração de edifício ou subsistema. Ele não deve consistir de recomendações genéricas, como normalmente é praticado na construção civil em relação ao planejamento (principalmente para os subsistemas). Com a definição do M-PCC busca-se garantir que, em obra, não haverá tomada de decisões importantes relativas ao processo de construção, pois a probabilidade de que a decisão tomada no canteiro, pouco antes da realização de um serviço, reflita a opção mais econômica de produção é menor do que se a análise for antecipada para a fase de planejamento. Como na produção de habitações populares é comum haver algum grau de repetibilidade do produto, resulta que o esforço aplicado no desenvolvimento de um planejamento específico é compensado pela sua repetida utilização.

Para definição dos itens inclusos no M-PPC, tomou-se como referência o escopo do planejamento de processos da manufatura (sintetizado no Quadro 3), adicionando-se alguns aspectos específicos para a construção de edifícios, identificados na revisão bibliográfica. Esta análise é apresentada no Quadro 5 e detalhada na sequência.

Informações	
Definição da sequência de atividades	Operações
	Inspeções
	Transporte
	Estoques
	Segurança do trabalho*
Definição dos recursos das atividades	Equipamentos
	Ferramentas
	Instrumentos de inspeção
	Recursos humanos (qualificação)
	Equipamentos de segurança do trabalho*
Definição dos parâmetros do processo	Tempos de execução
	Configurações de equipamentos
	Quantidades de recursos
	Balanceamento de recursos
Definição de frentes de trabalho*	
* itens não originários da indústria de manufatura	

Quadro 5 - Definição do escopo do M-PPC.

Em relação à definição das atividades que compõem os processos de construção, o M-PPC contempla as operações e inspeções, sendo necessário para as últimas o envolvimento dos responsáveis pela gestão da qualidade. São especificadas também atividades de fluxo (transportes e estoques), mas de forma parcial, pois nem todas as atividades de fluxo podem ser isoladas no contexto do edifício ou de um subsistema (restrição do M-PPC), pois exibem interferência com os fluxos de materiais no canteiro de obras, cujas características variam de empreendimento para empreendimento e em um único empreendimento conforme o avanço da obra. Sendo assim, atribui-se ao M-PPC a responsabilidade de definição das atividades de fluxo que ocorrem no âmbito do edifício ou subsistema, sendo necessário complementar este planejamento com o planejamento do canteiro de obras. Trata-se de um paralelo semelhante ao que ocorre na indústria de manufatura entre o planejamento dos processos e o projeto do *layout* da fábrica (item 2.3.5). Optou-se por não especificar as atividades de espera, devido ao alto nível de variabilidade que este tipo de atividade exhibe na construção de edifícios (não somente em função das diversas configurações de canteiro de obras, mas também de variações às quais a

construção civil encontra-se exposta, como intempéries). Inseriu-se ainda uma categoria de atividades não existente no planejamento de processos de manufatura, denominada “segurança no trabalho”, que busca contemplar as necessidades de instalação de equipamentos de proteção coletiva, as quais muitas vezes interferem de no processo de construção.

No que diz respeito à definição dos recursos necessários aos processos de construção, o M-PPC contempla equipamentos, ferramentas, instrumentos de inspeção e recursos humanos (estes últimos em termos de sua qualificação). São especificados também os equipamentos de segurança do trabalho, o que inclui proteções coletivas (referentes às atividades supracitadas) e individuais (inseridas como equipamentos para cada operação específica de produção).

Em relação aos parâmetros do processo, serão definidos os pertinentes à construção do edifício, respeitando-se os requisitos estipulados pela empresa (por exemplo, o tempo de construção desejado para o edifício influencia no dimensionamento dos tempos de ciclo e composição das equipes para os processos de construção específicos). Além disso, essa definição da quantidade de recursos levará em conta a necessidade de balanceamento da produção, sem o qual ela não pode ser considerada otimizada e, portanto, também não atende às exigências de uma produção industrializada.

Serão definidas ainda as frentes de trabalho para os processos de construção, desde que restritas ao edifício (por exemplo: frentes para elevação da alvenaria estrutural de um edifício para os diversos apartamentos, em cada pavimento tipo). A definição da divisão de equipes e de sua movimentação no edifício consiste em uma informação fundamental ao planejamento de processos de construção e representa uma especificidade em relação à manufatura, onde não há frentes de trabalho, pois é o produto que usualmente se movimenta ao longo de uma linha de produção seriada.

5.2 PLANO DE AÇÃO DO M-PPC

O plano de ação do M-PPC, que consiste na sequência de atividades para a realização do planejamento de processos de construção, é apresentado na Figura 61 e detalhado no Quadro 6. Embora todas as atividades descritas façam parte do plano de ação para a realização do PPC, são as atividades que se encontram dentro

do quadro destacado em cinza que efetivamente definem as características do processo de construção.

Figura 61 - Plano de ação proposto para o M-PPC.

Atividade	Descrição	Informações de entrada	Informações resultantes	Observações
1. Análise de projetos	Auxilia na elaboração dos projetos do edifício e/ou de seus subsistemas, analisando suas características (dimensões, formas, especificações, tolerâncias, requisitos de qualidade, etc.) e avaliando sua construtibilidade	- Projetos do edifício (todas as disciplinas/subsistemas) - Especificações técnicas - Listas de materiais	- Solicitações de revisão de projeto (se necessárias) - Conhecimento completo do que será construído	Atividade conjunta com projetistas e coordenador de projetos – Engenharia Simultânea
2. Análise de requisitos de construção	Auxilia na definição dos requisitos de construção do edifício e/ou de seus subsistemas, analisando sua adequação aos processos de construção que possivelmente serão empregados	- Custo de construção - Tempo de construção - Disponibilidade de recursos - Capacidade dos recursos	- Conhecimento completo das restrições impostas à construção para realização do PPC	Atividade conjunta com as áreas de orçamento, comercial e outras que forneçam as informações necessárias – Engenharia Simultânea
3. Análise de terceirização da construção	Avalia quais subsistemas ou componentes do edifício serão produzidos internamente e quais terceirizados.	- Dados de projeto (1) - Dados de construção (2)	- Definição dos processos internos e terceirizados	Atividade conjunta com as áreas responsáveis pelo planejamento e gestão de suprimentos
4. Seleção dos processos de construção	Para cada subsistema ou item a ser construído internamente, seleciona o processo de construção que atende aos requisitos de projeto e de produção da forma mais econômica possível	- Dados de projeto (1) - Dados de produção (2) - Processos de construção disponíveis	- Definição dos processos de construção a serem utilizados	Em alguns casos, a tecnologia construtiva pode restringir o processo de construção a única opção
5. Definição da sequência	Define a sequência de processos (produção do edifício completo) ou de atividades (produção de um subsistema), incluindo operações, inspeções, transportes, estoques e esperas	- Dados de projeto (1) - Dados de produção (2) - Dados de processo (4)	- Sequência de processos para construção do edifício ou de atividades para construção do subsistema - Descrição breve de cada atividade	Necessária interação com a área de qualidade para definição das inspeções.
6. Definição dos recursos	Define os recursos necessários (equipamentos, ferramentas, instrumentos e recursos humanos) para cada processo ou atividade e analisa o possível compartilhamento de recursos entre processos distintos. Os recursos materiais são dados de entrada, definidos por projetos.	- Dados de produção (2) - Dados de processo (4) - Sequência de processos ou atividades (5)	- Definição dos recursos necessários para cada processo (edifício) ou para cada atividade (subsistema)	Devem ser analisados os recursos comuns a diferentes processos para o planejamento da construção do edifício
7. Definição dos parâmetros	Estabelece os parâmetros do processo (tempos de execução, quantidades de recursos, configurações de equipamentos), para que o processo esteja balanceado	- Dados de produção (2) - Dados de processo (4) - Sequência de atividades (5) - Definição de recursos (6)	- Tempos de cada processo ou atividade - Quantidade de recursos - Quantidade de equipes - Configurações de equipamentos	Forte interação entre planejamento do edifício e de seus subsistemas.
8. Definição de frentes de trabalho	Define as frentes de trabalho para cada processo de construção do edifício (quantidades de equipes simultâneas) ou para cada atividade do subsistema (divisão dos membros da equipe).	- Sequência de atividades (5) - Definição de parâmetros (7)	- Frentes de trabalho (quando aplicável)	Nem todos os processos de construção ou atividade irão requerer a divisão em frentes de trabalho (tracejado)
<i>Os números apresentados entre parênteses (x) remetem à numeração de atividades da primeira coluna do quadro.</i>				

Quadro 6 - Detalhamento das atividades do plano de ação do M-PPC.

Observa-se que a proposição do M-PPC foi pautada pela mesma linha de raciocínio do modelo adotado pela indústria de manufatura para o planejamento de processos de produção (Figura 10).

O M-PPC pode ser aplicado tanto para o planejamento da construção do edifício completo quanto para subsistemas específicos, pois as atividades de planejamento desenvolvidas em ambos os níveis são semelhantes (vide Figura 40). Enquanto a produção do edifício é composta por diversos macroprocessos de construção, a produção de um subsistema corresponde a um único processo, composto por diversas atividades (que também poderiam ser encaradas como “microprocessos”). Exemplo: ao subsistema “vedo vertical”, corresponderia o processo de “execução de alvenaria de vedação em blocos cerâmicos”, composto por diversas atividades (ex.: marcação, elevação, execução de contravergas, fixação, etc.); e esse processo seria apenas um entre os diversos necessários à construção do edifício (ex.: execução de estrutura de concreto armado moldada *in-loco*, execução de alvenaria de vedação em blocos cerâmicos, execução de revestimento externo em argamassa projetada, etc.). A Figura 62 explicita as diferenças de planejamento entre os níveis do edifício e de subsistema.

Ainda sobre os dois níveis de planejamento existentes, a sua relação ocorre da seguinte forma: os dados de planejamento de construção do edifício (sequência de processos, recursos definidos, parâmetros gerais e frentes de trabalho) entram como requisitos de construção para o PPC dos subsistemas específicos. Os resultados do planejamento detalhado do subsistema, por sua vez, retroalimentam o planejamento geral, sobretudo com informações sobre os recursos necessários (a soma dos recursos de cada subsistema e a análise dos recursos compartilhados resultam nos recursos totais necessários à construção do edifício) e sobre os parâmetros de produção.

Para possibilitar a relação entre o nível do edifício e do subsistema, estabeleceu-se o conceito de Unidade Base de Processo (UBP), adaptado do conceito de “unidade-base” do modelo de projeto de sistemas de produção (item 3.4). Dessa forma, a cada subsistema atribui-se uma UBP conforme as características de repetibilidade do processo de construção a ele associado: por exemplo, a UBP do subsistema de “vedo vertical”, à qual corresponde o “processo de alvenaria de vedação em blocos cerâmicos”, seria o “pavimento-tipo”, pois é a unidade para a qual o processo se

repete por completo. Portanto, o PPC do subsistema é elaborado para a sua respectiva UBP. Sendo assim, para conectar os dois níveis de planejamento definidos, é necessário analisar de quantas UBPs de cada subsistema é composto o edifício inteiro, o que deve estar refletido na estruturação do seu planejamento-macro.

Figura 62 - Aplicação do M-PPC ao planejamento da construção do edifício ou de um subsistema específico e relação entre ambos os níveis estabelecida pela UBP.

Essa forma de vinculação entre o PPC do edifício e do subsistema permite que sejam incorporadas opções de customização do edifício, pela combinação de diferentes planejamentos de subsistemas para compor edifícios com características distintas. O sistema de documentação de processos de construção proposto por Roy, Low e Waller (2005), abordado no item 3.7.1, ilustra como essa combinação de diferentes componentes de planejamento permitem a customização de edifícios

- O campo “código” foi criado para que se atribua um código à folha de processo de construção, para permitir sua identificação no sistema de documentos da empresa;
- O campo “produto” foi criado para a identificação do modelo de edifício para o qual o PPC está sendo elaborado;
- Os campos “processo”, “subsistema” e “UBP” destinam-se, respectivamente, a identificar: o processo de construção em questão, o subsistema a ele associado e a unidade base de processo;
- O campo “equipe” serve à especificação dos recursos humanos que compõem a equipe que executará o processo de construção. Considerou-se inadequado tratar os recursos humanos como os demais recursos e especificá-los por atividade; a exemplo do que ocorre nas células de produção da indústria de manufatura, definiu-se somente a equipe, deixando-se a encargo do próprio grupo a distribuição dos membros para consecução do processo;
- O campo “tempo de ciclo” destina-se a registrar o tempo total para execução de uma UBP, dado importante para o planejamento geral do edifício. Assim como no caso dos recursos humanos, considerou-se inadequado especificar o tempo de cada atividade, pois isso se aproximaria da abordagem do estudo de tempos e métodos, que está obsoleto e gera dados que, embora detalhados, são muito difíceis de serem controlados e geridos;
- O campo “procedimento” foi criado para que se identifique o procedimento de execução relativo ao processo de construção descrito na folha. O procedimento de execução, assim como na prática tradicional da construção de edifícios (item 3.3), descreve os processos de construção de forma geral, com a finalidade principal de garantir um padrão de qualidade para sua execução. Ou seja, ele tem um papel complementar ao da folha de processo de construção e pode servir como base para sua elaboração;
- Há um espaço para identificação dos equipamentos de proteção individual (EPI) necessários durante todo o processo de construção para que as normas de segurança do trabalho sejam atendidas. Eventuais EPIs especiais, necessários em atividades isoladas, são identificados no campo “equipamento” da atividade em que será usado;

- Para cada atividade pertencente ao processo, devem ser preenchidos os campos:
 - “n°”: número sequencial da atividade no processo, precedido pela letra “o” em caso de operações e pela letra “i” em caso de inspeções;
 - “descrição da atividade”: espaço destinado a explicar sucintamente a atividade a ser executada, incluindo a identificação dos materiais utilizados (operações e inspeções);
 - “equipamentos – ferramentas – instrumentos”: este campo é separado em “especificação” (identificação do recurso) e “qtde.” (quantidade de cada recurso para a atividade, suficiente para a construção da UBP);
 - “tempo de execução”: registro do tempo de cada atividade ou grupo de atividades, detalhando o tempo de ciclo inicialmente estabelecido;
 - “observações”: eventuais particularidades a serem destacadas.

5.3.2 Fluxograma de processo de construção

O **fluxograma de processo de construção** também se destina ao PPC do subsistema e é complementar à folha de processo de construção, porque inclui as atividades de fluxo, ou seja, indica o abastecimento dos recursos necessários ao processo de construção. Sua proposição baseou-se em uma adaptação do fluxograma de processo da indústria de manufatura (Figura 20), uma vez que, na construção de edifícios, o produto permanece no mesmo local e os recursos chegam até ele para permitir sua execução, o que modifica, portanto, a característica dos fluxos representados. O formato resultante do fluxograma de processo de construção é representado na Figura 64.

Figura 64 - Fluxograma de processo de construção (subsistema).

Assim como na folha de processo, o fluxograma contém campos para identificação do documento (código), do produto, do processo, do subsistema e da respectiva UBP (o preenchimento deve ser idêntico na folha e no fluxograma), aos quais o processo de construção se refere. É proposta uma simbologia para representação dos diversos tipos de atividade que compõem o processo de construção: operações, inspeções, transportes, estoques e atividades de segurança do trabalho (somente esta última não segue o padrão estabelecido na indústria de manufatura, pois se trata de uma categoria de atividades que não consta nos procedimentos da manufatura).

A sequência de atividades representada na folha de processo de construção constitui o fluxo principal que é representado no canto direito do fluxograma (Figura 64). A numeração das operações, inspeções e atividades de segurança do trabalho corresponde à que consta na folha de processo. As entradas de recursos são identificadas no fluxograma, incluindo as atividades de fluxo (transportes e estoques) que são necessárias para configurar seu abastecimento completo, desde o recebimento no canteiro de obras até sua disponibilização no local de execução do processo. Eventualmente, operações ou inspeções prévias podem ser necessárias; neste caso, deverão ser inseridas nos fluxos de abastecimento.

As atividades de abastecimento, assim como na indústria, não são detalhadas na folha de processo, sendo incumbência do planejamento de canteiro de obras fazer este detalhamento quando necessário. Sua inserção no fluxograma do processo de construção, no entanto, é importante para indicar o momento em que cada um dos recursos deve estar disponível. Da mesma forma, operações prévias constituem outros processos de construção, os quais devem ser detalhados em folhas específicas, caso necessário. O mesmo se aplica a inspeções de recebimento, cujo detalhamento é escopo da documentação do controle de qualidade, até porque o mesmo material pode ser comum a diferentes processos. A separação entre a sequência de atividades principal do processo de construção e as atividades de abastecimento traz ainda a vantagem de dar maior flexibilidade ao fluxograma de processo: caso se opte por outra configuração logística de canteiro de obras, basta modificar os fluxos de abastecimento.

5.3.3 Plano de ataque

Em alguns processos de construção, pode ser necessário representar como as equipes se dividem para execução da Unidade-Base de Processo (UBP), ou seja, definir as frentes de trabalho que constituem o processo. Para isso, pode ser utilizado o **plano de ataque**, que representa graficamente a distribuição e/ou o deslocamento de membros na UBP (Figura 65).

Figura 65 – Plano de ataque (subsistema).

O plano de ataque deve ser elaborado de forma a representar, o mais objetivamente possível, a divisão da equipe (especificada na folha de processo) entre as frentes de trabalho definidas. Devem ficar claros: o processo ao qual o plano de ataque se refere e o respectivo subsistema, a unidade-base de processo e a legenda que permite entender a representação gráfica das frentes de trabalho e seu possível deslocamento.

5.3.4 Diagrama de rede

Para o registro do PPC do edifício, escolheu-se como ferramenta principal o diagrama de rede, que permite representar a sequência de processos para a construção do edifício, além de possibilitar o cálculo do tempo completo de construção e a identificação das atividades que fazem parte do caminho crítico. Trata-se de uma ferramenta mais adequada do que seu paralelo na indústria de manufatura (diagrama de processo), pois apresenta maior flexibilidade nas condições de vinculação entre os processos, uma vez que a sequência de processos para construção de um edifício não é unidirecional como em uma linha de produção. A Figura 66 apresenta uma sugestão de formato para o diagrama de rede, que segue a representação PDM (*Precedence Diagram Method*).

Figura 66 - Diagrama de rede (edifício).

O diagrama da Figura 66 representa o processo geral de construção do edifício, o qual é composto de vários processos de construção de subsistemas, sendo que cada um destes processos é identificado pelo código (COD.) atribuído à documentação correspondente do subsistema (folha e fluxograma de processo de construção). Acima de cada quadro são identificadas as datas de início e término,

calculadas com base nas condições de vinculação e nas durações de cada processo. A sequência destacada com um traço mais grosso corresponde ao caminho crítico, ou seja, os processos que não possuem folga. O diagrama de rede é uma ferramenta bastante consolidada na construção de edifícios (abordada no item 3.2.2) e programas como, por exemplo, o MS Project® possibilitam que sua elaboração seja informatizada e os cálculos de duração de atividades e identificação do caminho crítico sejam feitos automaticamente. Por esse motivo, não se considera necessário aprofundar a discussão sobre seu formato. As principais diferenças do uso dessa ferramenta no M-PPC em relação ao planejamento tradicional são:

- Os processos de construção inseridos no diagrama de rede devem ser correspondentes à produção de uma UBP;
- A cada processo identificado no diagrama de rede, correspondem documentos relativos ao subsistema (folha e fluxograma de processo) que detalham seu planejamento.

Sendo assim, o diagrama de rede permite registrar a sequência de processos e um de seus parâmetros (tempo de execução), sendo necessárias outras ferramentas para representar os recursos necessários, suas respectivas quantidades e as frentes de trabalho.

5.3.5 Outras ferramentas

Além das ferramentas propostas, outras podem ser utilizadas no planejamento de processos, conforme a necessidade. No caso do planejamento da construção de subsistemas, entre as identificadas no Quadro 4, o “diagrama de múltiplas atividades” pode ser empregado na divisão de atividades entre os membros da equipe definida para o processo. Instruções de trabalho (Figura 25) e ilustrações de processo (Figura 26) também podem ser úteis, pois transmitem informações por meio de uma linguagem clara e simples, ao fazerem uso de desenhos.

No caso do PPC do edifício, além das ferramentas indicadas anteriormente, pode-se utilizar também: a linha de balanço (Figura 33), para auxiliar na análise dos ritmos de produção de cada processo que compõe a produção completa do edifício, visando à sua otimização; histogramas de recursos (Figura 46), principalmente para avaliar o nível de utilização de recursos humanos e obter o maior nivelamento possível; e

cronogramas em formas de gráficos de barras (Figura 30), para representar a realização dos processos ao longo do tempo, facilitando a visualização por parte dos responsáveis por conduzir as atividades de execução.

5.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O M-PPC

As principais diferenças que se observam entre o M-PPC proposto e o planejamento tradicional da construção de edifícios são:

- incorporação da visão de processos ao planejamento da construção de edifícios, focando-se na obtenção de uma produção otimizada, em detrimento da visão de gestão de contratos;
- existência de um planejamento detalhado formal voltado aos subsistemas, os quais usualmente têm sua execução descrita de forma genérica em procedimentos de execução;
- vinculação entre o planejamento detalhado do subsistema e do edifício, de modo que ambos constituam um planejamento único e coerente;
- inserção de atividades de controle de qualidade no âmbito do planejamento de processos de construção, aumentando assim a possibilidade de que elas sejam feitas no momento e da forma corretos;
- inclusão das atividades de fluxo (transportes e estoques) no planejamento da construção, possibilitando a análise e eliminação de atividades que não agregam valor ao processo, o que contribui para o aumento da produtividade e/ou redução de custos de construção;
- proposta de ferramentas objetivas e de simples comunicação, inspiradas na indústria de manufatura, para registro do planejamento de processos, sobretudo no nível dos subsistemas (folha e fluxograma de processo de construção).

Para que o M-PPC possa ser desenvolvido de forma satisfatória, recomenda-se que haja a designação de uma pessoa ou de uma área (dependendo do porte da empresa) específica para sua realização, com atuação semelhante à Engenharia de Manufatura da indústria. Esta área – Engenharia de Processos de Construção – deve ser composta por profissionais com conhecimento sobre tecnologias e processos construtivos, capacitados para projetar processos consistentes e

otimizados. Roy, Low e Waller (2005) também defendem a criação desta especialidade e afirmam que “o engenheiro de processos realiza a interface entre as equipes de projeto e de produção para melhorar a qualidade do produto e a eficiência do processo”. Trata-se, portanto, de uma atribuição diferente e separada da tradicional área de planejamento que existe em empresas construtoras, cujo escopo, nesta proposta, ficaria mais próximo ao atribuído à área de Planejamento e Controle da Produção (PCP) existente na manufatura, com foco em programação e logística.

Recomenda-se ainda que, para melhores resultados, o M-PPC seja desenvolvido em um ambiente de Engenharia Simultânea, ou seja, com a participação do responsável pelo planejamento de processos na elaboração do projeto do edifício e/ou subsistema e na definição dos requisitos de construção (atividades iniciais do plano de ação definido na Figura 61), de modo a reduzir o tempo necessário de desenvolvimento do edifício e a quantidade de retrabalho. Isso também contribui para potencial melhoria da qualidade do projeto, uma vez que as características das tecnologias construtivas são consideradas na etapa de desenvolvimento do produto, com potencial ganho de construtibilidade.

Além disso, para que se atinja o grau de otimização desejado de processos industrializados, recomenda-se que não seja adotada a prática de simultaneidade entre projeto e planejamento e a etapa de execução (*fast-tracking* – item 3.1). Em outras palavras, o planejamento do processo deve ser inteiramente desenvolvido antes que a construção se inicie, para que o estudo seja feito considerando-se todas as etapas do edifício, sem restrições indesejáveis representadas por trechos do edifício já executados que não poderiam ser alterados.

Observa-se, portanto, que para a adequada aplicação do M-PPC, são necessárias diversas mudanças na forma de atuação das empresas: alteração da estrutura organizacional, para inserção da Engenharia de Processos de Construção; mudança na forma de desenvolvimento de projetos, para permitir ambiente de Engenharia Simultânea; e alteração no ciclo de desenvolvimento de empreendimentos, para eliminar a simultaneidade projeto/planejamento e obra. Essas modificações apresentam diversos impactos, inclusive financeiros, pois se alteram os custos de projeto e planejamento e o momento no qual eles ocorrem. O aprofundamento desta discussão, no entanto, foge ao escopo deste trabalho.

6 APRESENTAÇÃO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO M-PPC

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXEMPLO

Para possibilitar melhor compreensão do M-PPC apresentado no capítulo anterior, apresenta-se um exemplo de aplicação elaborado de acordo com o plano de ação e com as ferramentas propostos. O exemplo é focado no processo de construção do subsistema de vedo vertical estrutural para um edifício de 5 pavimentos (térreo inclusive), composto por 4 apartamentos por andar de 51m² cada (Figura 68 e Figura 69). A tecnologia empregada é a alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto (Figura 67), tendo-se definido o pavimento-tipo como Unidade-Base de Processo (UBP), uma vez que os pavimentos térreo e cobertura exibem particularidades que justificam a criação de um PPC específico para cada um, constituindo assim UBPs diferentes. Optou-se por exemplificar somente a parte do modelo que se refere ao planejamento de subsistemas do edifício, pois a que diz respeito ao planejamento do edifício como um todo emprega ferramentas que se encontram consolidadas na construção civil e, por isso, acredita-se não haver dificuldades para sua compreensão, não sendo, portanto, objeto do exemplo.

Figura 67 - Visão geral do processo de construção em alvenaria estrutural não armada.

Figura 68 - Planta de arquitetura do pavimento tipo – edifício base para exemplo do M-PPC.

Figura 69 - Elevação frontal – edifício base para exemplo do M-PPC.

A autora foi responsável pela definição do processo de construção deste e de outros subsistemas (piso térreo e vedos horizontais estruturais), quando trabalhou em uma incorporadora e construtora sediada em São Paulo, com atuação voltada ao segmento habitacional de baixa renda. Isso ocorreu em 2010, ano em que a empresa iniciava sua operação, com a proposta de construção em larga escala de edifícios habitacionais de forma industrializada, motivo pelo qual foi criada uma área específica para o desenvolvimento de processos construtivos. Naquela ocasião, o presente trabalho encontrava-se em fase inicial e, por isso, não foi possível a aplicação do M-PPC na íntegra no referido projeto. Entretanto, alguns conceitos foram incorporados, gerando informações para que se pudesse construir o exemplo aqui apresentado. Ou seja: embora embasado em informações reais, trata-se de um exemplo de aplicação do M-PPC que não chegou a ser implantado.

Para o desenvolvimento destes processos de construção, dispunha-se de um empreendimento protótipo, composto por cinco edifícios idênticos (Figura 70 e Figura 71), o qual possibilitava a experimentação e o aprimoramento dos processos para aplicação posterior em grande escala. O processo de construção apresentado como exemplo corresponde à última versão aplicada nessa obra, ou seja, ele contém as informações referentes às melhores práticas verificadas em campo.

Figura 70 - Vista geral de um dos edifícios-protótipo.

Figura 71 - Vista geral da central de pré-moldados do empreendimento-protótipo.

6.2 APLICAÇÃO DO M-PPC

Como o exemplo se restringe ao planejamento dos processos de construção de um determinado subsistema, o plano de ação empregado é o apresentado na Figura 72, que é parte da Figura 62. Cada uma das atividades é detalhada na sequência.

Figura 72 - Plano de ação para planejamento dos processos de construção de um subsistema.

6.2.1 Análise de projetos do subsistema

O planejamento dos processos de construção (PPC) do vedo vertical estrutural se inicia pela análise dos seguintes projetos: arquitetura (para identificação das características gerais do edifício); alvenaria estrutural (projeto do subsistema propriamente dito); lajes e instalações prediais (estes últimos devido à interferência com o subsistema analisado). Devem ser analisadas plantas, cortes, elevações, ilustrações, especificações, listas de materiais e memoriais descritivos, estudando-se em detalhe principalmente os projetos de alvenaria estrutural (plantas de cada uma das fiadas e elevações de todas as paredes). Desta análise, é possível identificar as principais características do subsistema e os respectivos impactos no processo de construção (Quadro 7).

característica de projeto	impacto no PPC	
	tipo de definição	descrição
alvenaria com módulo de 15cm, amarração em meio-bloco, sem peças especiais	sequência de atividades	não há necessidade de inserção de atividades de assentamento de peças especiais
	parâmetros	alta produtividade da alvenaria devido à não interrupção da elevação para inserção de peças especiais
junta horizontal da alvenaria preenchida com espessura de 1,0cm, somente nas paredes longitudinais do bloco	parâmetros	produtividade da elevação da alvenaria maior do que se houvesse a necessidade de preencher septos transversais
junta vertical não preenchida, com espessura de 0,3cm	parâmetros	produtividade da elevação maior do que se houvesse necessidade de preenchimento
	sequência de atividades	não há operação de preenchimento posterior das juntas com biscoito
alvenaria estrutural não armada (exceto em vergas, contravergas e respaldo)	sequência de atividades	não há operações de colocação de reforços verticais em aço, abertura de janelas de inspeção de grauteamento e grauteamento dos vazados verticais dos blocos
pé-direito de 2,40m (12 fiadas), 356m ² de alvenaria no pavimento, 4 apart./andar idênticos, aproxim. 90m ² de alvenaria/apart.	parâmetros	definição do tamanho da equipe
	frentes de trabalho	distribuição dos membros da equipe entre apartamentos de modo a se ter igual quantidade de alvenaria a ser executada por cada pedreiro
eletrodutos para tomadas e pontos de luz caminham somente de cima para baixo, na vertical da alvenaria	sequência de atividades	não há operação de embutimento de eletrodutos na alvenaria partindo do piso
contravergas e vergas moldadas <i>in-loco</i>	sequência de atividades	inserção de operações: assentamento de canaletas, armação e grauteamento
	recursos	previsão de equipamentos necessários ao grauteamento (ex: balde)
contramarcos pré-moldados	sequência de atividades	inserção de operação de colocação de contramarco
lajes pré-moldadas	sequência de atividades	impossibilidade de deixar eletrodutos chumbados no respaldo (assentamento das lajes os danificaria)
		necessidade de previsão de passante e passagem de eletrodutos após colocação da laje
		utilização de canaletas com furo para passagem de eletroduto
batentes metálicos incorporados à alvenaria	sequência de atividades	alocação da operação de colocação dos batentes durante a elevação da alvenaria
	recursos	equipamentos necessários à fixação do batente metálico

Quadro 7 - Características identificadas na análise de projetos do subsistema “vedo vertical estrutural” e impactos no planejamento do processo de construção.

A Figura 73 ilustra a identificação de algumas características citadas no Quadro 7.

A análise de projetos também permite e tem por objetivo propor alterações para melhorar a construtibilidade do edifício. Alguns exemplos são apresentados no Quadro 8.

proposta de alteração de projeto	impacto no PPC
substituição de contravergas e vergas moldadas <i>in-loco</i> por pré-moldadas (Figura 74 e Figura 75)	eliminação do grauteamento nestas etapas, evitando interrupções na elevação para assentamento de canaletas, colocação da armação e necessidade de produção e transporte de graute (atividades de fluxo)
aumento da espessura de chapa do batente metálico	mudança de chapa #18 (1,25mm) para chapa #16 (1,55mm), para que o batente não se deforme com a elevação da alvenaria (testes feitos em laboratório), eliminando necessidade de dispositivos especiais para sua montagem
exclusão de vergas sobre portas com batente metálico	devido à resistência do batente metálico de maior espessura (testes feitos em laboratório), indica-se a eliminação de vergas sobre portas que o empregam, sem necessidade de pré-moldados nestes pontos.
deslocamento de furos em canaletas para passagem de eletrodutos e mudança nas barras de aço do respaldo (Figura 76)	deslocamento de furos para passagem de eletrodutos do centro da canaleta para o canto, eliminando a necessidade de peças de aço dobradas e reduzindo o número de segmentos de aço, facilitando montagem
eliminação de blocos elétricos (Figura 74)	substituição de caixa elétricas quadradas por redondas colocadas em furo executado com serra-copo após a elevação, reduzindo número de peças especiais e aumentando a produtividade da elevação da alvenaria

Quadro 8 - Solicitações de alteração de projetos decorrentes da análise de projetos do subsistema “vedo vertical estrutural”, visando melhorar a construtibilidade do edifício.

Figura 74 - Elevação revisada com alteração de vergas e contravergas moldadas *in-loco* para pré-moldadas e substituição de blocos elétricos por blocos cortados com serra copo para inserção de caixinha elétrica.

Figura 75 - Detalhe de vergas e contravergas de concreto armado pré-moldadas.

Figura 76 - Alteração de posição de furo para passagem de eletroduto na fiada de respaldo, de a) furo centrado e barra de dobrada para efetuar o desvio, para b) furo excêntrico e barra de aço reta.

6.2.2 Análise de requisitos de construção do subsistema

Do planejamento geral do edifício são extraídos os requisitos de construção do subsistema vedo vertical estrutural, os quais são apresentados no Quadro 9, com a respectiva análise dos impactos sobre o processo de construção.

requisito de construção	impacto no PPC	
	tipo de definição	descrição
custo de mão de obra limitado ao equivalente a uma equipe de 4 pedreiros e 2 serventes (diretamente envolvida na alvenaria)	parâmetros de processo	composição da equipe
		tempo de execução da UBP
4 dias/pavimento para execução do vedo vertical + 1 dia/pavimento para montagem de lajes e escadas	sequência de atividades	divisão da sequência de atividades entre os dias disponíveis para execução da alvenaria
	parâmetros do processo	ritmo de produção
uso de grua para transporte vertical de materiais e componentes	todas	possibilidade de utilização e transporte de elementos pesados (ex: vergas e lajes pré-moldadas)
uso de andaime fachadeiro como proteção perimetral de alvenaria (posterior uso no subsistema revestimento externo)	sequência de atividades	prever operação de elevação do andaime simultânea à alvenaria
	recursos	não há necessidade de prever equipamento específico para proteção contra quedas
produção de lajes em central de produção de pré-moldados na obra	todas	possibilidade de produção de elementos pré-moldados em concreto armado (desde que pouco complexo)

Quadro 9 - Requisitos de construção e seus respectivos impactos no PPC para o subsistema vedo vertical estrutural.

6.2.3 Análise de terceirização de componentes

Com base na lista completa de materiais e componentes do subsistema vedo vertical estrutural (elaborada pela equipe de projetos) e no conhecimento da infraestrutura disponibilizada em obra (que faz parte de diretrizes gerais de operação da empresa), devem ser definidos os itens que devem ser adquiridos como componentes e os que devem ser produzidos ou adaptados internamente (Figura 77).

Material/Componente	Produção externa	Produção interna
Batentes Metálicos		
75,3 x 200 x 14,7cm encavalado dobradiça lado direito	x	
75,3 x 200 x 14,7cm encavalado dobradiça lado esquerdo	x	
75,3 x 200 x 14,7cm encavalado fechadura lado direito	x	
75,3 x 200 x 14,7cm encavalado fechadura lado esquerdo	x	
75,3 x 200 x 14,7cm lado direito	x	
75,3 x 200 x 14,7cm lado esquerdo	x	
90,3 x 200 x 14,7 lado direito	x	
90,3 x 200 x 14,7 lado esquerdo	x	
Blocos de concreto		
Bloco e meio 44,7 x 14,7 x 19cm	x	
Bloco inteiro 29,7 x 14,7 x 19cm / 4,5MPa	x	
Meio bloco 14,7 x 14,7 x 19cm	x	
Canaleta inteira 29,7 x 14,7 x 19cm	x	
Meia canaleta 14,7 x 14,7 x 19cm	x	
Canaleta inteira 29,7 x 14,7 x 19cm com passante 50mm		x
Canaleta inteira 29,7 x 14,7 x 19cm com passante 75mm		x
Canaleta inteira 29,7 x 14,7 x 19cm hidráulica		x
Meia canaleta 14,7 x 14,7 x 19cm - cortada tipo "X"		x
Meia canaleta 14,7 x 14,7 x 19cm - cortada tipo "L"		x
Jota 19 x 14 x 29/19	x	
Jota 19 x 14 x 29/19 sem aba		x
Jota 19 x 14 x 29/19 com passante 50mm		x
Jota 19 x 14 x 29/19 com passante 75mm		x
Pré-moldados		
Contramarco 120cm	x	
Contramarco 60cm	x	
Contraverga 29,7 x 14,7 x 19cm		x
Verga 149,7 x 14,7 x 19cm		x
Verga com chanfro 209,7 x 14,7 x 19cm		x
CSL 29,7 x 14,7 x 19cm	x	
QDG 14,7 x 14,7 x 19cm	x	
QDL 29,7 x 14,7 x 19	x	
VTG 29,7 x 14,7 x 19	x	
Grautes e argamassas		
Argamassa de assentamento industrializada	x	
Graute de enchimento		x
Passantes		
Tubo PVC esgoto branco 50mm (passante 50mm)		x
Tubo PVC esgoto branco 75mm (passante 75mm)		x
Aço		
Peças conforme projeto	x	

Figura 77 - Lista de materiais e componentes, necessários à produção do vedo vertical estrutural de um pavimento tipo, classificados entre produção interna e externa.

De forma geral, os itens que devem ser produzidos internamente são:

- Blocos de concreto adaptados (Figura 80): as adaptações consistem em cortes para colocação de passantes para instalações prediais. Tais cortes dificilmente

seriam inseridos na fabricação dos blocos na indústria, devido às características do processo de produção (a vibroprensagem de blocos de concreto não permite a inserção de negativos a custo razoável, pois há grande índice de perdas de peças cortadas no transporte para a obra). Para a produção desses componentes na obra, no entanto, faz-se necessária a instalação de uma central de produção de blocos especiais, com uma serra copo de bancada (Figura 78) e uma serra mármore, que deve constar no planejamento de canteiro de obra;

Figura 78 - Serra-copo de bancada para execução de furos em canaletas com passantes para eletrodutos no canteiro de obras.

- Elementos pré-moldados armados: vergas e contravergas armadas com barras de aço, pela sua simplicidade (elementos lineares) podem ser produzidas na central de produção de pré-moldados (lajes) da obra, que possui os equipamentos para esse tipo de pré-fabricação e capacidade para absorver a produção desses itens (Figura 79), com custo mais baixo se comparado à pré-fabricação externa (eliminação do frete para transporte);

Figura 79 - Vergas (maiores) e contravergas (menores) pré-moldadas na central de pré-moldados instalada no canteiro do empreendimento-protótipo.

IDENTIFICAÇÃO EM PROJETO DE PRODUÇÃO	BLOCO ORIGINAL	VISTA SUPERIOR	CORTE A-A	QUANTIDADE/PAVIMENTO (un.)
CANALETA HIDRÁULICA	CANALETA INTEIRA			4
JOTA SEM ABA	CANALETA TIPO JOTA			24
COMPENSADOR CRUZAMENTO "X"	MEIA CANALETA			1
COMPENSADOR CRUZAMENTO "L"/"T"	MEIA CANALETA			34
CANALETA COM PASSANTE 50mm	CANALETA INTEIRA			47
CANALETA COM PASSANTE 75mm	CANALETA INTEIRA			10
JOTA COM PASSANTE 50mm	CANALETA TIPO JOTA			5
JOTA COM PASSANTE 75mm	CANALETA TIPO JOTA			2

Figura 80 - Lista de blocos especiais a serem produzidos na obra, com respectivos projetos.

- Graute de enchimento: ao contrário da argamassa, definida como industrializada e somente misturada com água, a dosagem dos materiais para fabricação do graute de enchimento deve ser feita inteiramente na obra, por restrições de custo de material (Figura 81);

Figura 81 - Betoneira para produção de graute sendo abastecida pela caçamba com agregados.

- Passantes de PVC: os tubos que configuram os passantes dos eletrodutos pela fiada de respaldo (Figura 82) devem ser produzidos na obra, a partir do corte de tubos de PVC (linha esgoto) em central de produção de kits hidráulicos, prevista nas diretrizes gerais da empresa para possibilitar a produção de outros subsistemas (ex.: instalações hidráulicas). De forma análoga às contravergas, a produção externa desses elementos teria um custo mais alto.

Figura 82 - Passante de PVC.

Os demais itens devem ser adquiridos prontos, seja porque a produção exige uma estrutura específica cuja operacionalização pela empresa seria muito difícil a um custo competitivo (ex.: produção de blocos de concreto, que exige central dosadora,

vibroprensas e câmaras de cura, que são equipamentos de alto custo que atendem a um volume de produção maior do que o disponibilizado pela empresa); ou por empregarem uma tecnologia diferenciada (ex.: produção de contramarco pré-moldado); ou porque a aquisição de itens prontos apresenta um custo mais baixo (ex: aço pré-cortado e pré-dobrado).

6.2.4 Seleção dos processos de construção

Algumas das decisões importantes relativas a processos de construção são tomadas ainda na fase de projeto (ou de sua análise), como, no exemplo apresentado, o uso de vergas e contravergas pré-moldadas, de contramarcos pré-moldados, de batentes metálicos e de caixas elétricas redondas. Dessa forma, usualmente permanecem poucas definições sobre processos para esta etapa de seleção. No caso desse exemplo tem-se:

- transferência de referências de locação com equipamento de nível a laser: o processo tradicionalmente utilizado baseia-se no uso de ganchos fixados à laje e do prumo de centro para transferir os eixos para o andar superior. Considerando a dificuldade de fixação de ganchos às lajes pré-moldadas e visando maior produtividade, desenvolveu-se, na obra-protótipo, um processo alternativo. Utilizam-se cantoneiras metálicas fixadas em cada canto externo do radier do edifício, demarcadas com 2 pontos de referência com punção. Esses pontos são transferidos com um equipamento de nível a laser (raio fixo), com emissão de feixe vertical, para o andar em execução, onde se emprega um bloco metálico com 2 visores. A posição do bloco metálico deve ser ajustada para que os feixes de laser coincidam com os centros dos dois visores, possibilitando assim a locação e a fixação das bases dos escantilhões dos cantos externos do pavimento (Figura 83);

Figura 83 - Representação esquemática da transferência de referências de localização utilizando equipamentos de nível a laser.

- elevação da alvenaria com escantilhões: no processo tradicional de elevação, que emprega prumo de face e régua metálica, a qualidade da alvenaria depende fortemente da habilidade do pedreiro que a executa, além de apresentar menor produtividade. Buscando a racionalização do processo de construção, define-se o uso de escantilhões como referência de alinhamento, nivelamento e prumo para elevação da alvenaria (Figura 84);

Figura 84 - Elevação da alvenaria com o uso de escantilhões (a seta vermelha indica a linha de referência para alinhamento e nivelamento dos blocos).

- uso de gabaritos para definição de vãos de porta e janela: pelo mesmo motivo que se indica a utilização de escantilhões, devem ser utilizados gabaritos para definição dos vãos de janela (Figura 85). Os gabaritos também devem ser

empregados nas portas externas, em que o batente metálico não pode ser utilizado pelo risco de corrosão (especificação de projeto) (Figura 86);

Figura 85 - Gabarito de vão de janela.

Figura 86 - Gabarito de vão de porta.

- assentamento de blocos com o uso da bisnaga: a escolha da bisnaga como ferramenta para o espalhamento da argamassa tem impactos na produtividade do processo de elevação, pois ela permite a formação de cordões extensos (cobrindo aproximadamente 1,20m), o que acelera a operação de assentamento de blocos (Figura 87). O processo alternativo que utiliza a palheta teria menor produtividade, pois exige a aplicação de argamassa bloco a bloco.

Figura 87 - Aplicação de argamassa de assentamento com bisnaga em extensão de 4 componentes (~1,20m).

6.2.5 Definição do processo de construção

O processo de construção definido é apresentado na Figura 88, que corresponde à Folha de Processo de Construção.

FOLHA DE PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Código: FOP-F01A-005

Produto: F01A (T+4/4) - 51M²

Processo: Alvenaria Estrutural não Armada (tipo)
 Subsistema: Vedo vertical estrutural - andar tipo
 UBP: pavimento tipo

Equipe: 4 pedreiros + 2 serventes (no pavimento) + equipe de apoio (térreo)
 Tempo de ciclo: 4 dias
 Procedimento: PEX-ALV-002

Equipamentos de proteção individual necessários em todo o processo	
✓ botina	✓ uniforme completo
✓ capacete	✓ protetor solar
✓ óculos de sol	
✓ luva de látex	

nº	descrição da atividade	equipamentos - ferramentas - instrumentos		tempo de execução	observações
		especificação	qtde.		
s1	Elevar andaime fachadeiro para proteção periférica	andaime fachadeiro	-	0,5 dia (após montagem da laje)	equipe terceirizada
		ferramentas de montagem	-		
		cinto de segurança	2		
o1	Mapear o nível do piso e identificar ponto mais alto (referência para 1ª fiada)	Nível alemão c/ régua graduada	1	dia 1	equipe única
		Trena metálica 5m	1		
o2	Transferir referência da cantoneira de marcação do térreo e fixar bases de escantilhão dos 4 cantos externos principais ao piso c/ parafuso cabeça sextavada 3/16" x 45mm e bucha 6mm	Base de escantilhão	4	dia 1	equipe única
		Gabarito p/ laser	1		
		Laser de feixe vertical Anvi PLS3	2		
		Suporte p/ laser	2		
		Furadeira martelete Hilti TE1	1		
		Broca 6mm	1		
		Parafusadeira Hilti SIW 144-A	1		
		Soquete Gedore SX nº 19	1		
		Martelo	1		
o3	Montar escantilhões de canto, aprumá-los e nivelá-los de acordo com a cota estabelecida no mapeamento. Fixar pés telescópicos dos escantilhões ao piso com parafuso cabeça sextavada 3/16" x 45mm e bucha 6mm	Escantilhão	4	dia 1	equipe única
		Nível alemão c/ régua graduada	1		
		Trena metálica 5m	1		
		Nível digital	1		
		Furadeira martelete Hilti TE1	1		
		Parafusadeira Hilti SIW 144-A	1		
		Broca 6mm	1		
		Soquete Gedore SX nº 19	1		
		Martelo	1		
o4	Assentar 1ª fiada conforme projeto de marcação da alvenaria.	Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4	dia 1	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Linha de pedreiro (rolo)	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		
		Esquadro 100 x 100cm	4		
		Régua técnica	4		
		Trena metálica 10m	4		
o5	Assentar castelinhos nas laterais de portas até 3ª fiada e preencher o vazio do bloco adjacente à porta com argamassa de descarte fresca	Régua técnica	4	dia 1	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Trena metálica 5m	4		
		Bisnaga	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
o6	Fixar bases de escantilhão internas ao piso c/ parafuso cabeça sextavada 3/16" e bucha 6mm	Base de escantilhão	23	dia 1	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Furadeira martelete Hilti TE1	2		
		Broca 6mm	2		
		Parafusadeira Hilti SIW 144-A	2		
		Soquete Gedore SX nº 19	2		
		Martelo	2		
o7	Montar escantilhões internos, aprumá-los e nivelá-los de acordo com a cota da 1ª fiada. Fixar pés telescópicos dos escantilhões ao piso com parafuso de cabeça sextavada 3/16" e bucha 6mm	Escantilhão	23	dia 1	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Nível alemão c/ régua graduada	2		
		Trena metálica 5m	2		
		Nível digital	2		
		Furadeira martelete Hilti TE1	2		
		Parafusadeira Hilti SIW 144-A	2		
		Broca 6mm	2		
		Soquete Gedore SX nº 19	2		
i1	Inspeção da 1ª fiada Alinhamento (tolerância: 2mm/m) Nivelamento (tolerância: 2mm/m) Locação de paredes (tolerância: 2mm) Esquadro entre paredes (tolerância: 1mm/m e 3mm no máximo) Prumo de escantilhões (tolerância: 0mm)	Régua técnica	1	dia 1	-
		Trena metálica 5m	1		
		Esquadro 100 x 100cm	1		
		Nível digital	1		
o8	Posicionar batentes metálicos, travá-los, retirar grapas de transporte, nivelá-los, aprumá-los, fixá-los aos castelinhos e chumbá-los à alvenaria com argamassa. Retirar sargentos provisórios após cura da argamassa (1 dia)	Sargento regulável P	8	dia 2	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Sargento regulável EP	4		
		Sargento regulável EP-D	2		
		Sargento regulável EP-E	2		
		Trava regulável 75,3cm	12		
		Régua técnica	2		
		Nível digital	2		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	2		
		Lixadeira	1		
		Martelo de borracha	2		
		Nível alemão c/ régua graduada	1		
o9	Posicionar gabaritos de vão de porta, nivelá-los, aprumá-los e fixá-los aos castelinhos	Trena metálica 5m	1	dia 2	equipe única
		Gabarito de vão de porta	4		
		Nível alemão c/ régua graduada	1		
		Trena metálica 5m	1		
		Nível digital	1		
i2	Prumo e nivelamento de batentes metálicos e gabaritos de vão de porta (tolerância: 0mm)	Régua técnica	1	dia 2	-
		Nível digital	1		
o10	Elevar paredes externas da 2ª à 5ª fiada conforme projeto. Assentar elementos pré-moldados especiais conforme projeto, inclusive contravergas pré-moldadas. Deixar castelos para elevar paredes internas posteriormente	Linha de pedreiro (rolo)	4	dia 2	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Régua técnica	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
		Bisnaga	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		

Figura 88 - Folha de processo de construção (continua).

FOLHA DE PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Código: FOP-F01A-005

Produto: F01A (T+4/4) - 51M²

Processo: Alvenaria Estrutural não Armada (tipo)
 Subsistema: Vedo vertical estrutural - andar tipo
 UBP: pavimento tipo

Equipe: 4 pedreiros + 2 serventes (no pavimento) + equipe de apoio (térreo)
 Tempo de ciclo: 4 dias
 Procedimento: PEX-ALV-002

Equipamentos de proteção individual necessários em todo o processo				
✓ botina	✓ uniforme completo			
✓ capacete	✓ protetor solar			
✓ óculos de sol				
✓ luva de látex				

nº	descrição da atividade	equipamentos - ferramentas - instrumentos		tempo de execução	observações
		especificação	qtde.		
o11	Posicionar, aprumar, nivelar e fixar gabaritos de vão de janela	Gabarito de vão 120,3cm	12	dia 2	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Gabarito de vão 60,3cm	4		
		Trena metálica 5m	2		
		Nível digital	2		
o12	Elevar paredes externas da 6ª à 7ª fiada conforme projeto.	Linha de pedreiro (rolo)	4	dia 2	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Régua técnica	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
		Bisnaga	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		
o13	Elevar paredes internas da 2ª à 7ª fiada conforme projeto. Assentar elementos pré-moldados especiais conforme projeto.	Linha de pedreiro (rolo)	4	dia 2	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Régua técnica	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
		Bisnaga	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		
i3	Inspeção da 1ª fase de elevação: Alinhamento da alvenaria (tolerância: 2mm/m) Nivelamento da alvenaria (tolerância: 2mm/m) Prumo da alvenaria (tolerância: 2mm/m)	Régua técnica	1	dia 2	-
		Trena metálica 5m	1		
		Esquadro 100 x 100cm	1		
o14	Posicionar andaimes internos, conforme projeto de andaimes (transportá-los do estoque no andar inferior)	Andaimes internos	112	dia 3	-
o15	Elevar paredes da 8ª à 10ª fiada conforme projeto	Linha de pedreiro (rolo)	4	dia 3	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Régua técnica	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
		Bisnaga	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		
o16	Retirar gabaritos de vão de janela e de vão de porta	-	-	dia 3	-
o17	Assentar contramarco sobre contraverga, aprumá-lo com referência ao revestimento externo (2cm) e fixá-lo às laterais em alvenaria com argamassa	Régua metálica 2,0cm	1	dia 3	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	2		
		Bisnaga	2		
o18	Assentar vergas pré-moldadas conforme projeto	Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	2	dia 3	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Bisnaga	2		
		Linha de pedreiro (rolo)	2		
		Esticador de linha	2		
o19	Assentar 11ª fiada conforme projeto	Linha de pedreiro (rolo)	4	dia 3	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Régua técnica	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
		Bisnaga	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		
o20	Marcar pontos de passagem de eletrodutos na cinta	Giz	1	dia 3	-
o21	Assentar alvenaria de respaldo (12ª fiada) conforme projeto. Assentar canaletas com furo para passante para eletroduto conforme projeto	Linha de pedreiro (rolo)	4	dia 3	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
		Esticador de linha	4		
		Régua técnica	4		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4		
		Bisnaga	4		
		Esquadro 40 x 100cm	4		
o22	Encaixe de tubos passantes para eletrodutos nas canaletas com furo para passante	-	-	dia 4	divisão da equipe nas 4 frentes de trabalho
o23	Colocar armação da cinta conforme projeto (peças cortadas e dobradas)	-	-	dia 4	
o24	Montar formas de grauteamento nos cantos e terminações de parede conforme projeto	Formas de grauteamento	20	dia 4	
i4	Inspeção da 2ª fase de elevação: Alinhamento da alvenaria (tolerância: 2mm/m) Nivelamento da alvenaria (tolerância: 2mm/m) Prumo da alvenaria (tolerância: 2mm/m)	Régua técnica	1	dia 4	-
		Trena metálica 5m	1		
		Esquadro 100 x 100cm	1		
o25	Saturar com água os blocos canaleta da fiada de respaldo, preencher com graute e rasar o graute.	Balde graduado 10L	4	dia 4	equipe única, todos grauteiam
o26	Cura do graute (aproximadamente 1h)	Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	4	dia 4	
o27	Desparafusar fixação de escantilhões e de bases de escantilhão, desmontá-los e estocá-los no pavimento inferior	Parafusadeira Hilti SIW 144-A	2	dia 4	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Soquete Gedore SX nº 19	2		
		Chave catraca	2		
o28	Retirar formas de grauteamento e estocá-las no pavimento inferior	-	-	dia 4	-

Figura 88 – Folha de processo de construção (conclusão).

O código atribuído ao documento é “FOP-F01A-005” (Folha de Processo de Construção do produto F01A, processo 5 na ordem de execução do edifício) e o produto ao qual ele corresponde é identificado pelo código “F01A (T+4/4) – 51m²” (Produto F01A, composto por andar térreo mais quatro pavimentos, 4 por andar, cada apartamento com 51m²). Trata-se somente de um sistema de codificação, que pode mudar conforme a organização de documentos de cada empresa. O cabeçalho do documento identifica ainda o processo, o subsistema e a respectiva UBP, a equipe necessária para sua produção e o tempo de ciclo.

A folha de processo faz referência a um procedimento de execução (PEX-ALV-002), em que são descritos em detalhe: todas as operações que integram o processo de construção de alvenaria estrutural não armada, as técnicas de construção, os cuidados com pontos críticos da execução, etc. Dessa forma, mantém-se a folha de processo como um documento de planejamento, de consulta rápida, em que são apontados os passos do processo de forma sintética (para garantir sua execução na ordem correta e de acordo com o processo definido), tendo-se o procedimento de execução como documento auxiliar, para treinamentos ou consulta em caso de dúvidas específicas. A Figura 89 e a Figura 90 ilustram, respectivamente, a diferença entre a descrição de um processo na folha de processo e no procedimento de execução.

8	Posicionar batentes metálicos, travá-los, retirar grapas de transporte, nivelá-los, aprumá-los, fixá-los aos castelinhos e chumbá-los à alvenaria com argamassa. Retirar sargentos provisórios após cura da argamassa (1 dia)	Sargento regulável P	8	dia 2	divisão da equipe em 2 (2 a 2 pedreiros)
		Sargento regulável EP	4		
		Sargento regulável EP-D	2		
		Sargento regulável EP-E	2		
		Trava regulável 75,3cm	12		
		Régua técnica	2		
		Nível digital	2		
		Colher de pedreiro nº 9 Pacetta	2		
		Lixadeira	1		
		Martelo de borracha	2		
		Nível alemão c/ régua graduada	1		
		Trena metálica 5m	1		

Figura 89 - Descrição da atividade “colocação de batentes metálicos” na Folha de Processo de Construção.

Posicionamento de batentes metálicos:

- O castelinho em volta dos batentes deve ter sido assentado e preenchido no dia anterior. Não fixar batentes em castelinhos frescos, pois há risco de que saia do lugar;
- Montar a trava regulável do batente na sua base. Não retirar grapas de transporte;
- Posicionar o batente metálico de acordo com a indicação de projeto (etiqueta de identificação do batente deve corresponder ao código de projeto) no vão da alvenaria, encaixando-o nos castelinhos, evitando torcê-lo;
- Nivelar o batente ajustando os parafusos da trava regulável. Verificar o nivelamento com a régua técnica ou com a régua digital, no topo do batente;
- Colocar os sargentos, fixando-os aos castelinhos, e regulá-los ajustando os parafusos para aprumar o batente metálico. Verificar o prumo com a régua técnica ou com a régua digital, na lateral do batente;
- Quando houver mais de um batente metálico na mesma parede ou em paredes próximas, verificar o alinhamento ou esquadro entre eles, para que não haja prejuízos estéticos;
- Quando o batente estiver na posição correta e devidamente fixo à alvenaria com os sargentos, preencher o espaço entre a chapa e os blocos com argamassa fresca. Deve-se aplicar pequenas batidinhas com martelo de borracha no batente para garantir o preenchimento deste espaço, adensando a argamassa;
- Retirar grapas de transporte com lixadeira. Antes da pintura do batente metálico, é necessário aplicar zarcão nos pontos de retirada de grapas para evitar corrosão;
- Após o endurecimento da argamassa, retirar trava e sargentos dos batentes metálicos, para uso no andar subsequente. Recomenda-se retirar as travas o quanto antes, pois atrapalham o trânsito de operários no pavimento em execução;

Figura 90 - Descrição da colocação de batente metálico no procedimento de execução.

Para complementar a descrição do processo de construção, utiliza-se o fluxograma de processo de construção, representado na Figura 91. Assim como na folha de processo de construção, atribuem-se ao fluxograma um código referente ao documento (FLP-F01A-005) e a identificação do produto ao qual corresponde o processo de construção representado. A sequência de atividades representada no fluxo principal (canto direito da folha) corresponde exatamente às atividades representadas na folha de processo de construção e, além disso, o fluxograma representa as atividades de fluxo (transportes e estoques), além de operações preparatórias e inspeções de recebimento necessárias para que o processo de construção principal transcorra da forma planejada. Para melhor ilustrar o processo de construção, o Quadro 10 apresenta as operações do processo.

FLUXOGRAMA DE PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Código: FLP-F01A-005

Produto: F01A (T+4/4) – 51M²

Processo: Alvenaria Estrutural não Armada (tipo)
 Subsistema: Vedo Vertical Estrutural – andar tipo
 UBP: pavimento tipo

LEGENDA

Figura 91 - Fluxograma de processo de construção (continua).

FLUXOGRAMA DE PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Código: FLP-F01A-005

Produto: F01A (T+4/4) – 51M²

Processo: Alvenaria Estrutural não Armada (tipo)
 Subsistema: Vedo Vertical Estrutural – andar tipo
 UBP: pavimento tipo

LEGENDA

Figura 91 – Fluxograma de processo de construção (conclusão).

Operação 1 - Mapeamento de nível.	Operação 2 - Transferência de eixos/fixação de bases de escantilhão externas.	Operação 3 - Montagem de escantilhões de canto.	Operação 4 - Assentamento da 1ª fiada.	Operação 5 - Assentamento dos castelinhos.

Operação 6 - Fixação de bases de escantilhão internas.	Operação 7 - Montagem de escantilhões internos.	Operação 8 - Colocação de batentes metálicos.	Operação 9 - Posicionamento de gabaritos de vão de porta.	Operação 10 - Elevação de paredes externas até 5ª fiada.

Operação 11 - Posicionamento de gabaritos de vão de janela.	Operação 12 - Elevação de paredes externas da 6ª à 7ª fiada.	Operação 13 - Elevação de paredes internas até 7ª fiada.	Operação 14 - Posicionamento de andaimes.	Operação 15 - Elevação de paredes até 10ª fiada.

Quadro 10 - Operações do processo de construção ilustradas (continua).

Operação 16 - Retirada de gabaritos de vão de porta e janela.	Operação 17 - Assentamento de contramarco.	Operação 18 - Assentamento de verga pré-moldada.	Operação 19 - Assentamento da 11ª fiada.	Operação 20 - Marcação dos pontos de descida de eletroduto.

Operação 21 - Assentamento da 12ª fiada	Operação 22 - Colocação dos passantes de PVC	Operação 23 - Armação da fiada de respaldo.	Operação 24 - Colocação das formas de grauteamento.	Operação 25 - Grauteamento do respaldo.

Operação 26 -- Cura do graute.	Operação 27 -- Desmontagem de escantilhões.	Operação 28 - Retirada de formas de grauteamento.		

Quadro 10 - Operações do processo de construção ilustradas (conclusão).

Os itens que definem o processo de construção são discutidos na sequência.

6.2.5.1 Definição da sequência de atividades

As operações e inspeções são organizadas e numeradas na folha de processo de forma sequencial, sendo as operações identificadas pela letra “o” e as inspeções pela letra “i”. Os códigos estabelecidos na folha de processo são os mesmos utilizados no fluxograma para identificação do fluxo principal do processo de construção. A sequência de operações é definida com base no conhecimento das características do processo de construção em alvenaria estrutural não armada e na premissa de se ter a maior racionalização possível, minimizando interferências e interrupções. Alguns pontos específicos da sequência estabelecida ilustram esse raciocínio:

- execução de castelos logo após a 1ª fiada e instalação dos batentes metálicos: a antecipação de parte da 2ª e 3ª fiadas nas laterais de porta, de modo a formar um castelo, permite a instalação dos batentes metálicos no início do processo de construção, para que sirvam como referência para a elevação (função semelhante à do escantilhão);
- divisão da elevação da alvenaria em duas etapas: com a utilização de vergas e contravergas pré-moldadas, é possível interromper a elevação apenas na 7ª fiada, quando uma parada é necessária para posicionamento dos andaimes internos. Com poucas interrupções, aumenta-se a produtividade do processo de construção;
- assentamento de contramarcos na 10ª fiada: ainda que seja possível colocá-lo antes da execução da 6ª fiada, já definindo o vão de janela e servindo de referência para elevação, isso exigiria dispositivos especiais de fixação e, mesmo com isso, ainda haveria o risco de desvio de prumo. Assim, indica-se a execução do vão antes de assentar o contramarco pré-moldado.

As atividades de fluxo (transportes e estoques) pertinentes à unidade-base de produção objeto do planejamento (no caso, o pavimento-tipo do vedo vertical estrutural), bem como operações preparatórias e inspeções de recebimento são estabelecidas respeitando-se: a sequência de operações do processo, que dita o momento de entrada de cada recurso de produção no pavimento em execução; os

requisitos de construção; os recursos de transporte disponíveis; entre outras características. Alguns exemplos ilustram o tratamento dado a essas atividades:

- transporte de blocos: o bloco é o principal insumo da alvenaria e o seu abastecimento depende do seu formato. Os blocos inteiros, que representam a maior parte do consumo, são transportados em *pallet* fechado, pela grua, diretamente do seu estoque no térreo até o local designado para sua descarga no pavimento, onde permanece como estoque intermediário até que ocorra seu transporte manual até o local de execução da parede (Figura 92). Os blocos não inteiros são transportados em gaiolas, na quantidade exata que será necessária para execução do pavimento (inferior a um *pallet* inteiro) (Figura 93). A mesma forma de transporte é utilizada para blocos especiais produzidos em central. Nesse caso, é necessária uma atividade de preparação destes blocos. Além disso, para se evitar conflitos de atividades no pavimento em execução, recomenda-se utilizar uma ferramenta adicional, que consiste em uma planta para definição dos locais de estoques intermediários de *pallets* e gaiolas no pavimento em execução (Figura 94). Conforme exposto no item 5.3.5, outras ferramentas podem sempre ser utilizadas para que a definição do processo seja feita de modo satisfatório.

(a)

(b)

(c)

Figura 92 - Abastecimento de blocos inteiros: a) estoque de *pallets* de blocos no térreo; b) transporte de *pallet* de blocos com grua até o pavimento; c) estoque intermediário de *pallets* no pavimento.

Figura 93 - Montagem de gaiola de blocos especiais no térreo, próximo ao estoque de *pallets* de blocos.

LAYOUT DO ANDAR – SEM ANDAIMES

S/ ESCALA

LAYOUT DO ANDAR – ANDAIMES FRENTE 1

S/ ESCALA

LAYOUT DO ANDAR – ANDAIMES FRENTE 2

S/ ESCALA

DET 1 – LAYOUT HALL TÉRREO
ANDAIMES FRENTE 2

S/ ESCALA

LEGENDA:

P	PALETE 1,20m X 1,20m	G	GAJOLA 0,60m X 1,20m para blocos especiais e canaletas
1	POSIÇÃO DE USO ANDAIME 0,90m X 0,60m Local distribuição de blocos	C	PALETE 1,20 X 1,00 para contramarcos de janela
1	ANDAIME REPOSICIONADO	CX.	CAIXOTE 1m X 2m X 0,30m para argamassa de assentamento dos blocos
1	ANDAIME ESTOCADO		LOCAL PARA DISTRIBUIÇÃO DE BLOCOS 0,15m X 0,90m
	ALVENARIA EM EXECUÇÃO		LOCAL PARA DISTRIBUIÇÃO DE BLOCOS (0,30m X 0,45m)

ANDAIMES			
FRENTE	APARTAMENTO	QUANT. ANDAIMES	TOTAL
1	A	28	112
	B	28	
	C	28	
	D	28	

NOTA:

RETIRAR CAIXOTE DE ARGAMASSA PARA EXECUTAR A PAREDE DO HALL DOS APARTAMENTOS

Figura 94 - Definição de locais para descarga de pallets de bloco, gaiolas de blocos especiais e argamassa de assentamento (no caixote), de acordo com a fase da elevação.

- transporte de argamassa de assentamento: a argamassa de assentamento é produzida em central no térreo, descarregada fresca em uma caçamba, a qual é transportada pela grua até o pavimento em execução. Lá, a argamassa é descarregada da caçamba em um caixote metálico (estoque intermediário), a partir do qual são abastecidas as masseiras individuais dos pedreiros (Figura 95). Tanto os blocos quanto a argamassa de assentamento configuram abastecimentos contínuos, que se iniciam na operação 4 (assentamento da 1ª fiada) e se encerram somente na operação 21 (assentamento da 12ª fiada) – vide representação no fluxograma do processo (Figura 64).

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 95 – Abastecimento de argamassa de assentamento: a) produção de argamassa em central; b) transporte de argamassa fresca na caçamba acoplada à grua; c) descarga da argamassa em caixote metálico para estoque intermediário no pavimento; d) utilização de masseira individual.

6.2.5.2 Definição dos recursos

Os equipamentos e, sobretudo, as ferramentas empregadas no processo de construção devem ser definidos com base nas características e técnicas de execução da alvenaria estrutural não armada. Alguns exemplos ilustram as definições de equipamentos:

- mapeamento com nível alemão: opta-se pelo nível alemão, que consiste em um nível de mangueira com reservatório fixo (dispensando o uso de dois operários

para sua operação), ao invés do nível laser que, apesar de mais moderno, não possibilita a leitura em ambientes muito iluminados, como é o caso, pois a vedação vertical é feita antes da horizontal; portanto, trabalha-se exposto à luz solar;

- parafusadeira elétrica para fixação de escantilhões: o uso dessa ferramenta, ao invés de chaves manuais, para fixação dos escantilhões ao piso acelera o processo, uma vez que cada UBP exige 108 parafusos;
- nível digital para aprumar os escantilhões: o aparelho selecionado emite um sinal sonoro quando o escantilhão está no prumo, tornando a operação mais fácil e segura (desde que o equipamento esteja calibrado) do que usando a régua técnica com nível de bolha. O nível digital também é utilizado como instrumento de inspeção.

Podem ocorrer situações de aplicação do M-PCC em que nem todos os recursos estão disponíveis no mercado. Nesses casos, o seu desenvolvimento prévio pode ser exigido. No caso do exemplo em questão, alguns dos equipamentos indicados na folha de processo de construção foram desenvolvidos durante a obra-protótipo:

- gabarito de vão de porta (Figura 86): foi projetado um gabarito que facilita seu nivelamento (sapatas com roscas na base), ajuste do prumo e fixação à alvenaria (sargentos dobráveis e reguláveis) e, finalmente, sua retirada (travessa superior dobrável), após a finalização da elevação da alvenaria;
- fôrma para grauteamento: para tampar as extremidades de canaletas na 12ª fiada durante a operação de grauteamento, desenvolveu-se uma fôrma metálica encaixável e facilmente retirada após o endurecimento do graute (Figura 96 e Figura 97), substituindo improvisos como o uso de sacos de cimento para vedação destes pontos;

Figura 96 - Formas de grauteamento posicionadas (setas vermelhas).

Figura 97 - Formas de grauteamento desmontadas.

- travas e sargentos reguláveis para fixação de batente metálico: devido à necessidade de manter os batentes metálicos rigidamente fixados aos castelos de alvenaria durante o endurecimento da argamassa de chumbamento, e de ajustar seu nível e prumo com facilidade, projetaram-se travas e sargentos de fixação que contêm parafusos que permitem regular o nível e o prumo dos batentes (Figura 98).

Figura 98 - Travas e sargentos reguláveis para fixação de batentes metálicos.

No que diz respeito aos recursos humanos, a equipe necessária é definida com base nas restrições de custo oriundas do planejamento geral do edifício, em índices gerais de produtividade, na quantidade de alvenaria a ser elevada e no tempo estipulado para produção de 1 UBP. Para o exemplo em questão, os parâmetros de produtividade ($25 \text{ m}^2/\text{pedreiro.dia}$), área a ser produzida (356 m^2) e tempo de produção para 1 UBP (4 dias) resultaram em equipe composta por 4 pedreiros e 2

serventes (registrada no campo “equipe” do cabeçalho da folha de processo). Essa equipe trabalha exclusivamente no pavimento e são necessárias outras equipes de apoio (transporte de materiais no canteiro de obras, produção de elementos especiais), as quais não são indicadas por variarem em função da configuração do canteiro de obras (assim como todos os recursos relacionados às atividades de fluxo) e, portanto, devem ser planejadas no planejamento específico de cada empreendimento. Os recursos humanos necessários são definidos para o processo como um todo (e não especificamente para cada atividade) respeitando-se uma das condições estabelecidas pelo M-PPC: especificar equipes para execução da UBP e deixar a seu encargo a subdivisão nas atividades do processo. Há, no entanto, uma sugestão no campo “observação” de como as equipes podem se dividir, explicadas em detalhe no próximo item.

6.2.5.3 Definição dos parâmetros

As quantidades de equipamentos, ferramentas e instrumentos indicados na folha de processo de construção são suficientes para execução de uma UBP. No caso das ferramentas, que são específicas do operário e não dependem das características do edifício, a quantidade deve ser determinada com base na divisão de equipes sugerida com os seguintes critérios:

- equipe única (todos os 6 membros trabalham juntos): indicada para atividades que requerem maior precisão, como as que fazem parte da marcação da alvenaria;
- equipe dividida em 2 (2 a 2 pedreiros, cada dupla com 1 servente): indicada para atividades que requerem boa precisão (ex.: fixação de bases de escantilhão) ou que empregam elementos excessivamente pesados para uma única pessoa (ex.: assentamento de vergas pré-moldadas);
- equipe dividida nas 4 frentes de trabalho: para operações que o pedreiro pode executar sozinho (grande parte da elevação da alvenaria). Um servente abastece 2 pedreiros.

Em relação aos tempos necessários para executar cada atividade, define-se somente o dia dentro do ciclo estabelecido de 4 dias em que a atividade deve ocorrer, para que não se incorra em um estudo de tempos e métodos, o que engessaria o processo desnecessariamente.

6.2.5.4 Definição de frentes de trabalho

A alvenaria do pavimento inteiro deve ser elevada simultaneamente, facilitando a amarração entre paredes estruturais. Para isso, são necessárias quatro frentes de trabalho, sendo uma para cada pedreiro. A frente corresponde a um apartamento e, por isso, todas as frentes são idênticas. As paredes da área comum, bem como a de divisa entre os apartamentos A e B, não pertencem a nenhuma das frentes, acordando-se que o pedreiro que primeiro termine sua frente de trabalho as eleve. As frentes de trabalho são representadas no plano de ataque (Figura 99).

Figura 99 - Definição de frentes de trabalho para a produção da UBP do exemplo.

6.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DO M-PPC

O exemplo demonstra ser possível a aplicação do M-PPC a um processo de construção usualmente empregado na produção de edifícios residenciais (alvenaria estrutural). O plano de ação proposto (sequência de atividades de planejamento)

permite cobrir grande parte dos aspectos necessários à definição completa de processos de construção. Neste plano destaca-se a contribuição da atividade de análise de projetos, sobretudo no que diz respeito às sugestões de alteração (por exemplo, substituição de componentes moldados *in-loco* por pré-moldados), para a racionalização da produção de edifícios, pois isso permite que os responsáveis pelo processo de construção interfiram nas definições de produto, que são determinantes para a eficiência da produção em geral.

Em relação ao resultado do planejamento de processos propriamente dito, fica evidente o maior grau de detalhamento do PPC em relação ao planejamento tradicional. Enquanto no último o desdobramento de atividades da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) para o referido processo normalmente se encerra na separação entre as atividades de marcação (1ª fiada) e elevação, o PPC contempla 28 operações distintas e 4 etapas de inspeção para o mesmo ciclo, adequadamente organizadas para eliminar retrabalhos e interferências. Além disso, o PPC especifica em detalhe os equipamentos/ ferramentas pertencentes ao processo (37 no total, distribuídos em suas respectivas atividades), enquanto o planejamento tradicional se limita a analisar apenas os principais equipamentos da obra (gruas, cremalheiras, etc.), deixando que o empreiteiro providencie as ferramentas menores. O maior grau de detalhamento do PPC resulta em uma redução da dependência da experiência da equipe de produção para que o processo de construção transcorra racionalmente, o que é importante devido à escassez de mão de obra experiente. Além disso, a antecipação das decisões de processo reduz o risco de interrupções da produção por interferências não resolvidas entre operações distintas, contribuindo para um potencial aumento de produtividade e de qualidade. Para isso contribui ainda a previsão das atividades preparatórias e de fluxo, representadas no fluxograma de processo, que busca garantir que os recursos sejam provisionados no momento em que são necessários.

Entretanto, os benefícios citados não dependem somente da redução ou eliminação de indefinições. O estudo detalhado do processo de construção permite especificar operações, equipamentos, ferramentas, etc. que contribuem efetivamente com a industrialização do processo de construção. Por exemplo, a utilização de parafusadeiras para a fixação de escantilhões foi uma escolha decorrente da percepção da necessidade de acelerar essa operação, que ocorria 108 vezes em

um pavimento. Esta observação provavelmente não teria ocorrido, caso o planejamento se ativesse somente ao nível “macro”. O uso de gabaritos nos vãos de janelas e de portas em que não há batente metálico é outro exemplo de especificação que contribui com a industrialização, nesse caso reduzindo a dependência da habilidade do operário. Observam-se ainda outros exemplos, como a definição da transferência de eixos com laser, o uso de fôrmas de grauteamento facilmente montáveis, etc. Ou seja, a realização do PPC permite refletir adequadamente sobre o processo de construção, com vistas a sua otimização.

No que diz respeito às ferramentas exemplificadas (Folha de Processo de Construção e Fluxograma de Processo de Construção), a grande vantagem é a representação das informações necessárias para a correta condução do processo de construção em campo de forma simples e direta. Caso se utilizassem as ferramentas tradicionais de planejamento na construção (EAP e cronogramas associados), as informações seriam veiculadas em um nível de detalhe muito menor e, portanto, para a completa definição do processo de construção, seria necessário recorrer a procedimentos de execução (que costumam ser extensos e genéricos) e/ou à experiência do pessoal da produção (o que é incompatível com o atual cenário de escassez de recursos humanos experientes o que, inclusive, é um dos fatores que motivam a industrialização da construção). Portanto, tratam-se de ferramentas adequadas à produção industrializada de edifícios.

Em suma, a aplicação do plano de ação e das ferramentas previstas no M-PPC permite obter processos de construção com grau de organização similar ao observado na indústria de manufatura, o que é fundamental para a industrialização da produção de edifícios habitacionais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 SOBRE A CONSECUÇÃO DO OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em “*propor um modelo para o planejamento de processos de construção para a produção industrializada de edifícios habitacionais, compreendendo o plano de ação e as ferramentas necessárias para a sua implantação*”. Apresentou-se, assim, o Modelo de Planejamento de Processos de Construção (M-PPC), que abrange:

- a especificação dos itens relativos aos processos de construção inclusos no escopo do M-PPC e os não inclusos. Para esses últimos, é feita a indicação de qual seria a área responsável por realizá-los, deixando-se clara sua importância;
- um plano de ação, com a indicação e descrição das atividades e seu adequado sequenciamento para possibilitar a obtenção de um planejamento de processo de construção completo, tanto no âmbito do edifício, quanto no âmbito de subsistemas;
- as ferramentas consideradas necessárias e adequadas à operacionalização e registro do M-PPC, incluindo sugestões de formato e conteúdo;
- recomendações que podem facilitar a aplicação do M-PPC, em especial a proposição de uma área responsável pela sua realização, denominada Engenharia de Processos de Construção;
- um exemplo de aplicação dos elementos do M-PPC, utilizando-se como referência a produção de um subsistema do edifício – o vedo vertical do processo de alvenaria estrutural.

Portanto, considera-se que o objetivo deste trabalho foi plenamente atingido.

7.2 SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Podem ser destacadas algumas contribuições decorrentes da realização deste trabalho, quais sejam:

- metodologia de pesquisa adotada: o estabelecimento de um paralelo com outra área que não a construção de edifícios (neste caso, a indústria de manufatura), escolhida devido a seu avançado grau de desenvolvimento em relação ao

assunto a ser pesquisado, constitui em si uma contribuição deste trabalho. Apesar de a indústria de manufatura ser referência no que tange à organização de sua produção e do potencial de se extrair lições relevantes para a industrialização da construção, são poucos os trabalhos que procuraram estabelecer esse paralelo. O estudo da indústria de manufatura (capítulo 2) revelou vários aspectos diferentes das práticas da construção de edifícios e que podem ser analisados visando à construção industrializada (alguns apontados no item 7.3 como sugestões para pesquisas futuras);

- consolidação do conhecimento sobre a prática tradicional de planejamento de processos na manufatura: a revisão bibliográfica sobre a indústria de manufatura contemplou um grande número de referências, o que permitiu construir um texto abrangente e completo sobre como tem ocorrido o planejamento de processos visando à produção em larga escala. Não foi encontrado nenhum texto da construção de edifícios que apresentasse o conhecimento consolidado da indústria de manufatura e, portanto, considera-se que esta seja uma contribuição deste trabalho, pois pode servir como ponto de partida para futuros pesquisadores;
- síntese das propostas de planejamento da construção de edifícios: a revisão bibliográfica sobre as propostas de planejamento alternativas ao planejamento tradicional na construção de edifícios permitiu reunir, em um único texto, diversas abordagens nacionais e internacionais sobre o assunto. Assim como a consolidação do conhecimento da Engenharia de Manufatura, isso constitui uma contribuição deste trabalho, especialmente para a comunidade científica, que pode utilizar este texto também como um ponto de partida para outras pesquisas sobre este tema;
- proposta do Modelo de Planejamento de Processos de Construção (M-PPC): apesar do modelo não ter sido implantado, o que impossibilita afirmar com segurança qual é o seu grau de contribuição, existem várias contribuições em potencial decorrentes desta proposta. A aplicação do M-PPC requer que a organização pense detalhadamente sobre seus processos, o que antecipa decisões para a fase de planejamento, quando é possível fazer uma análise mais cuidadosa, o que ajuda a evitar falhas no processo de construção. Além do grau de detalhamento proposto pelo M-PPC, sua abrangência (incluindo atividades de

fluxo) e sua articulação (vinculação entre o planejamento de subsistemas e o planejamento do edifício) também devem contribuir para a obtenção de processos de construção consistentes e otimizados. Ou seja, a implantação do M-PPC apresenta a perspectiva de resultar em processos de construção com alto grau de eficiência, o que é o objetivo principal da industrialização da construção. Além disso, as ferramentas propostas no M-PPC, por serem simples e objetivas, apresentam também um potencial de contribuição com a eficiência do processo, pois devem evitar falhas de comunicação, reduzindo desvios e imprevistos. O modelo e as ferramentas podem ser aproveitados, com algumas adaptações também na construção em pequena escala, podendo trazer benefícios em função do melhor grau de organização do processo de construção;

- exemplificação do Modelo de Planejamento de Processos de Construção (M-PPC): além da proposta do M-PPC, sua exemplificação representa outra contribuição deste trabalho, pois provê uma série de informações sobre o processo de construção em alvenaria estrutural não armada (incluindo técnicas, atividades, equipamentos, ferramentas, entre outros), com ilustrações e detalhes de projeto, constituindo-se, portanto, em uma referência sobre esse processo construtivo.

7.3 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

Um dos aspectos que requer estudos mais profundos para possibilitar seu desenvolvimento é o aprimoramento do modelo proposto (M-PPC). Frente a essa necessidade, sugerem-se, então, as seguintes pesquisas:

- Implantação do M-PPC em uma ou mais empresas que visem à construção de edifícios habitacionais em larga escala, tanto no nível do edifício quanto de seus subsistemas, de modo a observar a facilidade do seu uso e eventuais oportunidades de melhoria ou necessidades de adaptação do modelo;
- Desenvolvimento de variante do M-PPC adequada a maior número de opções de personalização do edifício, alinhada ao conceito de customização em massa (*mass customization*), de modo a melhor atender às demandas do mercado imobiliário. O modelo proposto no presente trabalho pode ser tomado como base, sobretudo para a parte reproduzível dos edifícios, como é o “chassi” de um automóvel, por exemplo. Esse estudo, por sua vez, requer várias outras

pesquisas, principalmente aquelas que visem ao desenvolvimento da coordenação modular no setor de construção de edifícios, que é fundamental para viabilizar a customização em massa, mais facilmente obtida pela intercambialidade de componentes disponíveis comercialmente no mercado;

- Desenvolvimento da automatização do M-PPC e da simulação computadorizada de processos de construção, embasada nos mecanismos previstos no *Computer Aided Process Planning* (CAPP). Pode-se, ainda, integrar esses elementos à plataforma BIM (*Building Information Modelling*), que tem sido alvo de muitos estudos na área de construção de edifícios.

Outro campo que requer pesquisas futuras é o desenvolvimento de um arcabouço teórico – de modelos, ferramentas e mecanismos de gestão – voltado à construção industrializada de edifícios, uma vez que o tema da industrialização da construção costuma ser abordado predominantemente sob o ponto de vista das tecnologias construtivas, discutindo-se pouco sua gestão. Nesse sentido, indicam-se as seguintes pesquisas:

- Logística e planejamento de canteiro voltados à construção industrializada (o M-PPC indica a necessidade de que o planejamento das atividades de fluxo seja complementado pelo planejamento do canteiro de obras para que a definição do processo de construção seja completa);
- Estrutura organizacional de empresas formatada para atender às necessidades da construção industrializada (o M-PPC, por exemplo, envolve a proposta de criação de uma área voltada à Engenharia de Processos de Construção);
- Modelos de formatação e incorporação de empreendimentos desenvolvidos à luz das práticas de análise de viabilidade e lançamento de produtos da indústria seriada, dada a grande interferência deste aspecto com o ciclo de desenvolvimento de produtos (edifícios);
- Gestão de suprimentos visando à construção industrializada, uma vez que a escala de produção de edifícios altera as condições de compras e negociações, bem como de gestão dos itens adquiridos e de sua distribuição;
- Gestão de projetos (projeto entendido como *design*), sendo esta uma das principais diferenças identificadas entre a indústria de manufatura e a de construção de edifícios. Enquanto na primeira ele serve como referência principal

para todas as atividades que resultarão na produção e, por isso, é desenvolvido detalhada e completamente; na construção de edifícios tradicional o projeto não é valorizado e, frequentemente, não representa as características do edifício de forma clara o suficiente para condução do processo de construção e de todas as atividades correlatas (planejamento, compras, etc.). Considera-se que não é possível existir construção industrializada sem um projeto de qualidade equivalente ao desenvolvido na manufatura. Por isso, registra-se aqui a necessidade de que pesquisas sejam feitas sobre as formas de desenvolvimento e coordenação de projetos de edifícios habitacionais adequadas aos princípios da produção industrializada.

REFERÊNCIAS

AHADZIE, D. K.; PROVERBS, D. G.; OLOMOLAIYE, P. O. Critical success criteria for mass house building projects in developing countries. **International Journal of Project Management**, Guildford, v. 26, n. 6, p. 675-687, Ago. 2008.

AHUJA, H. N.; DOZZI, S. P.; ABOURIZK, S. M. **Project management**: techniques in planning and controlling construction projects. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 505 p.

AQUINO, J. P. R. **Análise do desenvolvimento e da utilização de projetos para produção de vedações verticais na construção de edifícios**. 2004. 184p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

AQUINO, J. P. R.; MELHADO, S. B. Perspectivas da utilização generalizada de projetos para produção na construção de edifícios. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1., 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Arquitetura/EESC-USP, 2001. CD-ROM.

_____. Diagnóstico da situação atual no emprego de projetos para produção de vedações verticais na construção civil. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: PROARQ/FAU/UFRJ, 2004. CD-ROM.

BALLARD, G. Production system design in construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: ILGC, 2001.

BARROS, M. M. S. B.; CARDOSO, F. F. Inovação: espiral ou carrossel do conhecimento? **Conjuntura da Construção**, São Paulo, ano IX, n. 2, p. 10-11, jun. 2011.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2003. 24p. (Boletim Técnico – BT/PCC-172)

BENHABIB, B. **Manufacturing**: design, production, automation and integration. New York: Marcel Dekker, 2003. 589 p.

BLACHÈRE, G. A construção de habitações econômicas – porque e como industrializar. In: BRUNA, P. J. V. **Industrialização da construção**: série de textos para leitura dos alunos em seminários da disciplina “Industrialização da Construção”. São Paulo: Departamento de Publicações FAUUSP, 1970, v. 1. p. 22-32.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. São Paulo: Perspectiva, 1976. 307 p.

BRUNA, P. J. V. **A industrialização da construção no Brasil**: tecnologia e pré-fabricação na construção de massa. São Paulo: FAUUSP, 19--.

BUFFA, E. S. **Modern production management**. 4th ed. New York: Wiley, 1973. 704p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha casa, minha vida**. Brasília: CEF, 2009. 40p.

CALVERT, R. E. **Introduction to building management**. 6th ed. Oxford: Newnes, 1995. 392 p.

CARDOSO, E. N. **O projeto do processo na melhoria da produtividade da construção civil**. 2001. 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CARDOSO, F. F. **Strategies d'entreprises et nouvelles formes de rationalisation de la production dans le batiment au Bresil et en France**. 1996. 478p. + anexos. Tese (Doutorado) – École Nationale de Ponts et Chaussées, França, 1996.

CASTELO, A. M.; DIAS, E. C. Caixa abre caminho para alternativas. **Conjuntura da Construção**, São Paulo, ano VIII, n. 3, p. 6-7, set. 2010.

CASTELO, A. M.; HENRIQUES, S. M. P.; GARCIA, F. Crescimento e... inflação. **Conjuntura da Construção**, São Paulo, ano IX, n. 2, p. 8-9, jun. 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção civil: análise e perspectivas**. Brasília: CBIC, 2010. 18p. (Banco de dados da CBIC).

CHALITA, A. C. C. **Estrutura de um projeto para produção de alvenarias de vedação com enfoque na construtibilidade**. 2010. 223p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CHANG, T-C. Manufacturing process planning. In: SALVENDY, G. (Ed.). **Handbook of industrial engineering**. 2nd ed. New York: Wiley, 1992. p. 587-611.

CHIANG, Y.; TANG, B.; WONG, F. K. W. Volume building as a competitive strategy. **Construction Management and Economics**, London, v. 26, n. 2, p. 161-176, fev. 2008.

CHRISTIAN, J. **Management, machines and methods in civil engineering**. New York: Wiley, 1981. 360 p.

CHRYSSOLOURIS, G. **Manufacturing systems: theory and practice**. 2nd ed. New York: Springer, 2006. 602 p.

CIMORELLI, S. C.; CHANDLER, G. Control of production and materials. In: WALKER, J. M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 507-574.

CLOUGH, R. H.; SEARS, G. A. **Construction project management**. New York: Wiley, 1991. 296 p.

CORREIA, C. V.; ANDERY, P. R. P. Avaliação dos resultados da aplicação da Engenharia Simultânea na elaboração e implantação de projetos de produção de

alvenaria de vedação nos canteiros de obras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 5., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2007. CD-ROM.

COSTA, D. B.; SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. A importância do projeto do sistema de produção em empreendimentos habitacionais de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004. CD-ROM.

COX, I. D.; et al. A quantitative study of post contract award design changes in construction. **Construction Management and Economics**, London, v. 17, n. 4, p. 427-439, 1999.

CROSS, K. F. **Manufacturing planning**: key to improving industrial productivity. New York: Marcel Dekker, 1986. 285 p.

CROWLEY, A. Construction as a manufacturing process: lessons from the automotive industry. **Computers & Structures**, New York, v. 67, n. 5, p. 389-400, jun. 1998.

DIAS, E. C.; CASTELO, A. M. Legado de um programa que apenas começou. **Conjuntura da Construção**, São Paulo, ano VIII, n. 2, p. 7-8, jun. 2010.

DUEÑAS PEÑA, M. **Método para a elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria**. 2003. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DUEÑAS PEÑA, M.; FRANCO, L. S. Projeto para produção de vedações verticais: inserção no processo de projeto e método para elaboração. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: PROARQ/FAU/UFRJ, 2004. CD-ROM.

EARY, D. F.; JOHNSON, G. E. **Process engineering for manufacturing**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1962. 760 p.

EMPRESAS dobram de tamanho em um ano. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19 abr. 2010. Negócios, Caderno N, p. N5.

FABRÍCIO, M. M.; MELHADO, S. B. O papel do projeto para produção na construção de edifícios. In: ARQUITETURA E URBANISMO: TECNOLOGIAS PARA O SÉCULO XXI, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAU/USP, 1998. CD-ROM.

_____. Caracterização e análise das etapas e interfaces de desenvolvimento de produto na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2003.

Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2003_TR0502_1196.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2011.

FARIA, R. Torres econômicas. **Téchne**, São Paulo, n. 130, p. 30-34, jan. 2008.

FINANCIAMENTO habitacional da Caixa bate recorde. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 117, p. 8, abr. 2011.

FORMOSO, C. T. Gestão em habitação popular [Entrevista]. **Guia da Construção**, São Paulo, n. 97, p. 4, ago. 2009.

FOX, S.; MARSH, L.; COCKERHAM, G. Design for manufacture: a strategy for successful application to buildings. **Construction Management and Economics**, London, v. 19, n. 5, p. 492-502, 2001.

FRANCISCHINI, P. G. Projeto de métodos. In: CONTADOR, J. C. (Coord.) **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. p. 147-154.

GIRMSCHIED, G. Industrialization in Building Construction – Production Technology or Management Concept? In: KAEHKOENEN, K.; SEXTON, M. **Understanding the construction business and companies in the new millennium**. Helsinki: VTT/RIL, 2005. p. 427-441.

GOMES, L. A. V. Desenvolvimento e detalhamento do projeto do processo produtivo. In: ROTONDARO, R.; MIGUEL, P. A. C.; GOMES, L. A. V. **Projeto do produto e do processo**. São Paulo: Atlas, 2010. p. 105-138.

GOULD, F. E. **Managing the construction process: estimating, scheduling and project control**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 338 p.

GRASS, I. E. Processing and operation planning. In: MAYNARD, H. B. (Ed.). **Industrial engineering handbook**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1956. p. 2.10-2.19.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, process and systems**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 1061 p.

GURGEL, F. A. Desenvolvimento do produto. In: CONTADOR, J. C. (Coord.) **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. p. 409-420.

HALEVI, G.; WEILL, R. D. **Principles of process planning: a logical approach**. 1st ed. London: Chapman & Hall, 1995. 399 p.

HALPIN, D. W.; RIGGS, L. S. **Planning and analysis of construction operations**. New York: Wiley, 1992. 381 p.

HALPIN, D. W.; WOODHEAD, R. W. **Construction management**. New York: Wiley, 1980. 483 p.

HARRIS, F.; MCCAFFER, R. **Modern construction management**. 6th ed. Oxford: Blackwell, 2006. 666 p.

HITOMI, K. **Manufacturing systems engineering: a unified approach to manufacturing technology and production management**. London: Taylor & Francis, 1979. 310 p.

- HOUTZEEL, A. Computer-Aided Process Planning. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 461-480.
- HUANG, T.; et al. A virtual prototyping system for simulating construction processes. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 16, n. 5, p. 576-585, ago. 2007.
- KADOTA, T.; SAKAMOTO, S. Methods analysis and design. In: SALVENDY, G. (Ed.). **Handbook of industrial engineering**. 2nd ed. New York: Wiley, 1992. p. 1415-1445.
- KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing engineering and technology**. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006. 1295 p.
- KEHL, S. Produtividade na construção civil. In: CONTADOR, J. C. (Coord.) **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2^a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. p. 469-486.
- KELLETT, P. La experiencia inglesa con tecnología industrializada para vivienda social: reflexiones para la realidad latinoamericana. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA A HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1993. p. 131-140.
- KIRSCH, J. **Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme**: Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer. 2008. 246p. Dissertação (Mestrado) – Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2008.
- KRICK, E. V. **Methods engineering**: design and measurement of work methods. New York: Wiley, 1962. 530 p.
- KYMMELL, W. **Building Information Modeling**: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations. New York: McGraw Hill, 2008. 270 p.
- LEAL, U. Três não é demais. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 109, p. 20-24, ago. 2010.
- LI, H.; et al. Integrating design and construction through virtual prototyping. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 17, n. 8, p. 915-922, nov. 2008.
- LIMA, E. C. Estudos podem desandar. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 93, p. 46-50, abr. 2009.
- LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 225 p.
- LINTS, R. L. Control of quality. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 575-608.

LIVING CONSTRUTORA. São Paulo. Apresenta informações e fotos de empreendimentos da empresa. Disponível em: <<http://www.livingweb.com.br/si/imovel/residencial/jundiai/centro/apartamento/vitoria-jundiai>>. Acesso em: 29 jan. 2012.

LIZARRALDE, G.; ROOT, D. The informal construction sector and the inefficiency of low cost housing markets. **Construction Management and Economics**, London, v. 26, n. 2, p. 103-113, fev. 2008.

LOTURCO, B. Horizonte planejado. **Téchne**, São Paulo, n. 130, p. 35-39, jan. 2007.

LUDEMA, K.C.; CADELL, R. M.; ATKINS, A. G. **Manufacturing engineering: economics and processes**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1987. 427 p.

MANESCHI, K.; MELHADO, S. B. Scope of design for production of partition walls and façade coverings. **Architectural Engineering and Design Management**, London, v. 6, p. 3-17, 2010.

MARCHI, W. Arquitetura da baixa renda [Entrevista a Bruno Loturco]. **Téchne**, São Paulo, n. 131, fev. 2008. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/131/artigo73344-1.asp>>. Acesso em: 30 jul. 2011.

MATHEWSON, M. H. The broadening scope of industrial engineering. In: MAYNARD, H. B. (Ed.). **Industrial engineering handbook**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1956. p. 1.17-1.22.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: PINI, 2010. 420 p.

MEDEIROS, F. B. Desafios da baixa renda. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 90, p. 24-27, abr. 2009.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios**: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. 1994. 294p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

_____. (Coord.). **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: Nome da Rosa, 2005. 115 p.

MELHADO, S. B.; FABRÍCIO, M. M. Projetos da produção e projetos para produção na construção de edifícios: discussão e síntese de conceitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: NPC/UFSC, 1998. p. 731-737.

MEYERS, F. E.; STEPHENS, M. P. **Manufacturing facilities design and material handling**. 3rd ed. Columbus: Pearson Prentice Hall, 2005. 509 p.

MIKAELSSON, L.; SWENSSON, L. Production planning, work organization and leadership on the building site. In: JOINT CIB CONFERENCE: PERFORMANCE AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 2008, Helsinki. **Proceedings...** Rotterdam: CIB, 2008. Disponível em: <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB9824.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2011.

MINHA casa, minha vida não atinge meta de 1 milhão de contratações. **Piniweb**, São Paulo, 29 dez 2010. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/habitacao/minha-casa-minha-vida-nao-atinge-meta-de-1-milhao-206025-1.asp>>. Acesso em: 31 jul. 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit Habitacional 2008**. Brasília: Secretaria Nacional de Habitação, 2010. 16p.

MOODIE, C. L. Assembly line balancing. In: SALVENDY, G. (Ed.). **Handbook of industrial engineering**. 2nd ed. New York: Wiley, 1992. p. 1446-1459.

MOTA, B. P.; ALVES, T. C. L. Implementação do pensamento enxuto através do projeto do sistema de produção: estudo de caso na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_491_11816.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2011.

MULLEE, W. R.; PORTER, D. B. Process chart procedures. In: MAYNARD, H. B. (Ed.). **Industrial engineering handbook**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1956. p. 2.20-2.41.

MUTHER, R. Plant layout. In: MAYNARD, H. B. (Ed.). **Industrial engineering handbook**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1956. p. 8.26-8.65.

MUTTER, C. S. Product tooling and equipment. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 431-460.

NADLER, G. The role and scope of Industrial Engineering. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 3-27.

NIEBEL, B. W.; DRAPER, A. B.; WYSK, R. A. **Modern manufacturing process engineering**. New York: McGraw Hill, 1989. 986 p.

NING, W.; YINGBO, J. Analysis on key factors to affect construction industrialization development in China. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION MANAGEMENT, INNOVATION MANAGEMENT AND INDUSTRIAL ENGINEERING, 3., 2010, Kunming (China). **Proceedings...** Kunming: IEEE, 2010. Disponível em: <<http://doi.ieecomputersociety.org/10.1109/ICIII.2010.180>>. Acesso em: 13 abr. 2011

NUNNALLY, S. W. **Construction methods and management**. 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. 567 p.

OLIVEIRA, K.; LIMA, D. Governo estende programa Minha Casa, Minha Vida para todos os municípios. **O observador**, Porto Velho, 15 abr. 2009. Disponível em: <http://www.oobservador.com/nacional/not_nac4623_0.html>. Acesso em: 29 jan. 2012.

OMIGBODUN, A. Value engineering and optimal building projects. **Journal of Architectural Engineering**, New York, v. 7, n. 2, p. 40-43, jun. 2001.

PAN, W.; GIBB, A. G. F.; DAINITY, A. R. J. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. **Building Research & Information**, Londres, v. 36, n. 1, p. 56-67, 2008.

PEDRESCHI, R. Steel strong-back for building envelope – Design for Manufacture. **Journal of Architectural Engineering**, New York, v. 5, n. 2, p. 30-36, 1999.

PILCHER, R. **Principles of construction management**. 2nd ed. London: McGraw-Hill, 1976. 370 p.

PLOSSL, K. R. **Engineering for the control of manufacturing**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1987. 256 p.

ROCHA, A. P. Por dentro do BIM. **Téchne**, v. 168, p. 38-43, mar. 2011

RODGERS, W. Methods engineering. In: MAYNARD, H. B. (Ed.). **Industrial engineering handbook**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1956. p. 2.3-2.9.

ROSCOE, E. S. **Organization for production**: an introduction to industrial management. Homewood: R. D. Irwin, 1955. 472 p.

ROY, R.; LOW, M.; WALLER, J. Documentation, standardization and improvement of the construction process in house building. **Construction Management and Economics**, London, v. 23, n. 1, p. 57-67, jan. 2005.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 336p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of work flow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v. 135, n. 12, p. 1307-1315, dez. 2009.

SALES, A. L. F.; BARROS NETO, J. P. B.; ALMINO, I. A gestão dos fluxos físicos nos canteiros de obras focando a melhoria nos processos construtivos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004. CD-ROM.

SANTOS, D. G.; HEINECK, L. F. M. Seleção de processos construtivos através da segmentação de processos em suas atividades constituintes: caso das vedações verticais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. CD-ROM.

SCHRAMM, F. K.; COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T. O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 59-74, abr./jun. 2006.

SCHRAMM, F. K.; RODRIGUES, A. A.; FORMOSO, C. T. O papel do projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos complexos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 5., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2007. CD-ROM.

SENRA, O. G. Habitação social e incorporadoras. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 108, p. 42-43, jul. 2010.

SERPELL, A. F.; TAPIA, C. M. Improving processes design and selection for construction operations. In: CIB JOINT INTERNATIONAL SYMPOSIUM 2009 – CONSTRUCTION FACING WORLDWIDE CHALLENGES, 2009, Dubrovnik. **Proceedings...** Rotterdam: CIB, 2009. Disponível em: <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB15837.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2011.

SHETH, V. S. Factory requirements. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 137-184.

SILVA, M. A. C. Os desafios de gestão da produção e tecnologia no novo cenário da construção civil. **Conjuntura da Construção**, São Paulo, ano VIII, n. 3, p. 14-15, set. 2010.

SILVEIRA, R. F.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. A perspectiva estratégica do projeto do sistema de produção para obras de construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008. CD-ROM.

SOUZA, A. L. R. **Projeto para produção das lajes racionalizadas de concreto armado de edifícios**. 1996. 367p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. O projeto para produção como ferramenta de gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: NPC/UFSC, 1998. p. 47-55.

SOUZA NETO, G.; HIROTA, E. H. Projeto do sistema de produção para construtoras incorporadoras de edifícios de múltiplos pavimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 5., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2007. CD-ROM.

SYAN, C. S. Introduction to concurrent engineering. In: SYAN, C. S.; MENON, U. (Ed.). **Concurrent engineering: concepts, implementation and practice**. 1st ed. London: Chapman & Hall, 1994. p. 3-24.

SYAN, C. S.; SWIFT, K. G. Design for manufacture. In: SYAN, C. S.; MENON, U. (Ed.). **Concurrent engineering: concepts, implementation and practice**. 1st ed. London: Chapman & Hall, 1994. p. 101-116.

TAMAKI, L.; ROCHA, A. P. Modo econômico. **Téchne**, São Paulo, n. 165, p. 38-48, dez. 2010.

TANNER, J. P. Practical cost estimating for manufacturing. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 341-430.

TAUK, S. A. **O plano do processo produtivo para empresas do subsetor de edifícios da construção civil**. 2000. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

TOMPKINS, J. A. Facilities layout. In: SALVENDY, G. (Ed.). **Handbook of industrial engineering**. 2nd ed. New York: Wiley, 1992. p. 1777-1813.

TRIEBEL, W. Industrialization of building. In: DE GEUS, J.; VAN ETTINGER, J. **Building research and documentation**: contributions and discussions. Amsterdam: CIB, 1961. p. 470-478.

TZORTZOPOULOS. P.; SEXTON, M.; COOPER, R. Process models implementation in the construction industry: a literature synthesis. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Bradford, v. 12, n. 5, p. 470-486, 2005.

VERNON, I. R. (Ed.). **Introduction to manufacturing management**. Dearborn: American Society of Tool and Manufacturing Engineers, 1969. 301 p.

VERONEZI, A. B. P.; LIMA JR, J. R. Condições para validação de construção de habitação popular no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LATIN AMERICAN REAL ESTATE SOCIETY, 7., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: POLI-USP: LARES, 2007. CD-ROM.

WALKER, J. M. Product design. In: WALKER, J.M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 51-136.

WALKER, J. M.; BOOTHROYD, G. Product development. In: WALKER, J. M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-50.

WALKER, J. M.; et al. Human elements in the factory. In: WALKER, J. M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 241-306.

WU, B. **Manufacturing systems design and analysis**: context and techniques. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1992. 468 p.

ZANDIN, K. Work measurement. In: WALKER, J. M. (Ed.). **Handbook of manufacturing engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 481-506.