

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Contribuições para a Coleta e a Análise de Indicadores de  
Planejamento e Controle da Produção na Construção Civil**

**Rodrigo Cremonesi Bortolazza**

Porto Alegre  
2006

RODRIGO CREMONESI BORTOLAZZA

**CONTRIBUIÇÕES PARA A COLETA E A ANÁLISE DE  
INDICADORES DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA  
PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Orientação: Prof. Carlos Torres Formoso, Ph.D.

Porto Alegre  
2006

B739c Bortolazza, Rodrigo Cremonesi  
Contribuições para a coleta e a análise de indicadores de planejamento  
e controle da produção na construção civil / Rodrigo Cremonesi Bortolazza.  
-- 2006.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação – Prof. Dr. Carlos Torres Formoso

1. Planejamento e controle da produção. 2. Construção civil. 3. Indica-  
dores de desempenho. I. Formoso, Carlos Torres, orient. II. Título.

69:658(043)

**RODRIGO CREMONESI BORTOLAZZA**

**CONTRIBUIÇÕES PARA A COLETA E A ANÁLISE DE  
INDICADORES DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA  
PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 05 de setembro de 2006

Prof. Carlos Torres Formoso  
Ph.D. pela University of Salford, Grã-Bretanha  
orientador

Prof. Fernando Schnaid  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof<sup>a</sup> Thaís da Costa Lago Alves (UFC)**  
Ph.D. pela University of California, Berkeley, EUA

**Prof. Marco Aurélio Stumpf González (UNISINOS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto (PPGEP-UFRGS)**  
Ph.D. pela Rutgers University, EUA

Dedico este trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou a minha total dedicação ao curso e ao CNPQ por ter financiado o projeto SISIND-NET.

Agradeço ao Prof. Carlos Torres Formoso pela inestimável orientação e por confiar no meu trabalho.

Agradeço às empresas que contribuíram com os estudos desenvolvidos ao longo dessa dissertação.

Agradeço ao Prof. Maurício Moreira e Silva Bernardes por ter sido o primeiro incentivador para a área da pesquisa durante a bolsa de iniciação científica.

Agradeço à amiga e colega Dayana Bastos Costa pelo constante apoio durante as dúvidas ao longo da pesquisa.

Agradeço ao Prof. Marco Aurélio Stumpf González, pelas consultas em estatística.

Agradeço aos colegas do grupo de Gerenciamento e Economia da Construção, em especial aos amigos Fábio Schramm, Cristiano Richter, Alana Rodrigues, Fabrício Cambraia, Adriana de Oliveira, Marcus Sterzi, Karina Barth.

Agradeço aos demais colegas que ingressaram comigo no mestrado acadêmico no ano de 2004, em especial ao amigo Ismael Weber, colega desde a época de graduação na UFRGS.

Agradeço aos amigos Alexandre Caio Milani, Daniel Hastenpflug e Klaus Machado Theisen pela parceria que iniciou durante a graduação em Engenharia Civil e que muito contribuiu com a minha formação.

Agradeço à minha família por compartilhar inúmeras alegrias e por me incentivar nos momentos difíceis.

Agradeço sobretudo a Deus, sem o qual nada seria possível.

Quanto maior a dificuldade, tanto maior o mérito em  
superá-la.

*H W Beecher*

## RESUMO

BORTOLAZZA, R.C. Contribuições para a Coleta e a Análise de Indicadores de Planejamento e Controle da Produção na Construção Civil. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Nos últimos anos, muitas empresas de construção civil têm buscado melhorar seus sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) como uma das formas de melhorar o desempenho de empreendimentos em termos de prazo e custo, além dos constantes objetivos de aumentar a qualidade e a produtividade. Um marco importante no desenvolvimento de sistemas de PCP para esse setor foi a introdução do sistema *Last Planner* de controle da produção, concebido com base em modelos e teorias desenvolvidos para a Engenharia Industrial, a partir de meados da década de 90. Esse sistema tem sido refinado em diversos estudos ao redor do mundo, grande parte deles baseados em uma análise qualitativa dos dados gerados. De fato, as pesquisas relacionadas à implementação de sistemas de PCP desenvolvidas no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFRGS nos últimos anos também foram fortemente baseadas no *Last Planner*.

O objetivo geral dessa dissertação consiste em propor contribuições para a coleta e a análise de dados que permitam avaliar o impacto de sistemas de PCP no desempenho de empreendimentos de construção civil, assim como identificar algumas dificuldades de implementação. Foi criada uma base de dados com as medidas de desempenho coletadas em empresas, em pesquisas anteriores, e também com dados inseridos em um sistema de indicadores para *benchmarking* de empresas do setor. Foram realizadas diversas análises, principalmente dos indicadores PPC e causas do não cumprimento das tarefas, utilizando a análise de regressão múltipla.

Entre as principais conclusões, o estudo apontou formas de melhorar a coleta de dados, incluindo a utilização de mecanismos pró-ativos para evitar o acúmulo de valores faltantes e dados espúrios. Além disso, sugeriu-se a formação de um banco de dados único para cada empresa para possibilitar o melhor aproveitamento dos dados, uma vez que algumas medidas são coletadas e acabam descartadas sem uma análise aprofundada. Quanto às dificuldades de implementação do PCP, destacaram-se as falhas na análise das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho na etapa de curto prazo e a implementação parcial do planejamento de médio prazo, devido à desconsideração da análise sistemática de restrições.

**Palavras-chave:** planejamento e controle da produção; *last planner*; indicadores.



## ABSTRACT

BORTOLAZZA, R.C. Contributions for Data Collection and Analysis of Indicators of Production Planning and Control in Construction. 2006. Dissertation (Master in Engineering) – Postgraduate Program in Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre.

In recent years, several construction companies have attempted to improve their production planning and control systems in order to improve project performance in terms of time and costs, besides increasing quality and productivity. An important reference in the development of production planning and control systems in this sector has been the introduction of the Last Planner System, conceived from models and theories developed in industrial engineering, since the mid Nineties. This system has been refined in several research studies around the world, most of them based on a qualitative data analysis. In fact, the research studies concerned with production planning and control carried out at the Postgraduate Program in Civil Engineering at UFRGS in recent years have been strongly based on the Last Planner System.

The main objective of this dissertation is to make contributions for data collection and analysis for assessing the impact of production planning and control systems in the performance of construction projects, as well as identify some implementation difficulties. A database was built with some measures collected in construction projects in previous research studies, as well as with data from a performance measurement system for benchmarking in this sector. Several analyses were carried out in this data base, mostly based on two measures, the percentage of plan completed (PPC) and the causes for the non completion of work packages, using multivariate regression analysis.

Among the main conclusions, this study pointed out ways of improving data collection, including the use of pro-active mechanisms for avoiding the growth of missing values and outliers. Furthermore, it suggests the construction of a single database in each company, enabling the proper use of the data available, since some of the measures are collected but are further discarded without an in-depth analysis. Regarding the difficulties in the implementation of production planning and control, some failures during the analysis of the causes for the non-completion of work packages in short term planning and the incomplete implementation of look-ahead planning, due to the ineffectiveness of constraints analysis, were pointed out.

**Key-words:** production planning and control; last planner system; indicators.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>14</b>
<b>SIGLAS .....</b>	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO .....	18
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	22
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	24
1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	24
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	25
<b>2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
2.1 O CONTEXTO DA PRODUÇÃO ENXUTA .....	26
2.2 O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....	30
2.3 O SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO <i>LAST PLANNER</i> ....	32
2.3.1 Controle da Unidade da Produção .....	34
2.3.2 Controle do Fluxo de Trabalho .....	37
2.4 RESULTADOS DAS IMPLEMENTAÇÕES DO SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO <i>LAST PLANNER</i> .....	39
2.4.1 Estudos de Ballard & Howell .....	39
2.4.2 Outros Estudos .....	41
2.4.2.1 Chile (GONZALEZ, 2003b) .....	41
2.4.2.2 Colômbia (BOTERO; ALVAREZ, 2005).....	43
2.4.2.3 Equador (FIALLO; REVELO, 2002).....	43
2.4.2.4 Coréia (KIM; JANG, 2005).....	44
2.5 RESULTADOS DAS IMPLEMENTAÇÕES DO MODELO DE PCP DO NORIE/UFRGS .....	45
2.5.1 Práticas para a Avaliação do PCP .....	46
2.5.2 Dificuldades de Implementação do PCP .....	51
<b>3 TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO E DE PREDIÇÃO PARA A ANÁLISE DE DADOS .....</b>	<b>53</b>

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DA EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO EM BASES DE DADOS .....	53
3.2 TIPOS DE DADOS .....	54
3.3 PREPARAÇÃO DOS DADOS .....	55
3.3.1 Seleção dos Dados .....	55
3.3.2 Pré-processamento dos Dados .....	56
3.3.2.1 Limpeza dos Dados .....	56
3.3.2.1.1 <i>Dados Faltantes</i> .....	56
3.3.2.1.2 <i>Dados Espúrios</i> .....	57
3.3.2.2 Integração dos Dados .....	60
3.3.2.3 Normalização dos Dados .....	60
3.3.2.3.1 <i>Normalização máximo-mínimo</i> .....	60
3.3.2.3.2 <i>Normalização com o desvio padrão</i> .....	61
3.3.2.3.3 <i>Normalização com escala decimal</i> .....	61
3.3.2.4 Reduções na Base .....	61
3.4 TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO E DE PREDIÇÃO .....	62
3.4.1 Técnicas de Classificação .....	63
3.4.1.1 Análise de Conglomerados .....	63
3.4.1.2 Árvores de Decisão .....	64
3.4.1.3 Redes Neurais Artificiais .....	66
3.4.2 Análise de Regressão Múltipla .....	67
3.4.2.1 Considerações Iniciais .....	67
3.4.2.2 Estimação do Modelo .....	68
3.4.2.3 Avaliação do Modelo .....	70
<b>4 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>73</b>
4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	73
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	73
4.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS .....	75
4.3.1 Coleta de Indicadores de Pesquisas com a Participação do NORIE/UFRGS .....	77
4.3.1.1 Dissertações / Teses .....	77

4.3.1.2 Resultados do Projeto Qualcon .....	79
4.3.2 Coleta de Indicadores com Ingresso no Clube de Benchmarking .....	81
4.3.2.1 Banco de Dados Inicial com Indicadores de PCP do NORIE/UFRGS .....	81
4.3.2.2 Indicadores com Ingresso no Sistema de Indicadores <i>On-line</i> do Clube de <i>Benchmarking</i> .....	82
4.3.3 Coletas Complementares de Indicadores em Empresas .....	87
4.4 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA MELHORAR AS ETAPAS DE COLETA E DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE PCP .....	88
4.5 ANÁLISE DOS DADOS .....	90
4.5.1 Preparação dos Dados .....	90
4.5.1.1 Criação do Banco de Dados .....	90
4.5.1.2 Identificação dos Valores Espúrios e Dados Faltantes .....	94
4.5.2 Análise de Dados .....	94
<b>5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>97</b>
5.1 DIVISÃO EM SEGMENTOS DE MERCADO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	97
5.2 ANÁLISE DO PPC MÉDIO DAS OBRAS .....	100
5.2.1 Obras Industriais e Comerciais para Clientes Privados .....	103
5.2.2 Obras de Habitação de Interesse Social .....	105
5.2.3 Incorporações Residenciais ou Comerciais .....	107
5.2.4 Identificação dos Fatores com Influência no PPC da Obra .....	108
5.3 ANÁLISES DAS CAUSAS DO NÃO CUMPRIMENTO DAS TAREFAS NAS OBRAS .....	109
5.4 USO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA EXPLICAR A VARIÂNCIA DO PPC SEMANAL .....	117
5.4.1 Definição das Variáveis .....	117
5.4.2 Limpeza Inicial dos Dados .....	118
5.4.3 Correlações entre as Variáveis .....	120
5.4.4 Resultados da Análise de Regressão .....	122
5.4.4.1 Análise de Regressão na Amostra Total .....	123

5.4.5	Análise de Regressão nos Nichos de Mercado .....	133
5.4.6	Outros atributos coletados pelo Sistema de Indicadores On-line do Clube de <i>Benchmarking</i> e sugestão de novas variáveis para explicar o PPC .....	136
5.5	<b>ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO EM TRÊS EMPRESAS .....</b>	<b>138</b>
5.5.1	Empresa A .....	138
5.5.1.1	Descrição do Estudo Exploratório com o Programa <i>Project Plus Control</i> .....	140
5.5.1.1.1	<i>Descrição Geral da Obra</i> .....	140
5.5.1.1.2	<i>O PCP na Obra e a Implementação do Programa Project Plus Control</i> .....	141
5.5.1.2	Análise de Regressão .....	143
5.5.2	Empresa B .....	145
5.5.3	Empresa C.....	149
5.6	<b>CONTRIBUIÇÕES PARA A COLETA E A ANÁLISE DE DADOS DE PCP .....</b>	<b>152</b>
6	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>156</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	156
6.2	SUGESTÕES DE FUTUROS TRABALHOS .....	159
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>160</b>
	<b>ANEXO A – FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO .....</b>	<b>169</b>
	<b>ANEXO B – ANÁLISE GRÁFICA BIVARIADA DO PPC SEMANAL COM CADA UMA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES .....</b>	<b>174</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: processo de produção como conversão (KOSKELA, 1992) .....	28
Figura 2: processo de produção como fluxo (adaptado de KOSKELA, 1992) .....	28
Figura 3: dimensão horizontal do processo de planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987) .....	31
Figura 4: níveis hierárquicos do sistema de planejamento (adaptado de HOWELL; BALLARD, 1997b) .....	33
Figura 5: a formação dos comprometimentos no sistema <i>Last Planner</i> (Ballard, 2000) .	34
Figura 6: planilha para o plano de curto prazo [adaptado de Ballard e Howell (1997c)]	36
Figura 7: processo esquematizado do planejamento de médio prazo [adaptado de Ballard (2000)] .....	38
Figura 8: gráfico de caixas [adaptado de Cabena et al. (1997)] .....	59
Figura 9: elementos constituintes de uma árvore de decisão .....	64
Figura 10: análise bivariada dos resíduos versus valores previstos (HAIR et al., 2005) .	69
Figura 11: gráfico de probabilidade para a análise dos resíduos .....	70
Figura 12: delineamento da pesquisa .....	74
Figura 13: representação esquemática do Sistema de Indicadores <i>On line</i> .....	86
Figura 14: seleção de técnica multivariada (HAIR et al., 2005) .....	96
Figura 15: distribuição das obras entre os nichos de mercado e nas obras públicas diversas .....	98
Figura 16: dispersão do número de anos de implementação de sistemas de PCP nas obras industriais e comerciais para clientes privados .....	100
Figura 17: dispersão do PPC médio na amostra de 141 empreendimentos .....	102
Figura 18: dispersão do PPC das obras industriais e comerciais para clientes privados ..	103
Figura 19: dispersão do PPC médio nas obras de habitação de interesse social .....	106
Figura 20: dispersão do PPC médio nas incorporações residenciais ou comerciais .....	107
Figura 21: distribuição das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho em 105 empreendimentos .....	111
Figura 22: comparação dos problemas internos e externos com o PPC da obra .....	112
Figura 23: comparação das categorias do não cumprimento dos pacotes de trabalho com o PPC da obra .....	113
Figura 24: principais sub-categorias de problemas na amostra de 105 empreendimentos .....	114
Figura 25: principais problemas nas obras industriais e comerciais para clientes privados (58 obras).....	115
Figura 26: principais problemas nas incorporações residenciais ou comerciais (17 obras) .....	115

Figura 27: principais problemas nas obras de habitação de interesse social (20 obras).....	116
Figura 28: gráfico de probabilidade normal dos resíduos na amostra total .....	123
Figura 29: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total .....	124
Figura 30: resíduo x PPC Semanal .....	124
Figura 31: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total sem os valores extremos .....	126
Figura 32: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total com os casos com maior qualidade .....	128
Figura 33: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total com os casos que contaram com a participação de pesquisadores .....	129
Figura 34: evolução do PPC médio das obras na empresa A, adaptado de Soares (2003) .....	139
Figura 35: curva de avanço físico .....	142
Figura 36: valor do PPC pelo software e calculado pela empresa .....	143
Figura 37: evolução do PPC médio das obras na Empresa B .....	146
Figura 38: evolução do PPC médio das obras da Empresa B no nicho das obras industriais ou comerciais para clientes privados .....	146
Figura 39: valor predito padronizado x resíduo padronizado na empresa B .....	149
Figura 40: evolução do PPC médio das obras da Empresa C .....	150

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: artigos que citaram o <i>Last Planner</i> nos últimos anos na conferência do IGLC	29
Tabela 2: alguns resultados da implementação do sistema <i>Last Planner</i> de controle da produção	45
Tabela 3: práticas de PCP avaliadas em Bernardes (2001) e em Krawczyk F. (2003) em obras de diferentes empresas	47
Tabela 4: práticas de PCP avaliadas em Bulhões (2004) em obras de diferentes empresas	48
Tabela 5: práticas de PCP avaliadas em Gutheil (2004) em obras de uma mesma empresa	49
Tabela 6: práticas de PCP avaliadas em Soares (2003) em obras de uma mesma empresa	50
Tabela 7: evolução do número de obras com os respectivos indicadores coletados	77
Tabela 8: dissertações e teses utilizadas como fontes de evidência	78
Tabela 9: obras da primeira fase do projeto Qualcon (janeiro a setembro de 2002)	80
Tabela 10: obras da segunda fase do projeto QUALCON (abril a agosto de 2002)	80
Tabela 11: obras do banco de dados inicial do Clube de <i>Benchmarking</i>	81
Tabela 12: obras com ingresso <i>on line</i> no Clube de <i>Benchmarking</i>	86
Tabela 13: variáveis para a análise de regressão múltipla	92
Tabela 14: variáveis para a análise de regressão múltipla na empresa C	93
Tabela 15: caracterização dos nichos e das obras públicas diversas	99
Tabela 16: medidas estatísticas do PPC dos empreendimentos	100
Tabela 17: PPC dos empreendimentos em um conjunto de obras da Colômbia (BOTERO; ALVAREZ, 2005)	101
Tabela 18: PPC dos empreendimentos em um conjunto de obras do Chile (GONZALEZ, 2003b)	101
Tabela 19: estatística descritiva nos empreendimentos industriais ou comerciais para clientes privados	105
Tabela 20: fatores com aparente influência no PPC Médio das Obras	108
Tabela 21: categorias e sub-categorias das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho (COSTA et al., 2005)	110
Tabela 22: causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho em cada um dos segmentos de mercado	111
Tabela 23: descrição das variáveis	118
Tabela 24: matriz de correlações entre o conjunto de variáveis (N=1674)	121
Tabela 25: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelos 1 e 2	126



Tabela 26: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelos 3 e 4 .....	128
Tabela 27: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelo 5 .....	130
Tabela 28: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelo 6 .....	131
Tabela 29: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelo 7 .....	133
Tabela 30: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC em cada um dos nichos - Modelo 8, 9 e 10 .....	134
Tabela 31: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na empresa A .....	144
Tabela 32: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC na amostra da empresa B .....	147
Tabela 33: resultados da análise de regressão para a explicação do DP na amostra da empresa B .....	148
Tabela 34: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC médio mensal na Empresa C .....	150
Tabela 35: resultados da análise de regressão para a explicação do PPC acumulado mensal na Empresa C .....	151

## SIGLAS

ANOVA: Análise Univariada de Variância

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPM: *Critical Path Method* (Método do Caminho Crítico)

CV: Coeficiente de Variação

DCBD: Descobrimento de Conhecimento em Base de Dados

DP: Desvio de Prazo

FAPESB: Fundação de Amparo à Pesquisa na Bahia

FD: Fator de Desempenho

GEC: Grupo de Gerenciamento e Economia da Construção

GEPUC: Programa de Gestão da Produção da Pontifícia Universidade Católica do Chile

IGEC: Instituto Gaúcho de Estudos da Indústria da Construção Civil

IGLC: *International Group for Lean Construction*

IIQ: Intervalo Interquartil

IIR: Índice de Remoção de Restrições

JIT: *Just in Time*

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PBQP-H: Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat

PCP: Planejamento e Controle da Produção

PPC: Percentual de Pacotes Concluídos

QUALCON: Rede Baiana de Qualidade e Produtividade na Construção Civil

RNA: Rede Neural Artificial

SEBRAE: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SENAI: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SINDUSCON: Sindicato da Indústria da Construção Civil

SiQ: Sistema de Qualificação de Empresas, Serviços e Obras

SISIND: Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil

SISIND-NET: Sistema de Indicadores de Desempenho para a Indústria da Construção: uso da tecnologia da informação para a disseminação, treinamento e criação de base de dados

SPSS: *Statistical Package for Social Sciences*

SUCAB: Superintendência de Construções Administrativas da Bahia

TFV: *transformation-flow-value generation*

TQC: *Total Quality Control*

TQM: *Total Quality Management* (Gerenciamento da Qualidade Total)

UCSal: Universidade Católica do Salvador

UFBA: Universidade Federal da Bahia

UEFS: Universidade Estadual de Feira de Santana

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## 1 INTRODUÇÃO

O capítulo de introdução tem o objetivo de situar o leitor nesta dissertação. É composto pelos seguintes itens: tema e justificativa do trabalho, problema de pesquisa, objetivos do estudo, delimitações e, por último, estrutura do trabalho.

### 1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Alguns estudos indicam que a falta de planejamento é um dos principais problemas da construção civil, sugerindo que deficiências nesse processo estão entre as principais causas da baixa produtividade desse setor, das suas elevadas perdas e da baixa qualidade dos seus produtos (FORMOSO *et al.*, 1999). Segundo Laufer (1990), o planejamento é necessário por diversos motivos:

- a) compreender melhor os objetivos para aumentar a possibilidade de alcançá-los;
- b) definir o trabalho necessário para habilitar cada participante do empreendimento a identificar e planejar suas atividades;
- c) desenvolver uma referência básica para um processo de orçamentação e programação;
- d) melhorar a coordenação e integração multi-nível (vertical), multi-funcional (horizontal), além de produzir informações para a tomada de decisões mais consistentes;
- e) evitar decisões errôneas para projetos futuros, através da análise do impacto das decisões atuais;
- f) melhorar o desempenho da produção através da consideração e análise de processos alternativos;
- g) aumentar a velocidade de resposta para mudanças futuras;
- h) fornecer padrões para monitorar, revisar e controlar a execução do empreendimento;

- i) explorar a experiência acumulada do gerenciamento e execução de empreendimentos, em um processo de aprendizagem sistemático.

Cabe ressaltar, ainda, que o planejamento e o controle da produção devem ser entendidos como atividades indissociáveis, formando um ciclo contínuo (LAUFER; TUCKER, 1987). Para esses autores, enquanto o planejamento estabelece as metas e o caminho para que as mesmas sejam alcançadas, o controle é o processo que garante que esse curso seja mantido. Paez *et al.* (2005) também ressaltam a importância do controle para a construção civil, devido ao grande número de incertezas que acabam impactando no custo final do empreendimento, como as condições meteorológicas, as características do solo, a falta de definições por parte do cliente e a interação entre múltiplas operações.

Em função da sua importância e das deficiências observadas na prática, o processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) na construção vem recebendo bastante atenção por parte da comunidade acadêmica nas últimas décadas. Esforços iniciais para a melhoria dessa atividade detiveram-se em apenas parte do processo, a de geração de planos (LAUFER; TUCKER, 1987). Como exemplo, pode-se citar o grande número de trabalhos sobre as redes *Critical Path Method*<sup>1</sup> (CPM), apresentadas com grande expectativa a partir da década de 60. Segundo Birrel (1980), essas técnicas foram concebidas, inicialmente, para construções militares e industriais consideradas como de segurança nacional pelo governo norte americano. Neste contexto, o controle de custos e o uso eficiente dos recursos tendem a ocupar uma posição secundária, o que contrasta com a realidade da maioria das obras correntes.

Laufer e Tucker (1987) criticaram esta excessiva ênfase na geração de planos e na utilização do CPM, sugerindo que o planejamento e controle deve ser entendido de forma mais ampla, como um processo gerencial. Assim, esses autores propuseram um modelo para o PCP, no qual este processo é dividido em cinco etapas: preparação do planejamento e do controle, coleta de dados, preparação dos planos, difusão das informações e avaliação do PCP.

Além disso, Laufer e Tucker (1987) ressaltaram a importância da dimensão vertical do processo de PCP através da hierarquização, vinculando cada etapa a um nível gerencial da

---

<sup>1</sup> *Critical Path Method* é frequentemente traduzido como Método do Caminho Crítico.

organização. Com isso, evita-se o detalhamento excessivo nas primeiras etapas do empreendimento, visto que essa prática não é adequada para lidar com os efeitos da incerteza que, por sua vez, são inerentes ao processo da construção (LAUFER; TUCKER, 1988). Segundo esses autores, quanto maior o horizonte de planejamento menor deve ser o detalhamento, para evitar o excesso de trabalho na revisão dos planos, que é necessária à medida que se aproxima a execução das atividades. Na visão dos mesmos, a descrição detalhada das tarefas somente deve ser realizada pouco tempo antes da execução.

Um marco importante no desenvolvimento de sistemas de PCP para a construção civil foi a introdução do sistema *Last Planner* de controle da produção, adaptado de modelos e teorias desenvolvidos para a Engenharia Industrial e proposto em meados da década de 90 por Ballard & Howell (BALLARD, 2000). A expressão *Last Planner* ressalta a importância dos responsáveis pelo comprometimento das atividades no nível operacional de planejamento, referidos como os “últimos planejadores” (BALLARD, 1994). Assim, ao invés de considerar-se apenas o controle global do empreendimento, com o objetivo de cumprir metas fixadas em contrato, foca-se também nas unidades de produção<sup>2</sup>, nas quais se busca melhorar a qualidade dos planos gerados e definir ações corretivas a partir dos problemas identificados (BALLARD; HOWELL, 1997c). A periodicidade desse planejamento de comprometimento entre os responsáveis pelas equipes de produção geralmente é semanal e o controle baseia-se em dois indicadores principais: (a) o Percentual dos Pacotes Concluídos (PPC), obtido pela divisão entre o número de atividades concluídas e o número de atividades planejadas e (b) as causas do não cumprimento das atividades (BALLARD, 2000).

O sistema *Last Planner* não analisa as unidades de produção de forma isolada. As mesmas são avaliadas em conjunto em um nível hierárquico superior, denominado planejamento *look-ahead* – ou “olhado à frente” - no qual é gerenciado o fluxo de trabalho que integra as unidades de produção (BALLARD, 2000). A periodicidade neste nível de planejamento é maior, geralmente entre 3 e 12 semanas, cumprindo um importante papel na proteção da produção, uma vez que os pré-requisitos das tarefas são analisados e as restrições são removidas, o que cria uma janela de confiabilidade para a etapa do planejamento de comprometimento (BALLARD; HOWELL, 1997c).

---

<sup>2</sup> Segundo Ballard (2000), unidade de produção é um grupo de trabalhadores que executam diretamente o serviço ou são responsáveis por um trabalho similar, utilizando técnicas e habilidades parecidas. Como exemplo, pode-se citar uma equipe responsável pelo revestimento cerâmico.

Segundo Ballard (2000), os primeiros estudos do sistema *Last Planner* foram focados no controle da unidade de produção para melhorar a qualidade dos comprometerimentos no planejamento semanal. Os mesmos foram bastante influenciados pelos esforços de aumento da produtividade na construção civil da década de 80 (BALLARD, 2000). A confiabilidade do fluxo de trabalho passou a integrar o sistema em uma etapa seguinte, principalmente com a divulgação do êxito do sistema de produção da Toyota, denominado por Womack *et al.* (1992) de Produção Enxuta<sup>3</sup> (BALLARD, 2000).

As idéias da Produção Enxuta começaram a despertar o interesse das companhias ocidentais com a ascensão das empresas japonesas ao mercado mundial, principalmente a partir a década de 80, passando a ser uma importante referência para mudanças no projeto e gestão de sistemas da produção de diversas indústrias (BARTEZZAGHI, 1999). As mudanças introduzidas não se restringem a inovações tecnológicas, mas enfatizam também avanços organizacionais e gerenciais, englobando idéias freqüentemente associadas a diferentes filosofias gerenciais como, por exemplo, o *Just in Time* (JIT), o Gerenciamento da Qualidade Total (TQM)<sup>4</sup>, a engenharia concorrente e a reengenharia de processos (BARTEZZAGHI, 1999).

Inicialmente, muitas empresas ocidentais tentaram simplesmente transpor ferramentas e técnicas utilizadas pela Toyota, mas não apresentaram os resultados almejados (SPEAR; BOWEN, 1999). Por essa razão, Spear e Bowen (1999) ressaltam que o esforço inicial deve ser na compreensão das idéias fundamentais que apóiam esse sistema de produção. Nesse contexto, o sistema produtivo pode ser melhor compreendido através da coleta e da análise de indicadores, com o intuito de avaliar a eficácia do que é definido no processo de PCP.

A transposição de idéias da Produção Enxuta para a indústria da construção teve como marco o trabalho de Koskela (1992), a partir do qual foi criado o *International Group for Lean Construction* (IGLC). Desde 1993, este grupo organiza conferências anuais, que recebem a contribuição de diversos pesquisadores para a adaptação de conceitos, de princípios e de práticas da Produção Enxuta para a construção civil, muitos dos quais vêm estudando a implementação e os impactos do *Last Planner*.

---

<sup>3</sup> Além do contexto da Produção Enxuta, o *Last Planner* foi influenciado pelo trabalho de Koskela (1992), que foi um dos primeiros esforços para a transposição de idéias do que o autor referiu como “Nova Filosofia da Produção” para o setor da construção civil.

<sup>4</sup> Sigla de *Total Quality Management*.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O sistema *Last Planner* de controle da produção possui diversos registros de implementação desde o ano de 1992 (BALLARD; HOWELL, 2003). Esse sistema não foi aprimorado apenas pelos seus criadores, mas também tem recebido a contribuição de avaliações desenvolvidas em diversos países, que serão discutidas em maior profundidade ao longo das seções 2.4.2 e 2.5.

A maioria das pesquisas realizadas foi baseada em estudos de caso, nos quais o sistema *Last Planner* foi implementado de forma parcial. Uma grande parcela dos dados gerados tem um caráter qualitativo, existindo, entretanto, uma certa uniformidade nos indicadores coletados, principalmente o PPC e as causas do não cumprimento das tarefas. Assim, embora o sistema *Last Planner* tenha sido implementado em um grande número de obras, não foram encontrados artigos que procurassem avaliar quantitativamente o impacto dessa implementação, buscando relações entre os indicadores desse processo com as medidas de desempenho do empreendimento. Ballard (2000) ressaltou a necessidade de pesquisas para quantificar e compreender os benefícios da maior eficácia do planejamento (medido pelo PPC) em relação à segurança, qualidade, prazo e custo. Na bibliografia foram identificados apenas dois estudos que analisaram as medidas do PPC e as causas do não cumprimento das tarefas em um conjunto de empreendimentos. O primeiro deles avaliou dados de 77 obras entre os anos de 2001 e 2003 no Chile (ALARCÓN *et al.*, 2005) e o outro artigo investigou 12 obras na Colômbia no ano de 2003 (BOTERO; ALVAREZ, 2005).

Foram também identificados dois trabalhos que utilizaram técnicas de análise de dados mais robustas (OLIVEIRA F. *et al.*, 2004; WU; SOIBELMAN, 2006), de uma vertente de pesquisa denominada como Descobrimto de Conhecimento de Base de Dados (DCBD). Nesses estudos, a partir do banco de dados de uma mesma obra de grande porte, que implementou o sistema de controle da produção *Last Planner*, procurou-se identificar padrões entre as seqüências das causas do não cumprimento das atividades.

Assim, a presente dissertação teve como motivação inicial a oportunidade de se analisar os dados relacionados à implementação do sistema *Last Planner* de um grande número de empreendimentos, a partir da aplicação de técnicas mais robustas para a análise dos dados bastante utilizadas no DCBD, como a Rede Neural Artificial (RNA) e a Árvore de Decisão. No contexto do desenvolvimento desse trabalho, foram identificadas três possíveis fontes de



coleta dessas medidas de desempenho. A primeira delas refere-se a pesquisas prévias sobre sistemas de PCP na construção civil desenvolvidas pelo Grupo de Gerenciamento e Economia da Construção (GEC) do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Diversos trabalhos na área de planejamento e controle da produção vêm sendo desenvolvidos neste grupo. Os primeiros trabalhos (CARVALHO, 1998; OLIVEIRA, 1999; ALVES, 2000; MARCHESAN, 2001) contribuíram diretamente para o desenvolvimento de um modelo de PCP, apresentado na tese de Bernardes (2001). Esse modelo é fortemente baseado no sistema *Last Planner* e no processo de PCP proposto por Laufer e Tucker (1987), tendo sido posteriormente aprimorado por diversas dissertações e teses (MIRON, 2002; SAURIN, 2002; AKKARI, 2003; CODINHOTO, 2003; KRAWCKZYK F., 2003; SOARES, 2003; CAMBRAIA, 2004; GUTHEIL, 2004; SCHRAMM, 2004; ANDRADE, 2005; KERN, 2005; MOURA, 2005; TRESCASTRO, 2005; RODRIGUES, 2006).

A segunda fonte de dados foi gerada mais recentemente, a partir do projeto SISIND-NET<sup>5</sup>, iniciado em setembro de 2003 com financiamento do CNPq, no qual o presente estudo se insere. O mesmo teve como objetivo principal a implementação de um sistema de indicadores para *benchmarking* na indústria da construção com a utilização de instrumentos da tecnologia da informação, principalmente aqueles vinculadas ao uso da Internet. Um dos principais produtos apresentados por esse projeto foi o desenvolvimento de um *site* que permite o ingresso dos indicadores coletados pelas empresas participantes.

A terceira e última fonte de coleta de medidas de desempenho ocorreu junto a empresas que possuíam registros da implementação de sistemas de PCP baseados no *Last Planner* dos últimos anos.

Nesse contexto, inicialmente foram definidas as seguintes questões de pesquisa:

- a) como avaliar o impacto da implementação de sistemas de Planejamento e Controle da Produção baseados no *Last Planner*?
- b) quais são as dificuldades de implementação de sistemas de Planejamento e Controle da Produção baseados no *Last Planner*?

---

<sup>5</sup> Sistema de Indicadores de Desempenho para a Indústria da Construção: uso da tecnologia da informação para disseminação, treinamento e criação de base de dados.

Entretanto, ao longo do desenvolvimento do trabalho, muitas medidas de desempenho de obras passadas não puderam ser obtidas, por não terem sido adequadamente coletadas ou por não serem disponibilizadas pelas empresas. Por essa razão, foram propostas novas questões norteadoras da pesquisa:

- a) quais são as principais deficiências na coleta das medidas de desempenho observadas nos sistemas de PCP baseados no *Last Planner*?
- b) como analisar os dados coletados de sistemas de PCP baseados no *Last Planner*?

### 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo principal deste trabalho é propor **contribuições para a coleta e a análise de dados que permitam avaliar o impacto de sistemas de PCP no desempenho de empreendimentos de construção civil e identificar as dificuldades de implementação dos mesmos. O estudo é focado em sistemas de PCP que incorporam boas práticas de planejamento, principalmente aquelas que compõem o sistema *Last Planner* de controle da produção.**

Os objetivos específicos são:

- a) selecionar e testar métodos de análise para as variáveis coletadas do PCP;
- b) identificar falhas na coleta e no armazenamento do PPC e das causas do não cumprimento das tarefas;
- c) identificar dificuldades na implementação do PCP.

### 1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Para a realização dessa pesquisa foram adotadas as seguintes delimitações:

- a) uma parcela das medidas de desempenho foram fornecidas pelas empresas, sendo a sua coleta possivelmente mais suscetível a erros;

- b) parte das medidas de desempenho com coletas periódicas – como o PPC e as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho<sup>6</sup> – não correspondem a todo o período da obra;
- c) existem diferenças na prática sobre a forma de definir um pacote de trabalho, o que pode influenciar nas medidas de desempenho coletadas. Por exemplo, não há um critério amplamente adotado para definir a quantidade de serviço a ser executada em cada pacote de trabalho.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação é composta por seis capítulos. O primeiro deles é a introdução, composto pelo tema e justificativa do trabalho, problema de pesquisa, objetivos do estudo, delimitações e, por último, estrutura do trabalho.

O capítulo dois apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos de planejamento, enfatizando os elementos essenciais do *Last Planner* e estudos anteriores relacionados à sua implementação.

No capítulo três é realizada uma revisão bibliográfica sobre técnicas que podem ser utilizadas para a coleta e a análise de dados relacionados ao planejamento e controle da produção.

O capítulo quatro descreve o método de pesquisa, composto pela estratégia de pesquisa, delineamento do trabalho e a descrição das etapas de desenvolvimento desse estudo.

O capítulo cinco apresenta os resultados dessa dissertação.

O sexto e último capítulo traz as conclusões do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas.

---

<sup>6</sup> Por pacote de trabalho entende-se um conjunto de tarefas semelhantes a serem realizadas, geralmente em área bem definida, utilizando informações específicas de projeto, assim como material, mão-de-obra e equipamento e com seus pré-requisitos supridos em tempo hábil para a execução (CHOO *et al.*, 1999).

## 2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Este capítulo apresenta alguns conceitos e princípios básicos sobre planejamento e controle da produção, com ênfase no Sistema *Last Planner*. Ao final, são apresentados resultados de implementações desse sistema de controle da produção em estudos internacionais e nos trabalhos do NORIE/UFRGS.

### 2.1 O CONTEXTO DA PRODUÇÃO ENXUTA

As inovações organizacionais e gerenciais, em conjunto com o avanço tecnológico após a década de 80, foram os principais fatores que contribuíram para mudanças na gestão da produção, culminando com o que Koskela (1992) denominou de “Nova Filosofia da Produção”, também conhecida como Sistema Toyota de Produção ou Produção Enxuta (WOMACK *et al.*, 1992). Estas mudanças vêm despertando o interesse da comunidade acadêmica nos últimos anos, uma vez que não existe uma teoria consolidada que explique adequadamente as novas formas de gerenciar a produção e nem o seu impacto. Reconhece-se que esta nova filosofia nasceu na prática, sob um processo de tentativa e erro da indústria automobilística japonesa a partir da década de 50 (KOSKELA, 1992).

Segundo Bartezzaghi (1999), não existe consenso na bibliografia sobre o significado das referidas mudanças, existindo diversas interpretações:

- a) Produção Enxuta como modelo dominante: esse modelo substituiu a produção em massa, representada pelo Fordismo-Taylorismo, e se consolidou como o padrão mundial para sistemas de produção no século XXI;
- b) indefinição do novo modelo de produção: a produção em massa não foi substituída por um paradigma igualmente bem definido, visto que os resultados dessa mudança até o momento não estão bem claros;
- c) modelo de produção dependente do contexto: não há um modelo bem definido depois do Fordismo-Taylorismo, mas sim uma série de soluções que surgiram a

partir de um determinado contexto. Estas dependem, por exemplo, do local (como a Produção Enxuta no Japão e o Volvoísmo na Suécia) ou da estratégia da companhia (como o neo-Fordismo, que propõe novamente a competição baseada em preços nos produtos padronizados ou a produção em massa flexível, que visa a ganhos de escala com a utilização da automação);

- d) convergência de modelos de produção: as diferenças de magnitude entre os novos modelos de produção são reduzidas ao longo do tempo. Assim, embora a seqüência do desenvolvimento dos modelos tenha variado, os resultados apresentados são semelhantes. Por exemplo, nos aspectos organizacionais há a tendência de flexibilização e de melhoria de desempenho das equipes de trabalho em uma organização que aprende;
- e) aparecimento de um novo paradigma: o contexto de avanço tecnológico e de inovações organizacionais e gerenciais resultaram em um ambiente turbulento que contribuíram para uma mudança de paradigma.

Não existe, dessa forma, consenso sobre a idéia de que a Produção Enxuta é o novo paradigma de gestão da produção. Segundo Spear e Bowen (1999), as primeiras tentativas de implantação destas idéias em empresas do Ocidente limitaram-se à simples aplicação de ferramentas utilizadas pela Toyota (como os cartões *kanban* e os círculos de controle de qualidade), não apresentando os resultados almejados. Os mesmos autores ressaltam, por isso, a relevância de se entender as idéias fundamentais que apóiam esse sistema de produção para, somente depois, adaptar-se ferramentas ao contexto de uma organização.

O esforço de aplicação de algumas idéias da Produção Enxuta na indústria da construção foi marcado pelo trabalho de Koskela (1992), a partir do qual foi criado o *International Group for Lean Construction* (IGLC). Para Ballard (1997a), os estudos para esse setor são bastante relevantes já que, em alguns aspectos, o mesmo não mudou completamente do artesanato para a produção em massa e, menos ainda, para a Produção Enxuta. Assim, a Produção Enxuta opõe-se a algumas características de gestão da produção presentes na construção civil, verificadas principalmente na produção em massa.

De acordo com Koskela (1992), algumas práticas do paradigma da produção em massa podem ser explicadas através do modelo de conversão. Nesse modelo considera-se a produção como a transformação da matéria prima nos produtos (figura 1). Em geral, as medidas de desempenho consideradas mais importantes são indicadores de produtividade, obtidos pela razão entre os resultados (*outputs*) e as entradas (*inputs*). Além disso, o valor do produto final é, normalmente, associado apenas ao custo da matéria prima (KOSKELA, 1992).

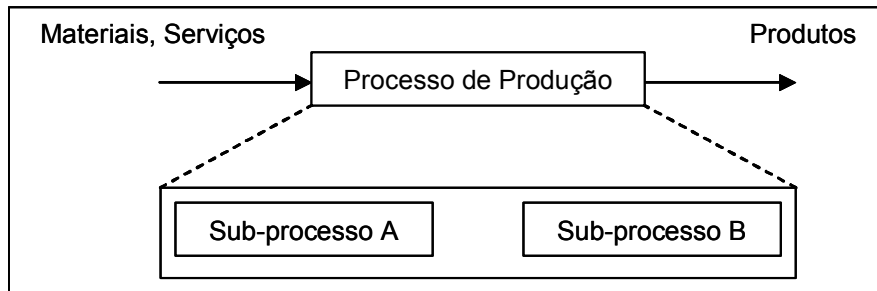


Figura 1: processo de produção como conversão (KOSKELA, 1992)

Koskela (1992) apresenta críticas a esse modelo segundo o *Just in Time* (JIT) e o *Total Quality Control* (TQC), que são filosofias de produção fortemente vinculadas à Produção Enxuta. Sob o enfoque do JIT, o modelo tradicional negligencia as atividades que não agregam valor - movimentação, espera e inspeção - denominadas por Koskela (1992) de atividades de fluxo (figura 2). O mesmo autor afirma que, em sistemas mais complexos, uma parcela substancial do custo total é originada nestas atividades de fluxo. Por essa razão, a eliminação ou redução dessas atividades parece ter um maior impacto quando comparado a melhoria da conversão de um sub-processo (KOSKELA, 1992).

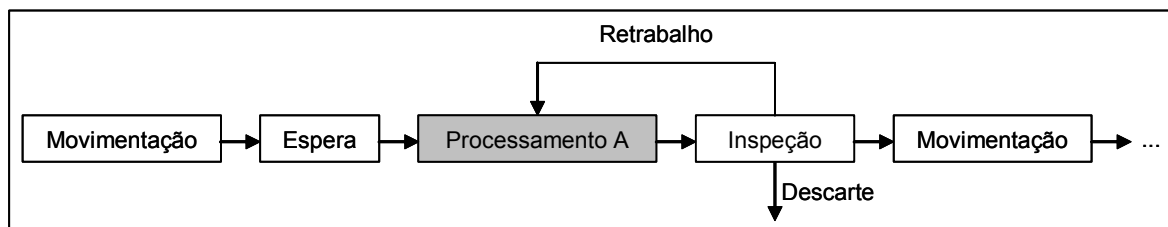


Figura 2: processo de produção como fluxo (adaptado de KOSKELA, 1992)

Do ponto de vista do TQC, segundo Koskela (1992), os resultados do processo de conversão apresentam produtos variáveis que, muitas vezes, não cumprem as especificações implícitas ou explícitas, resultando no descarte ou no retrabalho (figura 2). Além disso, as especificações podem não considerar as necessidades dos clientes finais (KOSKELA, 1992). Assim, tradicionalmente a preocupação é por uma produção mais eficiente ao invés de fornecer resultados mais efetivos para o cliente (KOSKELA, 1992).

Nesse contexto, Koskela (2000) propôs uma nova teoria de produção para a construção, a teoria TFV<sup>7</sup>, que propõe uma integração e balanceamento dos conceitos de transformação, fluxo e geração de valor ao cliente na gestão da produção. Assim, a transformação é a etapa que agrega valor à matéria prima ou ao serviço, o fluxo engloba as atividades que normalmente não agregam valor<sup>8</sup> e que são tradicionalmente negligenciadas (movimentação, espera e inspeção), enquanto que a geração de valor busca traduzir as necessidades dos clientes em soluções de projeto (KOSKELA, 2000).

Outros esforços de identificação, abstração, transporte e adaptação de conceitos, princípios e práticas da Produção Enxuta para a construção civil recebem a contribuição de um grupo de pesquisadores e são discutidos, principalmente, nas conferências anuais do IGLC. Entre as inúmeras contribuições das idéias da Produção Enxuta para a construção pode-se destacar o sistema *Last Planner* de controle da produção, que enfatiza a necessidade de gerenciar os fluxos de produção e o comprometimento das equipes (BALLARD, 2000).

Este sistema de controle da produção vem sendo objeto de estudo de diversas pesquisas, o que pode ser observado, por exemplo, através da frequência com que o mesmo é citado nos artigos da conferência anual do IGLC. Na tabela 1, é apresentado o percentual de artigos que têm, no mínimo, um registro do termo *Last Planner* ao longo do texto, entre os anos de 2001 e 2005.

Tabela 1: artigos que citaram o *Last Planner* nos últimos anos na conferência do IGLC

	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Artigos com a citação do <i>Last Planner</i></b>	16	21	19	24	25
<b>Total de artigos</b>	38	55	54	64	59
<b>Percentual de artigos que citaram o <i>Last Planner</i></b>	42,11%	38,18%	35,19%	37,50%	42,37%

O sistema *Last Planner* de controle da produção, desde que foi proposto por Ballard & Howell em meados dos anos 90 nos Estados Unidos, vem sendo aperfeiçoado não apenas pelos seus criadores, mas por diversos estudos ao redor do mundo, muitos dos quais foram contabilizados na tabela 1. Assim, somente da conferência do IGLC pode-se citar alguns

<sup>7</sup> Na teoria de produção TFV, o “T” refere-se a transformação, o “F” ao fluxo e o “V” à geração de valor (do inglês, *value generation*) (KOSKELA, 2000).

<sup>8</sup> Em algumas situações atividades de suporte como o transporte podem agregar valor, como ocorre com a FEDEX ou com a AMAZON.

artigos do Brasil (SAURIN *et al.*, 2001; SOARES *et al.*, 2002; BERNARDES; FORMOSO, 2002), do Chile (ALARCÓN *et al.*, 2002; ALARCÓN *et al.*, 2005), da Coréia (KIM; JANG, 2005), da Dinamarca (THOMASSEN *et al.*, 2003; JORGENSEN *et al.*, 2004), do Equador (FIALLO; REVELLO, 2002), dos Estados Unidos (CHOO; TOMMELEIN, 2001; CHITLA; ABDELHAMID, 2003), da Finlândia (JUNNONEN; SEPPÄNEN, 2004), da Indonésia (ALWI, 2004) e da Inglaterra (JOHANSEN *et al.*, 2004; OLIVEIRA F., 2004). Na seção 2.4 serão apresentados alguns resultados quantitativos desses estudos.

## 2.2 O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O planejamento pode ser definido como o processo de tomada de decisão que considera um futuro desejado e os meios eficazes para que o mesmo se concretize (ACKOFF, 1970<sup>9</sup> *apud* LAUFER; TUCKER, 1987). Assim, considera-se o que deve ser feito (atividades) e como deve ser feito (métodos) (LAUFER; TUCKER, 1987). Uma definição semelhante é apresentada por Syal *et al.* (1992), em que o planejamento é descrito como um processo de tomada de decisão que resulta em um conjunto de ações necessárias para transformar o estágio inicial de um empreendimento em um estágio final desejado. Dessa forma, são fixados padrões de desempenho contra os quais a evolução do empreendimento é analisada.

Segundo Laufer e Tucker (1987), o planejamento e o controle são duas atividades indissociáveis e integradas em um mesmo ciclo. De fato, sem o planejamento não é possível verificar se o trabalho designado está sendo executado para cumprir os objetivos da obra (BALLARD; HOWELL, 2003).

Laufer e Tucker (1987) sugeriram representar o processo de PCP em duas dimensões: horizontal e vertical. Na primeira delas, são descritas as etapas do PCP - preparação do planejamento e controle, coleta de dados, preparação dos planos, difusão das informações e avaliação do PCP - enquanto que na segunda esse processo é hierarquizado, sendo vinculado a distintos níveis gerenciais de uma organização.

A figura 3 representa a dimensão horizontal do PCP, na qual se podem observar dois ciclos de controle: um intermitente, que corresponde ao ciclo de controle do empreendimento, e um

---

<sup>9</sup> ACKOFF, R.L. **A Concept of Corporate Planning**. Nova Iorque: John Wiley and Sons, 1970.



contínuo, denominado de ciclo de planejamento e controle da produção (LAUFER; TUCKER, 1987).

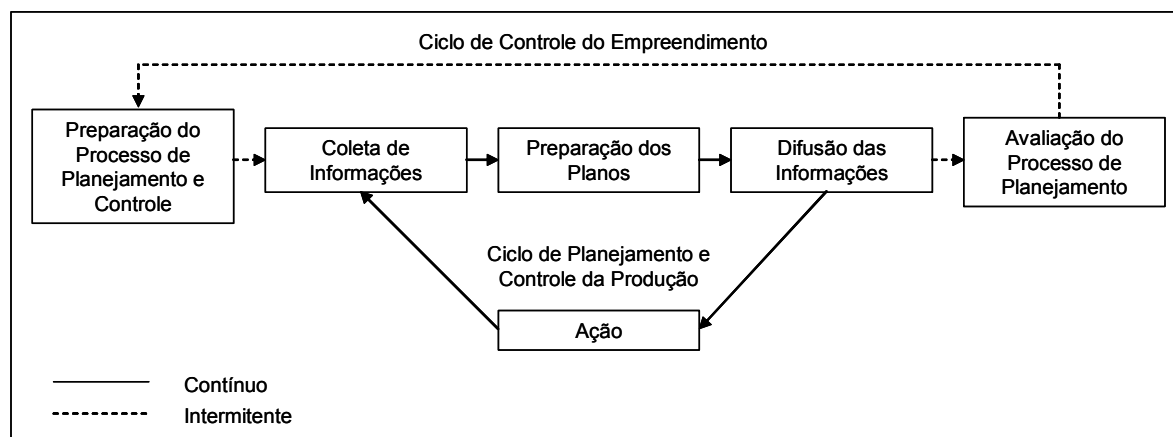


Figura 3: dimensão horizontal do processo de planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987)

Na primeira fase do ciclo intermitente (indicado, na figura 3, como preparação do processo de planejamento e controle), define-se como será realizado este processo com a decisão, por exemplo, da periodicidade e do nível de detalhamento de cada um dos níveis de planejamento, da frequência de replanejamento e do grau de centralização das decisões. Ao final do ciclo de controle do empreendimento, o PCP é avaliado de forma a possibilitar a realização de melhorias no processo (LAUFER; TUCKER, 1987). Esta avaliação pode acontecer ao término da obra, de forma a contribuir para melhorar o PCP em futuros empreendimentos, ou durante a sua execução, caso exista necessidade de introduzir mudanças substanciais neste processo (BERNARDES, 2001).

No ciclo contínuo, conforme se observa na figura 3, a primeira fase corresponde à coleta de informações, entre as quais podem ser citadas aquelas referentes a condições de contratos, especificações técnicas, condições do canteiro de obras, tecnologias que podem ser utilizadas, estudo de viabilidade econômico-financeira, índices de produtividade e metas estratégicas definidas pela alta gerência. Ao longo do empreendimento, devem ser coletadas informações adicionais sobre os recursos consumidos e sobre as metas alcançadas (LAUFER; TUCKER, 1987). Na etapa seguinte, de preparação dos planos, algumas técnicas de planejamento são tradicionalmente utilizadas, tais como o gráfico de *Gantt*, a linha de balanço e a rede CPM (LAUFER; TUCKER, 1987). Esses autores criticaram que, muitas vezes, essa etapa é

supervalorizada quando comparada às outras. Segundo os mesmos, muitas vezes isso é consequência apenas de uma exigência externa - como a cobrança dos planos pelo cliente contratante – ao invés de ter como objetivo auxiliar a produção. A próxima fase do ciclo de PCP é a disseminação das informações, que ocorre de acordo com a necessidade dos usuários. Assim, a informação deve ser entregue para cada um dos envolvidos no formato e com o conteúdo necessários para maximizar a tomada de decisão (LAUFER; TUCKER, 1987). Na figura 3, o ciclo contínuo é finalizado com a etapa de ação, a partir da qual o cumprimento das metas fixadas é avaliado e os possíveis desvios e as suas causas são identificados (BERNARDES, 2001).

Quanto à dimensão vertical do processo de PCP, Laufer e Tucker (1988) ressaltam que o grau de detalhe varia de acordo com o horizonte de planejamento: quanto maior o horizonte menor deve ser o grau de detalhamento, de forma a evitar o excesso de retrabalhos na atualização, que cresce de acordo com a proximidade da implementação. Por esse motivo, existe a necessidade de dividir o PCP em diferentes níveis hierárquicos. Ambientes com uma grande incerteza demandam um esforço de replanejamento mais constante (LAUFER; TUCKER, 1988). A divisão mais tradicional é aquela que divide o PCP nos níveis estratégico, tático e operacional:

- a) nível estratégico: são definidas as metas gerais do empreendimento, principalmente aquelas relacionadas ao custo e ao prazo (SHAPIRA; LAUFER, 1993);
- b) nível tático: engloba a seleção, a aquisição dos recursos necessários para atingir os objetivos do empreendimento e a elaboração de um plano geral para a utilização desses recursos (FORMOSO *et al.*, 1999);
- c) nível operacional: nessa etapa, considera-se a designação das atividades para as equipes, o controle do processo e os reparos dos equipamentos. Assim, um dos produtos é a programação para controlar a produção no curto prazo (HOPP; SPEARMAN, 1996).

### 2.3 O SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO *LAST PLANNER*

O sistema *Last Planner* de controle da produção segue a hierarquização do processo de PCP sugerida por Laufer e Tucker (1987), que está indicada na figura 4 em três níveis:

planejamento de longo prazo, planejamento *lookahead* (olhado à frente)<sup>10</sup> e planejamento de comprometimento (HOWELL; BALLARD, 1997b). Os dois primeiros níveis têm caráter tático e, o último, operacional.

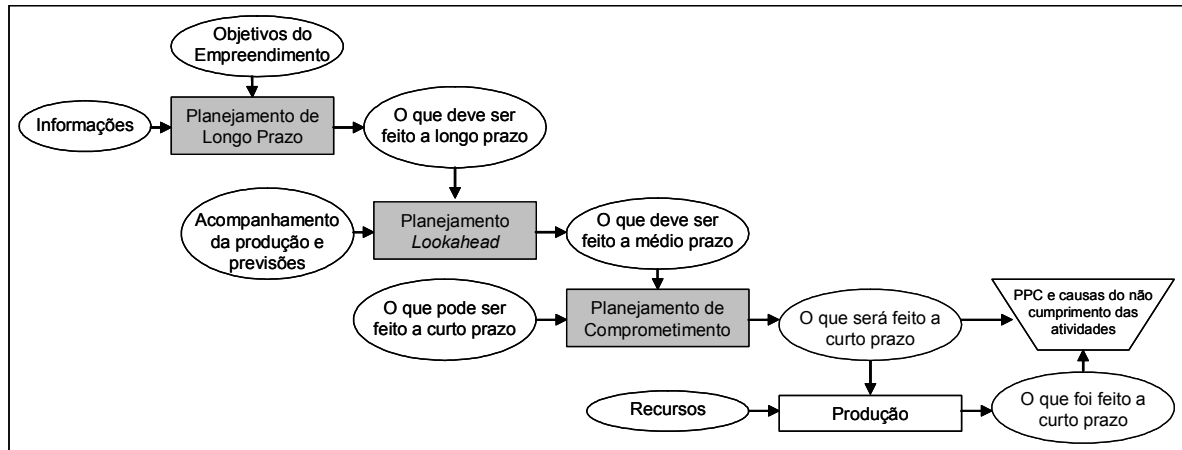


Figura 4: níveis hierárquicos do sistema de planejamento (adaptado de HOWELL; BALLARD, 1997b)

O principal resultado do Planejamento de Longo Prazo é o Plano Mestre, que registra as datas marco das atividades principais e cujas informações podem servir de referência para a elaboração do orçamento do empreendimento (BALLARD; HOWELL, 1997c). O Planejamento de Médio Prazo, por sua vez, detalha e ajusta as etapas do Plano Mestre, sendo identificadas e removidas as restrições para a execução das atividades, com o intuito de criar uma janela de confiabilidade para a próxima etapa, de Planejamento de Comprometimento (BALLARD; HOWELL, 1997c). Segundo Cox e Spencer (1995)<sup>11</sup> apud Cox e Spencer (2002), restrição pode ser definida como:

“Qualquer elemento ou fator que impede que um sistema conquiste um nível melhor de desempenho no que diz respeito a sua meta. As restrições podem ser físicas (como um equipamento ou a falta de material) ou gerenciais, como procedimentos, políticas e normas”. (COX; SPENCER, 2002, p. 38).

Por fim, o Planejamento de Comprometimento resulta na listagem das tarefas que **serão** executadas (planos de trabalho), depois de avaliadas as atividades que **devem** contra aquelas que **podem** ser feitas, baseado na receita de recursos e no cumprimento dos seus respectivos

<sup>10</sup> A partir deste ponto do texto o planejamento *lookahead* será referido como Planejamento de Médio Prazo.

<sup>11</sup> COX, J.F.; SPENCER, M.S. **APICS Dictionary**. 8. ed. Falls Church VA: American Production and Inventory Society, 1995.

pré-requisitos, ou seja, cujas restrições foram removidas (figura 5) (BALLARD, 2000). Essa etapa é considerada o ponto de partida para o controle da produção, cuja importância está indicada na própria expressão “*Last Planner*” (BALLARD; HOWELL, 1997c). Assim, o “último planejador” é aquele que se responsabiliza pelo comprometimento das atividades em uma equipe durante o planejamento operacional (BALLARD, 1994).

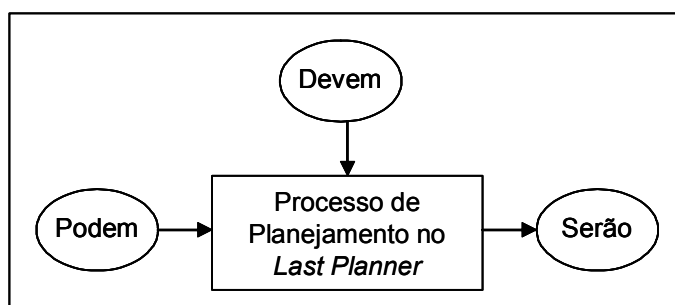


Figura 5: a formação dos comprometerimentos no sistema *Last Planner* (BALLARD, 2000)

Segundo Ballard (2000), as falhas que acrescentam incertezas e diminuem a confiabilidade durante a etapa do planejamento de comprometimento podem ser atenuadas quando se considera o fluxo de trabalho que integra essas unidades de produção. Assim, o sistema *Last Planner* foi dividido em dois componentes principais, que serão detalhados nas seções 2.3.1 e 2.3.2 (BALLARD, 2000):

- a) controle da unidade de produção: essas unidades contrapõe-se ao controle global do empreendimento, que visa basicamente ao cumprimento de contratos, dificultando a identificação de problemas de produção e a definição de ações corretivas (BALLARD; HOWELL, 1997c). Assim, o controle da unidade de produção busca melhorar a qualidade dos planos gerados por meio do aprendizado contínuo. Ocorre durante o Planejamento de Comprometimento;
- b) controle do fluxo de trabalho: procura garantir a melhor seqüência executiva das atividades. Ocorre durante o Planejamento de Médio Prazo.

### 2.3.1 Controle da Unidade de Produção

Na etapa de controle da unidade de produção, Ballard (2000) propôs alguns critérios para garantir a qualidade na elaboração dos planos para o Planejamento de Comprometimento:

- a) pacotes de trabalho bem definidos: o pacote de trabalho deve estar suficientemente bem descrito, de forma que o seu término seja facilmente identificado (BALLARD, 2000). Nesse sentido, Marchesan (2001) sugeriu

que, para a clara definição das atividades, deve haver três componentes: ação, elemento e local (por exemplo: assentar os revestimentos cerâmicos no banheiro do apartamento 301). Cabe ressaltar que esses critérios ainda são muito amplos, o que resulta em equívocos na etapa de definição dos pacotes de trabalho;

- b) seqüência correta de trabalho: a escolha deve ser feita considerando-se as metas do empreendimento e as estratégias para a execução (BALLARD, 2000). Segundo Birrel (1980), a seqüência de trabalho é apoiada pelos conceitos de lógica absoluta e de lógica preferencial. Para esse autor, o fluxo de trabalho segundo a lógica absoluta é obrigatório (pilares construídos antes das vigas), enquanto que a lógica preferencial oferece ao planejador a flexibilidade para melhorar a seqüência das atividades e para reduzir o prazo da construção;
- c) quantidade certa de trabalho: a quantidade de trabalho é designada a partir das capacidades das equipes de produção, considerando o trabalho a ser executado e o prazo disponível (BALLARD, 2000). O sistema *Last Planner* também auxilia no aprendizado no que se refere a conhecer a capacidade real de cada equipe de produção em um contexto específico. Entretanto, esta análise é aproximada, considerando que no cálculo do PPC são utilizadas apenas aquelas tarefas que foram concluídas;
- d) possibilidade de executar as atividades: para as respectivas tarefas, todos os pré-requisitos dos trabalhos e os recursos (como material e mão-de-obra) devem estar disponíveis (BALLARD, 2000).

Entretanto, esses critérios não são muito restritivos e, por essa razão, dão margem a muitas variações nos critérios para a definição dos pacotes de trabalho. A eficácia do Planejamento de Comprometimento é medida através do indicador denominado como Percentual de Pacotes Concluídos (PPC)<sup>12</sup> (BALLARD, 2000). Para Ballard *et al.* (1996), o PPC é a medida imediata do sistema *Last Planner*, indicando a confiabilidade do processo de planejamento da produção. Este conceito de confiabilidade é diferente do seu conceito tradicional, apresentado por Ang e Tang (1984) como uma medida probabilística da segurança de um determinado sistema. O grau de confiança do planejamento da produção é utilizado no sentido de eficácia deste processo em atingir as metas de conclusão de atividades previstas.

Além do PPC, no Planejamento de Comprometimento também são registradas as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, que devem ser expressas pela causa raiz dos problemas para permitir a melhora do desempenho quando solucionadas (BALLARD, 2000).

---

<sup>12</sup>  $PPC = \frac{\sum c}{\sum t}$ , sendo “ $\sum c$ ” o número de pacotes de trabalho concluídos e “ $\sum t$ ” o número de pacotes planejados.

Seymour (2000) ressalta que a identificação dessas causas é uma tarefa bastante difícil, principalmente porque a tendência é o registro de justificativas para o não cumprimento das atividades e da busca do responsável entre os envolvidos durante a definição desses problemas. Para auxiliar a adequada identificação das causas, pode-se usar a técnica dos “cinco porquês”, iniciando com a pergunta do “porquê” do problema identificado e a resposta servindo como base para a próxima indagação, até se chegar ao que é considerada a causa raiz (SEYMOUR, 2000). Além disso, a causa raiz pode não ser única. Entretanto, quando se registram múltiplas causas, não deveria existir uma relação de causa e efeito entre as mesmas.

A figura 6 apresenta uma sugestão de planilha para o registro das tarefas planejadas e para o controle das tarefas executadas, adaptada de Ballard e Howell (1997c), na qual é exemplificado o cálculo do PPC e são indicadas as causas do não cumprimento das atividades. Na primeira coluna são definidas as equipes responsáveis pela execução de cada pacote de trabalho. Nos demais campos há o registro do número de trabalhadores envolvidos com cada pacote de trabalho e seus respectivos dias de trabalho.

Planejamento Semanal		Obra: Exemplo		Semana 6								
Planejamento X Execução		Engenheiro: A		20/06/2005		26/06/2005		1ª Semana 16/05/2005				
				PPC = $\frac{\sum \text{sem}}{\sum 1}$				80%				
Equipe	Pacote de Trabalho	Início	Fim	S	T	Q	Q	S	S	D	% Executado	Problema
Equipe A	Montagem de Fôrma para dilatação do piso na área dos sanitários do 2º pav.	23/jun	23/jun	P			1				100 %	
				E		1						
Equipe A	Rejuntamento da face inferior da Laje Roth	20/jun	21/jun	P	1	1					100 %	
				E	1	1						
Equipe A	Execução de enchimento entre Painél da fachada e piso do pav. térreo	20/jun	24/jun	P	1	1	1	1			70 %	Chuva
				E	1	1	1	1	1			
Equipe B	Montagem dos painéis de fachada superiores PN10S.	20/jun	20/jun	P	3						100 %	
				E	3							
Equipe B	Montagem das vigas e laje do Reservatório	20/jun	20/jun	P	3						100 %	
				E	3							

Figura 6: planilha para o plano de curto prazo [adaptado de Ballard e Howell (1997c)]

Os indicadores resultantes do controle da unidade de produção - causas do não cumprimento das atividades e PPC - também podem estar descritos em um relatório de controle, o que acrescenta maior visibilidade à análise do processo de planejamento e controle da produção (BERNARDES, 2001). A análise da evolução desses indicadores também pode ser utilizada para avaliar a estabilidade do sistema da produção. Para Smalley (2006), a estabilidade

implica a previsibilidade geral e disponibilidade constante de mão-de-obra, máquinas, materiais e métodos.

Segundo Ballard e Howell (1997c), para avaliar a estabilidade pode ser utilizado um gráfico que contabiliza o PPC, o percentual de pacotes não concluídos devido a problemas com origem predominantemente interna ao processo – ou seja, falha na definição dos próprios planos - e o percentual das causas externas. Entretanto, essa distinção é uma simplificação, com o objetivo de focar a melhoria do processo nas falhas que podem ser mais facilmente eliminadas. Um exemplo de problema de origem interna é a falha devido à modificação dos planos e de problema de origem externa são as condições adversas do tempo. Ao longo da evolução, a tendência é que as causas com origem interna ao processo diminuam, devido ao aumento da qualidade dos planos produzidos decorrentes da aprendizagem e, sobretudo, pela atuação junto às causas raiz (BALLARD; HOWELL, 1997b; BALLARD; HOWELL, 1997c). Os problemas externos, por sua vez, por serem mais difíceis de serem eliminados tendem a aumentar proporcionalmente quando comparado aos internos (BALLARD; HOWELL, 1997c). Uma forma possível de atenuar também os efeitos nocivos dos problemas de origem externa é a definição das tarefas reservas (BERNARDES, 2001).

### 2.3.2 Controle do Fluxo de Trabalho

Através do controle do fluxo de trabalho, são coordenados os fluxos de projetos, de fornecedores e da execução ao longo das unidades de produção (BALLARD, 2000). Essa função é desempenhada pelo Planejamento de Médio Prazo, sendo que as atividades são selecionadas por um processo de triagem (*screening*) do Plano Mestre, assim como são definidas as tarefas que serão postergadas nesse horizonte de planejamento (TOMMELEIN; BALLARD, 1997; BALLARD, 2000). O Planejamento de Médio Prazo é comum na indústria manufatureira e, basicamente, indica as atividades que devem ser executadas em um horizonte de tempo menor quando comparado ao Plano Mestre (BALLARD, 2000). Entretanto, no *Last Planner* são agregadas outras funções ao Planejamento de Médio Prazo (BALLARD, 1997b; BALLARD, 2000):

- a) estabelecer a seqüência do fluxo de trabalho da melhor forma possível, considerando os objetivos do empreendimento;
- b) verificar se o fluxo de trabalho está condizente com a capacidade de produção e com os recursos disponíveis;

- c) detalhar as atividades do plano mestre em pacotes de trabalho e operações;
- d) detalhar os métodos de execução das tarefas especificadas na etapa de Planejamento de Longo Prazo;
- e) manter um grupo de tarefas com as restrições removidas;
- f) revisar e atualizar os níveis hierárquicos superiores de planejamento, quando necessário.

Segundo Ballard (2000), o número de semanas analisadas pelo Planejamento de Médio Prazo depende de alguns fatores, como as características do projeto, a confiabilidade do sistema de planejamento e o tempo necessário para a disponibilização de materiais e de equipamentos no canteiro de obras, normalmente oscilando entre 3 e 12 semanas. A figura 7 apresenta esse processo esquematizado, mostrando o fluxo de trabalho da direita para a esquerda. Nesta figura, as tarefas potenciais do Planejamento de Médio Prazo são visualizadas em uma janela móvel de cinco semanas a frente (semanas 2 a 6), enquanto que a semana 1 representa o planejamento de comprometimento (BALLARD, 2000).

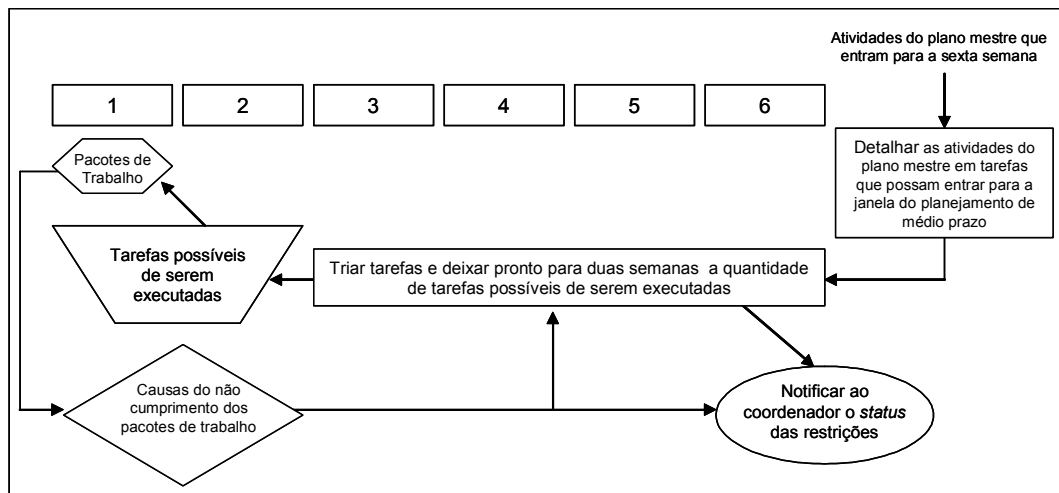


Figura 7: processo esquematizado do planejamento de médio prazo [adaptado de Ballard (2000)]

Na figura 7 percebe-se que, com base no plano de médio prazo, são selecionadas para o plano de comprometimento (de periodicidade geralmente semanal), somente as atividades com as restrições removidas. Assim, a tarefa é planejada somente se há possibilidade da mesma ser executada, o que garante a proteção da produção (BALLARD; HOWELL, 1997c). O fato de analisar os pré-requisitos das tarefas durante essa etapa antes de ingressá-las no plano de comprometimento é uma aplicação explícita de técnicas que fazem do *Last Planner* um



sistema de produção puxada (BALLARD, 1999; BALLARD, 2000). Neste sistema de produção, as ordens de trabalho são liberadas à produção de acordo com o *status* do sistema (HOPP; SPEARMAN, 1996). Assim, uma tarefa com as restrições removidas é a indicação de que já pode ser executada.

## 2.4 RESULTADOS DAS IMPLEMENTAÇÕES DO SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO *LAST PLANNER*

### 2.4.1 Estudos de Ballard & Howell

As primeiras implementações do sistema *Last Planner* de controle da produção apresentaram PPC relativamente baixo, resultantes de muitas incertezas nos fluxos de trabalho, ineficiência do planejamento das unidades de produção e de uma elevada parcela de tempos não produtivos (BALLARD; HOWELL, 1997c). De acordo com Ballard (2000), no princípio esperava-se que somente cerca de 50% das tarefas incluídas nos planos de atividades semanais seriam concluídas. De fato, as medidas de PPC apresentaram valores baixos nos primeiros empreendimentos estudados, com percentuais variando entre 35% e 60% (BALLARD, 1997a; BALLARD, 1999). As primeiras evidências de melhorias substanciais ocorreram em uma série de estudos desenvolvidos em uma refinaria, entre os anos de 1993 e 1994 (BALLARD; HOWELL, 1997b). Nestes estudos, Ballard e Howell (1997b) propuseram a estabilização do ambiente de trabalho através da proteção da produção contra a variabilidade e incerteza existente no processo (*shielding production*). Nos cinco empreendimentos estudados o PPC acumulado foi de 64%. Entre as atividades não concluídas, aproximadamente 40% das mesmas ocorreram por problemas de suprimentos de materiais e 40% por falhas de projeto (BALLARD; HOWELL, 1997b).

Nos trabalhos seguintes (BALLARD, 1999; BALLARD, 2000), constatou-se que este mecanismo de proteção contribuía para que os valores do PPC alcançassem o patamar de 70%, quando associado aos critérios de qualidade para a elaboração dos planos (item 2.3.1). Quanto às causas mais freqüentes do não cumprimento dos pacotes de trabalho, à medida que as tarefas planejadas são selecionadas entre um conjunto de atividades com suas restrições removidas, o problema “materiais” deixa de ser a causa principal e tende a ser substituído por

falhas vinculadas a processos da própria construtora, como a falta de coordenação entre as atividades e mudanças de prioridades (BALLARD; HOWELL, 1997a).

Em 1995, a confiabilidade no planejamento foi avaliada na expansão de uma grande refinaria na Venezuela (BALLARD *et al.*, 1996). Entre as causas do não cumprimento das atividades desse empreendimento, a com maior número de incidências foi, novamente, materiais (BALLARD; HOWELL, 1997c). O estudo apresentou, ainda, uma tendência de aumento do PPC (de, aproximadamente, 65% para 85%) na medida em que eram removidos os problemas identificados e que a qualidade dos planos era melhorada (BALLARD *et al.*, 1996; BALLARD; HOWELL, 1997c). A melhoria do comprometimento das equipes nesse empreendimento também foi indicada por Ballard e Howell (1997c), através de um gráfico que apresentou o aumento do PPC e a redução dos problemas com origem predominantemente interna na construtora ao longo do tempo.

Com base em diversos estudos de caso realizados, Ballard (1999) e Howell *et al.* (2001), indicaram algumas ações para que os valores do PPC alcançassem o patamar dos 90%, entre as quais se destacam: (a) recusa dos “últimos planejadores” (os participantes das reuniões do planejamento de comprometimento) em incluir no plano de curto prazo pacotes de trabalho que não atendam aos critérios de qualidade citados; (b) utilização de uma espécie de *buffer* de capacidade, evitando que as equipes comprometessem a totalidade da sua capacidade (recomendam um máximo de 90% da capacidade produtiva) de forma a evitar o congestionamento nos postos de trabalho; e (c) a análise consistente das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho.

Nos primeiros estudos de Ballard e Howell também foram mensurados alguns impactos positivos com a implementação do *Last Planner*. Os resultados indicaram um fator de desempenho (FD)<sup>13</sup> 30% superior no grupo das atividades com PPC maior que 50% em relação às demais (BALLARD; HOWELL, 1997b). A análise desses resultados preliminares sugere, portanto, que a melhora da eficácia do planejamento tem um impacto positivo na produtividade dos processos, o que também pode resultar em reduções de custo (BALLARD; HOWELL, 1997c). Na opinião de Ballard e Howell (1997a) a redução dos custos e do tempo

---

<sup>13</sup> O Fator de Desempenho é razão entre o número de horas planejadas para um serviço e o número de horas pagas pelo mesmo (BALLARD; HOWELL, 1997b).

nas operações pode oscilar de 25% a 50%. Entretanto, a afirmação desses autores não foi apoiada por uma análise quantitativa.

Alguns cuidados devem ser tomados para evitar que o controle de avanço físico da obra provoque distorções no esforço de alcançar metas. Por exemplo, segundo Ballard *et al.* (1996), em presença de pressões e sem o planejamento adequado, os sub-empreiteiros tendem a mudar a seqüência de trabalho, procurando as atividades mais fáceis de serem realizadas, principalmente quando recebem incentivos financeiros por produção. Kim e Ballard (2000) discutem os efeitos nocivos de medição de desempenho baseadas no *Earned Value Method*<sup>14</sup>, no qual se compara o desempenho planejado com o orçado e com o real. Segundo os referidos autores, um dos pontos negativos de análises desse tipo é o negligenciamento do fluxo de trabalho que integra as unidades de produção, considerando cada atividade e seu respectivo custo como independente. Assim, essa técnica foca na conclusão de atividades que permitam um maior avanço físico do empreendimento.

Pelas razões anteriores, Ballard *et al.* (1996) sugerem bônus relacionados à eficácia do planejamento (PPC), ao invés dos tradicionais incentivos por produção. Dessa forma, o valor maior no PPC também pode exercer uma influência positiva para o cumprimento do prazo dos empreendimentos (BALLARD; HOWELL, 1997b).

## 2.4.2 Outros Estudos

### 2.4.2.1 Chile (GONZALEZ, 2003b)

Gonzalez (2003b) descreveu algumas análises da implementação do sistema *Last Planner* de controle da produção em um conjunto de 77 empreendimentos realizados por 14 construtoras, entre 2001 e 2003. Nessa amostra, apenas 26% das obras analisaram as restrições no Planejamento de Médio Prazo e 5% dos empreendimentos utilizaram no planejamento de comprometimento somente as atividades cujas restrições foram removidas (GONZALEZ, 2003b). Quanto às causas do não cumprimento das atividades, somente 67% das obras reportavam esses problemas em gráficos. Entretanto, os mesmos foram utilizados como base para a realização de ações corretivas em apenas 5% dos empreendimentos (GONZALEZ,

---

<sup>14</sup> É freqüentemente traduzido por método do valor agregado.

2003b). A partir desse conjunto de medidas descritivas percebe-se que, em grande parte dos casos, a implementação dos elementos básicos do *Last Planner* foi parcial.

Uma das medidas mais destacadas no estudo de Gonzalez (2003b) foi o PPC. A média anual do PPC mensal aumentou de 63% no ano de 2001 para 67% no ano de 2002, atingindo o valor de 71% no ano de 2003. Em 2001 e 2002 havia, respectivamente, 49 e 44 obras. Entretanto, a amostra para o ano de 2003 tinha apenas 6 empreendimentos, o que prejudica qualquer conclusão da tendência de aumento dessa medida ao longo do tempo.

Um resultado interessante do trabalho de Gonzalez (2003b) é que o PPC médio dos meses de verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) era mais baixo do que o do resto do ano. Um dos motivos indicados pelos responsáveis em cada uma das empresas é que, na época de férias, diminuía as responsabilidades com o sistema de PCP (GONZALEZ, 2003b).

Entre as causas do não cumprimento das tarefas, no ano de 2001 alguns problemas representaram 40% das causas totais: falha de programação, falta de frentes de trabalho, replanejamento e falta de projeto. No ano de 2002, a falha de programação passou para quinto lugar e começaram a se destacar problemas relacionados aos fornecedores de mão-de-obra. Essa causa foi ainda mais crítica em 2003, quando representou 25% da ocorrência dos problemas (GONZALEZ, 2003b).

Gonzalez (2003b) também avaliou se existiam diferenças entre os valores do PPC médio anual considerando diferentes nichos de mercado. Esses resultados, em ordem decrescente, foram: (a) edificações repetitivas com menos de quatro pavimentos: 73%; (b) edificações repetitivas com mais de cinco pavimentos: 63%; (c) edificações em extensão (geralmente casas): 63%, (d) montagens industriais leves (como as estruturas metálicas de galpões): 63% e, por último, (e) montagem industrial pesada: 56% (GONZALEZ, 2003b). O referido autor atribui, como principal razão para o baixo resultado desse último setor de mercado, o grande tamanho dos empreendimentos, o que pode dificultar a implementação de um sistema de controle da produção.

Gonzalez (2003b) ressaltou, ainda, que as melhorias no processo de planejamento impactaram positivamente tanto nos indicadores de processo quanto nos de resultado. Para Alarcón *et al.* (2001), os indicadores de **processo** procuram medir o desempenho dos processos mais importantes da empresa e dos empreendimentos, como projeto, execução, planejamento e

compras, enquanto que os indicadores de **resultado** são aqueles que tentam medir o nível de sucesso obtido pelo empreendimento.

Para avaliar os impactos da implementação deste sistema de controle nas obras chilenas, foram utilizados alguns indicadores de resultado, como o desvio de prazo<sup>15</sup> e o desvio de custo<sup>16</sup>. O desvio de prazo teve uma melhoria - considerando a média dos resultados - de 21,4% e de 11,0%, respectivamente, para os setores das edificações em extensão e das edificações repetitivas com mais de cinco pavimentos. O desvio de prazo, por sua vez, teve uma melhoria de 22% no nicho das montagens industriais leves (GONZALEZ, 2003b).

#### 2.4.2.2 Colômbia (BOTERO; ALVAREZ, 2005)

Outra análise quantitativa da implementação do sistema *Last Planner* de controle da produção foi realizada na Colômbia, em um estudo que envolveu sete construtoras (BOTERO; ALVAREZ, 2005). Essa avaliação desenvolveu-se em 12 empreendimentos durante o ano de 2003. O período de observação variou de 3 a 9 meses e o PPC médio oscilou entre 46% e 86%, com média de 75,5%. Entre as causas do não cumprimento das atividades, 63% destas foram classificadas nas categorias “mão-de-obra sub-contratada” e “atraso da tarefa antecedente” que são problemas, em geral, considerados como de origem interna.

#### 2.4.2.3 Equador (FIALLO; REVELO, 2002)

Fiallo e Revelo (2002) avaliaram a implementação do sistema *Last Planner* através de um estudo de caso em um empreendimento constituído por 102 unidades habitacionais. Ao longo de 23 semanas, esses autores avaliaram o PPC semanal, as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho e o fator de desempenho (explicado na seção 2.4.1). O PPC variou de 41% a 91% ao longo das semanas, mas não apresentou tendência de estabilização ou de melhoria nas medidas. Entre as causas do não cumprimento das atividades, as com maior número de ocorrências foram: mudança de prioridades (29,18% das ocorrências) e falta de recursos (25,19%).

---

<sup>15</sup> Desvio de Prazo =  $\frac{P_{Pr\ evisto} - P_{real}}{P_{Pr\ evisto}}$ , segundo Gonzalez (2003b).

<sup>16</sup> Desvio de Custo =  $\frac{C_{orçado} - C_{real}}{C_{orçado}}$ , segundo Gonzalez (2003b).

Fiallo e Revello (2002) também associaram os pacotes de trabalho planejados a estágios do empreendimento: fundação, estrutura e vedação. Em cada um desses estágios, o percentual de tarefas finalizadas foi 74%, 68% e 58%, respectivamente. Segundo os autores, a razão dessa diminuição deve-se a menor contribuição do contratante com a implementação do sistema *Last Planner* ao longo do tempo. Fiallo e Revello (2002) citaram, por exemplo, que o contratante acrescentou alguns funcionários na última etapa do empreendimento que não estavam contemplados no planejamento, o que piorou as medidas do fator de desempenho e do PPC nessa fase.

#### 2.4.2.4 Coréia (KIM; JANG, 2005)

Kim e Jang (2005) descreveram dois estudos de caso em empreendimentos de grande porte para obras de metrô (obras A e B). Nessas obras, a implementação do *Last Planner* ocorreu ao longo de três etapas. Na primeira delas, havia apenas o planejamento de comprometimento, em que foi registrado o cálculo do PPC e as causas do não cumprimento das tarefas. O PPC médio para a obra A foi de 62% e, para a obra B, 63%. Na etapa seguinte, implementaram-se os cinco critérios de qualidade para os pacotes de trabalho indicados por Ballard (2000), além da identificação e da remoção das restrições. Como resultado, o PPC médio dessa etapa elevou-se para 79% na obra A e para 75% na obra B. A última etapa confirmou a tendência de aumento do PPC, com os valores médios de PPC de 85% e de 84%, respectivamente para as obras A e B. Quanto às causas do não cumprimento das atividades, ao longo das três fases os principais problemas verificados foram os pré-requisitos incompletos e a falta de material. Os resultados dos estudos de Ballard & Howell (seção 2.4.1) e das pesquisas do Chile (2.4.2.1) e da Colômbia (2.4.2.2) - que envolveram um maior número de obras comparado aos estudos no Equador e na Coréia - estão sintetizados na tabela 2.

Tabela 2: alguns resultados da implementação do sistema *Last Planner* de controle da produção

	Ballard & Howell	Chile	Colômbia
<b>Valores do PPC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas iniciais: de 35% a 60%.</li> <li>• À medida que as tarefas eram bem planejadas (pacotes de trabalho bem definidos, seqüência apropriada, quantidade certa de trabalho e possibilidade de executar as atividades), o PPC oscilava ao redor dos 70%.</li> <li>• Tarefas bem planejadas, “buffer de capacidade” e análise dos problemas: PPC no patamar dos 90%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento da média anual do PPC mensal em três anos consecutivos: 63%, 67% e 71%.</li> <li>• PPC médio anual entre diferentes nichos de mercado:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Edificações: 73%</li> <li>○ Edificações em altura: 63%</li> <li>○ Edificação em extensão: 63%</li> <li>○ Montagem industrial leve: 63%</li> <li>○ Montagem industrial pesada: 56%</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PPC médio das obras oscilou entre 46% e 86%, com média de 75,5%.</li> </ul>
<b>Causas do não cumprimento das tarefas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos primeiros estudos em refinarias: 40% das causas deve-se a material e 40% a projeto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falha de programação, falta de frentes de trabalho, replanejamento e falta de projeto representaram 40% das causas totais em 2001.</li> <li>• Nos anos de 2002 e 2003 destacaram-se problemas com os fornecedores de mão-de-obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 63% dos problemas devem-se a mão-de-obra subcontratada e ao atraso da tarefa antecedente.</li> </ul>
<b>Custos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora de 22% no desvio de custo no nicho das montagens industriais.</li> </ul>	
<b>Prazo</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora do desvio de prazo em 21,4% nas edificações horizontais e 11,0% nas edificações verticais.</li> </ul>	
<b>Caracterização das Obras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras Industriais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificações, casas, obras industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificações e casas.</li> </ul>

## 2.5 RESULTADOS DAS IMPLEMENTAÇÕES DO MODELO DE PCP DO NORIE/UFRGS

Diversas pesquisas sobre sistemas de planejamento e controle da produção vêm sendo realizadas no GEC do NORIE/UFRGS desde 1994, a maioria delas envolvendo a implementação de sistemas de planejamento que adotam os principais elementos do *Last Planner*. Com o resultado do primeiro conjunto destes estudos (CARVALHO, 1998; OLIVEIRA, 1999; ALVES, 2000; MARCHESAN, 2001; BERNARDES, 2001) foi proposto um modelo para o PCP, voltado para empresas de pequeno porte, que é apresentado por Bernardes (2001). Este modelo insere os principais elementos do *Last Planner* em um sistema

maior, integrado com outras funções gerenciais da empresa - por exemplo, suprimentos - e adotando o modelo de processo de PCP proposto por Laufer e Tucker (1987).

Posteriormente, este modelo foi refinado através de diversos estudos, que incorporaram outros elementos ao mesmo, tais como: (a) gestão da segurança no canteiro de obras (SAURIN, 2002; CAMBRAIA, 2004); (b) projeto do sistema de produção (SCHRAMM, 2004; RODRIGUES, 2006); (c) gestão do desenvolvimento do produto (MIRON, 2002; MOURA, 2005; TRESCASTRO, 2005; CODINHOTO, 2003) e (d) controle de custos (KERN, 2005). Outros estudos ainda avaliaram algumas dificuldades da implementação desse modelo (COELHO, 2003; KRAWCKZYK F., 2003; SOARES, 2003; GUTHEIL, 2004). Neste capítulo são apresentadas apenas algumas contribuições referentes ao planejamento e controle da produção propriamente dito, que são relevantes ao presente trabalho.

### 2.5.1 Práticas para a avaliação do PCP

Na tese de Bernardes (2001), a implementação do modelo de PCP foi avaliada em 7 empresas, a partir de um conjunto de quatorze práticas que esse autor se referiu como essenciais para esse processo. Após essa avaliação, Bernardes (2001) calculou o indicador denominado de **eficácia da implementação**, obtido através de uma média ponderada que considerou o valor “1” quando a prática estava totalmente aplicada, “0,5” quando parcialmente implementada e “0” quando implementada e, pouco depois, descartada.

Essas práticas foram posteriormente refinadas em uma lista de verificação composta por quinze itens em um projeto de qualificação de empresas construtoras, realizado pela Rede Baiana de Qualidade e Produtividade na Construção Civil (Qualcon), que contou com a coordenação técnica do NORIE/UFRGS. Esse projeto visava, entre outros objetivos, avaliar a implementação e propor melhorias ao modelo de PCP desenvolvido no NORIE/UFRGS, adaptando-o ao contexto dos diversos segmentos da indústria da construção naquele estado (BULHÕES, 2004). O estudo envolveu a implementação do modelo em 15 construtoras. Ao final do mesmo, foi realizada uma avaliação, através de entrevistas com representantes das empresas e da aplicação da nova versão da lista de verificação (BULHÕES, 2004).

Na tabela 3, estão listadas as quatorze práticas propostas por Bernardes (2001), indicando o grau de implementação de cada uma delas nas empresas estudadas. Na mesma tabela, consta também a eficácia de implementação de mais uma empresa, cuja implementação do PCP foi



estudada por Krawczyk F.(2003). Na tabela 4, são listadas as quinze práticas propostas no projeto Qualcon, que foram utilizadas para avaliar a eficácia de implementação em 15 obras. Nas duas tabelas, as práticas totalmente implementadas estão representadas com a letra “T”, as parcialmente implementadas com a letra “P” e, por último, letra “N” representa as práticas não implementadas.

Tabela 3: práticas de PCP avaliadas em Bernardes (2001) e em Krawczyk F. (2003) em obras de diferentes empresas

Prática Avaliada	Bernardes (2001)							Krawczyk F. (2003)	%
	1	2	3	4	5	6	7		
Hierarquização do planejamento	T	T	T	P	N	P	T	T	75
Padronização do PCP	T	T	P	P	N	P	P	T	63
Utilização do PPC e identificação das causas dos problemas	T	T	P	N	N	P	T	P	56
Especificação detalhada das tarefas	T	P	P	P	N	P	P	P	50
Formalização do planejamento de curto prazo	P	P	P	N	N	P	P	T	44
Realização de reuniões para difusão das informações	P	N	P	N	P	N	P	T	38
Tomada de decisões participativas	P	P	P	N	N	N	P	P	31
Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas	P	N	N	N	N	N	P	T	25
Análise dos fluxos físicos	N	N	N	N	N	N	P	T	19
Análise de restrições	N	N	N	N	N	N	N	T	13
Utilização de dispositivos visuais	N	N	N	N	N	N	T	N	13
Utilização de sistemas de indicadores de desempenho	N	N	N	N	N	N	P	P	13
Análise e avaliação qualitativa dos processos	N	N	N	N	N	N	N	N	0
Programação de tarefas reservas	N	N	N	N	N	N	N	N	0
<b>Eficácia da Implementação [%]</b>	<b>50</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>46</b>	<b>64</b>	

LEGENDA: T – totalmente implementada; P – parcialmente implementada; N – não implementada

Tabela 4: práticas de PCP avaliadas em Bulhões (2004) em obras de diferentes empresas

Prática Avaliada	Obra															%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Tomada de decisão participativa nas reuniões de curto prazo	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	100
Rotinização das reuniões do planejamento de curto prazo	T	T	T	T	T	T	T	P	T	T	T	P	T	T	T	93
Definição correta dos pacotes de trabalho	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	P	P	P	T	P	87
Formalização do processo de PCP	P	T	P	T	T	P	P	P	T	T	T	P	T	P	T	77
Utilização de indicador para avaliar o cumprimento de prazo da obra	N	P	P	N	T	N	N	N	N	N	N	N	N	N	T	75
Realização de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos	T	T	T	P	P	P	P	P	T	T	P	P	T	T	P	73
Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro	T	T	P	T	T	T	P	P	T	T	P	N	P	N	P	67
Inclusão no plano de curto prazo apenas de pacotes de trabalho cujas restrições foram removidas	P	T	P	P	T	T	P	P	P	P	P	P	T	P	P	63
Elaboração de um plano de longo prazo em um formato que permita a fácil visualização do plano de ataque a obra	T	T	T	N	T	N	P	N	N	N	T	P	P	P	P	63
Atualização sistemática do plano mestre (longo prazo) de forma a refletir o andamento da obra	T	P	T	T	T	N	N	N	T	N	N	N	N	T	T	62
Planejamento e controle dos fluxos físicos	N	P	N	N	P	T	P	N	N	N	P	P	N	T	N	56
Rotinização do planejamento de médio prazo	P	P	P	T	P	T	N	P	P	N	N	N	P	P	P	50
Programação de tarefas suplentes	P	T	P	T	N	T	P	P	T	N	P	N	N	N	N	43
Remoção sistemática das restrições	P	P	P	P	P	T	N	P	P	N	N	P	N	P	N	42
Análise crítica do conjunto de indicadores de PCP	P	P	P	P	T	T	N	N	N	N	N	P	N	N	T	37
<b>Eficácia da Implementação [%]</b>	<b>67</b>	<b>80</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>80</b>	<b>73</b>	<b>43</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>43</b>	<b>47</b>	<b>37</b>	<b>47</b>	<b>57</b>	<b>60</b>	

LEGENDA: T – totalmente implementada; P – parcialmente implementada; N – não implementada

Na tabela 3 observa-se que, entre as construtoras que tiveram seu processo de implementação avaliado pela lista proposta por Bernardes (2001), destacam-se os itens de hierarquização do PCP e da padronização do PCP, que se referem ao sistema de planejamento como um todo. No estudo de Bulhões (2004), por outro lado, as práticas com maior eficácia de implementação estavam bastante relacionadas ao planejamento de curto prazo<sup>17</sup>, o que pode sugerir uma implementação parcial do modelo, visto que a análise sistemática das restrições e a rotinação do planejamento de médio prazo estão entre os cinco itens com o menor percentual de implementação. Duas práticas problemáticas foram percebidas em ambos os estudos: (a) a definição de tarefas reservas ou suplentes, a serem executadas no caso do não cumprimento das atividades principais e (b) a coleta de indicadores.

<sup>17</sup> O planejamento de curto prazo é um sinônimo do planejamento de comprometimento.

Em outras duas dissertações de mestrado desenvolvidas no NORIE/UFRGS, as práticas propostas por Bernardes (2001) foram utilizadas para a avaliação da implementação do PCP nos empreendimentos e foram comparadas à medida da eficácia do planejamento. Na tabela 5 estão os resultados da pesquisa de Gutheil (2004) e, na tabela 6, os de Soares (2003).

Tabela 5: práticas de PCP avaliadas em Gutheil (2004) em obras de uma mesma empresa

Prática Avaliada	Gutheil (2004)								%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Formalização do planejamento de curto prazo	T	T	P	T	T	T	T	T	<b>94</b>
Especificação detalhada das tarefas	T	T	P	T	T	T	T	T	<b>94</b>
Análise dos fluxos físicos	T	T	N	T	N	T	T	T	<b>75</b>
Padronização do PCP	T	T	P	P	P	T	P	P	<b>69</b>
Hierarquização do planejamento	T	T	P	P	P	T	P	P	<b>69</b>
Análise de restrições	T	T	P	P	P	T	P	P	<b>69</b>
Tomada de decisões participativas	P	P	P	P	P	P	P	P	<b>50</b>
Realização de reuniões para difusão das informações	P	P	P	P	P	P	P	P	<b>50</b>
Programação de tarefas reservas	N	P	N	N	N	N	N	N	<b>6</b>
Análise e avaliação qualitativa dos processos	N	N	N	N	N	N	N	N	<b>0</b>
Utilização de dispositivos visuais	N	N	N	N	N	N	N	N	<b>0</b>
Utilização do PPC e identificação das causas dos problemas	N	N	N	N	N	N	N	N	<b>0</b>
Utilização de sistemas de indicadores de desempenho	N	N	N	N	N	N	N	N	<b>0</b>
Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas	N	N	N	N	N	N	N	N	<b>0</b>
<b>Eficácia da Implementação [%]</b>	<b>50</b>	<b>54</b>	<b>25</b>	<b>39</b>	<b>32</b>	<b>50</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	
<b>PPC da obra [%]</b>	<b>75</b>	<b>72</b>	<b>58</b>	<b>68</b>	<b>58</b>	<b>74</b>	<b>72</b>	<b>77</b>	

LEGENDA: T – totalmente implementada; P – parcialmente implementada; N – não implementada

Tabela 6: práticas de PCP avaliadas em Soares (2003) em obras de uma mesma empresa

Prática Avaliada	Soares (2003)															%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Formalização do planejamento de curto prazo	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	<b>100</b>
Padronização do PCP	P	P	P	P	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	<b>87</b>
Utilização do PPC e identificação das causas dos problemas	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	T	T	T	T	T	<b>70</b>
Hierarquização do planejamento	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	T	T	P	T	T	<b>67</b>
Tomada de decisões participativas	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	T	P	T	T	<b>63</b>
Especificação detalhada das tarefas	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	T	<b>57</b>
Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas	N	N	N	N	N	N	N	N	N	T	T	T	T	T	T	<b>40</b>
Realização de reuniões para difusão das informações	N	N	N	N	N	N	N	N	N	T	T	T	T	T	T	<b>40</b>
Análise de restrições	N	N	N	N	N	N	N	P	P	P	N	T	P	T	T	<b>33</b>
Análise dos fluxos físicos	P	N	N	N	N	N	N	N	N	T	N	T	N	P	P	<b>23</b>
Utilização de dispositivos visuais	P	N	N	N	N	N	N	N	N	T	N	T	N	P	P	<b>23</b>
Análise e avaliação qualitativa dos processos	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N	P	N	N	P	<b>10</b>
Programação de tarefas reservas	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N	P	N	N	P	<b>10</b>
Utilização de sistemas de indicadores de desempenho	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	<b>0</b>
<b>Eficiência da Implementação [%]</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>75</b>	<b>54</b>	<b>82</b>	<b>50</b>	<b>71</b>	<b>79</b>	
<b>PPC da obra [%]</b>	<b>71</b>	<b>77</b>	<b>68</b>	<b>71</b>	<b>72</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>67</b>	<b>61</b>	<b>71</b>	<b>78</b>	<b>74</b>	<b>79</b>	<b>84</b>	<b>77</b>	

LEGENDA: T – totalmente implementada; P – parcialmente implementada; N – não implementada

Os empreendimentos executados pelas duas construtoras - pesquisados por Soares (2003) e Gutheil (2004) - pertencem ao mesmo nicho de mercado, o de obras industriais e comerciais para clientes privados. Entretanto, a construtora estudada por Gutheil (2004) é uma micro-empresa, enquanto que a construtora investigada por Soares (2003) era uma empresa de médio porte nessa época. As obras descritas por Gutheil (2004) possuem uma duração mais curta, já que todas foram executadas em um período inferior a 6 meses. Da mesma forma que nas avaliações realizadas por Bernardes (2001), Krawczyk F. (2003) e Bulhões (2004), em ambas as empresas observa-se um grau de sucesso muito grande na implementação de práticas relacionadas ao planejamento de curto prazo e pouco sucesso na implementação do planejamento de médio prazo.

Soares (2003) indicou uma tendência de consolidação das práticas ao longo do tempo e de aumento do PPC. Os 15 empreendimentos estudados (tabela 6) foram divididos em três fases:

(a) primeira implementação do sistema de PCP (obra 1); (b) consolidação do sistema de PCP (obras 2 a 9) e (c) aperfeiçoamento do sistema de PCP (obras 10 a 15). Nos primeiros 9 empreendimentos (etapas “a” e “b”) a média da eficácia da implementação foi de 29% e o PPC médio foi de 72%. No período “c”, o PPC médio das obras aumentou para 77% e a média da eficácia da implementação para 69%.

Em linhas gerais, quando se avalia os resultados das tabelas 3 a 6, percebe-se que práticas associadas ao curto prazo estão bastante disseminadas entre as empresas, provavelmente porque esta é a etapa pela qual se inicia o processo de implementação do PCP. Entretanto, nem sempre a prática de realização de ações corretivas a partir dos problemas identificados estava entre as mais implementadas, embora seja considerada fundamental para o desempenho desse processo e como parte do conjunto das atividades na etapa de planejamento de curto prazo.

### 2.5.2 Dificuldades de Implementação do PCP

Muitas dificuldades de implementação foram identificadas nos diversos estudos realizados, como a definição do nível de detalhamento dos planos. Algumas empresas tendem a fragmentar excessivamente os pacotes de trabalho, o que dificulta o controle, já que um maior número de itens deve ser verificado. Nestes casos, o valor do PPC tende a ser mais alto e, por essa razão, pode não representar adequadamente a eficácia do planejamento. Entretanto, Oliveira (1999) observou que o planejamento com um maior número de tarefas (com o cuidado que não seja excessivo) apresenta a vantagem de deixar mais clara a definição das atividades, o que contribui para a verificação da disponibilidade dos recursos necessários e também facilita a identificação das falhas.

Outro problema observado durante o planejamento de comprometimento é a subestimação da capacidade produtiva. Marchesan (2001) observou que, durante a realização do seu estudo, os responsáveis pelo planejamento definiam os pacotes de trabalho subestimando os recursos existentes, protegendo-se, dessa forma, de maneira exagerada contra as incertezas. Em um de seus estudos de caso, o aumento no percentual das tarefas concluídas, indicado como significativo após uma análise de variância com os resultados anteriores, não contribuiu com as metas de cumprimento dos prazos da obra. Por essa razão, Marchesan (2001) ressaltou a importância do controle das metas definidas nos níveis hierárquicos superiores do

planejamento, servindo como referência para a elaboração das tarefas a serem executadas. Nesse sentido, Akkari (2003) propôs a utilização de indicadores de aderência entre os níveis hierárquicos de PCP. Dessa forma, são avaliadas as tarefas que desviam do plano inicial, o que contribui para a integração entre diferentes níveis de planejamento.

Neves *et al.* (2002) também identificaram problemas relacionados ao comportamento de auto-proteção para a obtenção de maiores medidas no PPC. Segundo esses autores, isso pode ocorrer quando as empresas utilizam os valores do PPC como propaganda do seu processo, quando os responsáveis pelo planejamento entendem esse indicador como uma medida da qualidade do seu trabalho ou ainda nas situações em que não se conhece a real capacidade de produção da equipe de produção.

Algumas dificuldades também foram apresentadas para as análises das causas do não cumprimento das tarefas. Estas têm origem, muitas vezes, na definição dos pacotes de trabalho. Segundo Coelho (2003), alguns problemas são recorrentes na definição dessas atividades: descrição apenas da **ação**, identificação imprecisa do **local** e a associação do **elemento** a algum percentual (por exemplo, executar 30% do piso do banheiro do apartamento 301), dificultando a avaliação da conclusão das tarefas. Segundo Neves *et al.* (2002), a análise correta desses problemas muitas vezes não é realizada, o que interfere no aprendizado, visto que não existe a retroalimentação do processo de PCP. Por exemplo, em um estudo de caso de Coelho (2003), 46% das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho não foram investigadas, o que compromete a melhoria da eficácia do planejamento.

### **3 TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO E DE PREDIÇÃO PARA A ANÁLISE DE DADOS**

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as técnicas que podem ser utilizadas para a análise de dados que resultam do Planejamento e Controle da Produção. No início, são apresentadas algumas considerações gerais sobre a extração de conhecimento em bases de dados, uma vez que a etapa de preparação de dados desta dissertação foi fortemente baseada em alguns dos procedimentos utilizados neste processo. Após são discutidas técnicas de análise dos registros armazenados com destaque à análise de regressão, por ter sido utilizada no presente trabalho.

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DA EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO EM BASES DE DADOS**

O crescimento do número de dados coletados na construção civil e a facilidade de armazenamento desses valores têm contribuído para o acúmulo de um grande volume de registros que, muitas vezes, não são devidamente analisados (SOIBELMAN *et al.*, 2005). Isso impede a extração do conhecimento, que corresponde à etapa em que o usuário internaliza a informação de modo que possa usá-la (SOIBELMAN *et al.*, 2005).

Nesse contexto, o Descobrimto de Conhecimento em Base de Dados (DCBD) pode auxiliar a extração de conhecimento. De acordo com Soibelman *et al.* (2005), o DCBD combina técnicas de mineração de dados com aprendizagem de máquina, reconhecimento de padrões, estatística, base de dados e visualização para a extração de conceitos, correlações e padrões de interesse.

Soibelman e Kim (2002) indicaram que existem poucas aplicações de DCBD na construção civil e propuseram uma estrutura com essa ferramenta para encontrar padrões em grandes

bancos de dados de obras. Soibelman *et al.* (2005), mais recentemente, descreveram os resultados preliminares de um protótipo de DCBD utilizado para identificar as causas de atraso de um grande número de empreendimentos. Por fim, nas últimas conferências do IGLC, foram apresentados dois artigos que buscaram extrair padrões entre as causas do não cumprimento das tarefas em um banco de dados de uma obra que implementou o sistema *Last Planner* de controle da produção (OLIVEIRA F. *et al.*, 2004; WU; SOIBELMAN, 2006).

O DCBD é aplicado ao longo de algumas fases que podem variar, de acordo com diferentes autores. Entretanto, todos destacam a importância da preparação dos dados (CABENA *et al.*, 1997; PYLE, 1999; HAN; KAMBER, 2001). Soibelman *et al.* (2005) ressaltam a importância dessa etapa em bancos de dados de empreendimentos da construção civil, nos quais a aquisição de valores predominantemente manual facilita o aparecimento de problemas, tais como valores faltantes, erros e dados espúrios. Por essa razão, a primeira parte desse capítulo deteve-se na etapa de preparação dos dados, salientando técnicas usualmente associadas ao DCBD.

### 3.2 TIPOS DE DADOS

O formato de organização de uma base de dados em uma tabela independe da técnica de predição ou de classificação selecionada (WEISS; INDURKHAYA, 1998). Nessa representação, as colunas são as variáveis (ou atributos) e os registros (também denominados casos, observações, padrões, exemplos ou objetos) são as linhas horizontais. Além disso, matematicamente esse modelo é equivalente a uma matriz, com um caso representado por um vetor de linha com “n” atributos (como  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , sendo “X” o caso e “ $x_i$ ” (com  $i=1, \dots, n$ ) os atributos) (WEISS; INDURKHAYA, 1998; PYLE, 1999).

As variáveis, de acordo com a forma como caracterizam os casos, podem ser classificadas em dois grandes grupos: **subjetivamente avaliadas** (escalas não métricas, qualitativas) e **objetivamente avaliadas** (escalas métricas, quantitativas) (PYLE, 1999; HAIR *et al.*, 2005). Esses autores dividem as medidas subjetivamente avaliadas entre nominais e ordinais:

- a) nominais (ou categóricas): apenas indicam ao objeto a presença do atributo ou característica sob investigação, como um rótulo com propósitos de identificação. Não existe uma ordem nesse tipo de medida. Como exemplos, podem-se citar o sexo ou a religião de um indivíduo;



- b) ordinais: a ordem nas categorias são utilizadas para rotular as medidas. Isso é garantido pela **transitividade**, que significa que se “A” estiver em uma posição do ranking maior que “B” e esse, por sua vez, maior que “C”, então  $A > C$ . Isso pode ser observado, por exemplo, em diferentes níveis de satisfação de clientes com relação a um determinado produto.

As medidas objetivamente avaliadas, por sua vez, descrevem um caso não apenas pela posse de um atributo, mas também pela quantia ou grau associado, como a idade de um indivíduo (HAIR *et al.*, 2005).

### 3.3 PREPARAÇÃO DOS DADOS

A etapa de preparação dos dados é de grande importância para a qualidade dos resultados posteriores, independente da técnica de análise que está sendo empregada (WEISS; INDURKHYA, 1998). Segundo Pyle (1999), essa fase é uma das mais importantes e mais difíceis, devendo ser a que mais consome tempo. A etapa de preparo dos dados deve ocupar de 60% a 90% do tempo total, contribuindo de 75% a 90% para o sucesso da etapa da análise (CABENA *et al.*, 1997; PYLE, 1999; PYLE, 2003).

Segundo Weiss e Indurkhya (1998), a preparação dos dados tem duas metas principais:

- a) organizar os dados em um formato padrão, apropriado ao processamento para os programas de modelagem;
- b) selecionar as variáveis que podem resultar em um melhor desempenho na modelagem.

A etapa de preparação dos dados é dividida por Cabena *et al.* (1997) em três fases principais: seleção, pré-processamento e normalização dos dados, cada uma delas detalhadas a seguir. Contudo, neste trabalho a etapa de normalização dos dados foi incluída no pré-processamento, seguindo a classificação de Han e Kamber (2001).

#### 3.3.1 Seleção dos Dados

A seleção dos dados tem como objetivo identificar as fontes disponíveis com os valores de interesse e organizar os registros para as análises preliminares (CABENA *et al.*, 1997). A

disposição dos dados, a definição das metas a serem alcançadas e a composição das variáveis é feita de acordo com a necessidade do pesquisador (WEISS; INDURKHYA, 1998).

### 3.3.2 Pré-processamento dos Dados

A fase de pré-processamento de dados é indicada como a mais trabalhosa, visto que os valores tendem a ser incompletos, com a presença de resultados espúrios e inconsistentes (CABENA *et al.*, 1997; HAN; KAMBER, 2001). Para Han e Kamber (2001), essa etapa é composta pelas fases de limpeza, integração dos dados, normalização e reduções na base.

#### 3.3.2.1 Limpeza dos dados

Essa etapa tem como objetivo avaliar o impacto dos dados faltantes e identificar os dados espúrios, indicando algumas correções para essas ocorrências (HAN; KAMBER, 2001).

##### 3.3.2.1.1 Dados Faltantes

Para Hair *et al.* (2005), a primeira preocupação do pesquisador é tentar compreender os processos que conduzem aos dados faltantes para selecionar o curso de ação apropriado. Segundo Cabena *et al.* (1997), os valores não registrados podem acontecer por diversos motivos, como: erro humano, a informação não disponível no ingresso dos dados ou a existência de valores descontraídos quando originados de fontes diferentes.

Contudo, para Hair *et al.* (2005), os efeitos dos dados faltantes somente podem ser amenizados se os mesmos acontecerem segundo um padrão aleatório. Nessas condições, Pyle (1999) ressalta que esses valores devem ser completados com extremo cuidado para não alterar os padrões existentes nos dados, evitando a inserção de valores espúrios que acabem prejudicando a amostra.

As técnicas para lidar com esses dados faltantes são as mais variadas. Uma das mais comuns é o uso apenas dos casos com todos os valores completos, sendo o padrão em diversos *softwares* estatísticos (HAIR *et al.*, 2005). Para esses autores, esse método deve ser utilizado apenas quando for constatada a aleatoriedade dos valores faltantes para não apresentar resultados tendenciosos. Em muitos casos, a amostra pode ser reduzida drasticamente. Por isso, essa abordagem é mais apropriada quando existirem poucos dados faltantes e a amostra for suficientemente grande para permitir essa eliminação, com as relações dos dados tão bem

estabelecidas que acabem não sendo influenciadas pelos valores incompletos (HAIR *et al.*, 2005).

Outra opção é a eliminação de uma das variáveis quando a mesma possuir uma grande quantidade de valores faltantes. Contudo, as conseqüências dessa decisão podem ser bastante sérias, principalmente se a variável for relevante para a análise (CABENA *et al.*, 1997; HAIR *et al.*, 2005).

O método de atribuição (ou seja, a estimação de valores a partir dos dados existentes) é outro método bastante utilizado (HAIR *et al.*, 2005). Em variáveis quantitativas, esses dados podem ser completados pela média dos valores válidos na mesma categoria (CABENA *et al.*, 1997; WEISS; INDURKHYA, 1998; HAIR *et al.*, 2005). Contudo, de acordo com Hair *et al.* (2005) este método apresenta algumas desvantagens: (a) as estimativas de variância derivadas das fórmulas usuais são invalidadas, por subestimar a verdadeira variância dos dados; (b) a distribuição fica distorcida; e (c) o método comprime a correlação observada, porque os valores perdidos adquirem um valor constante.

Para os valores quantitativos, um outro método de atribuição disponível é estimar o valor faltante com uma análise de regressão a partir das demais variáveis (CABENA *et al.*, 1997; PYLE, 1999; HAIR *et al.*, 2005). Para Hair *et al.* (2005) as desvantagens deste método são: (a) reforçar relações já existentes nos dados; (b) a variância da distribuição é subestimada e (c) o método pressupõe que a variável com dados perdidos possui relações substanciais com outras variáveis (nesse caso, se a relação não for significativa, a substituição pela média é preferível).

Para as variáveis categóricas, os valores faltantes podem ser completados pelo valor da moda. Outra opção é criar um novo valor - como o número 9 em uma escala Lickert de 1 a 5, para representar os valores incompletos - como forma de categorizar esses valores (CABENA *et al.*, 1997).

#### 3.3.2.1.2 *Dados Espúrios*

Os dados espúrios são aqueles valores que estão fora do comportamento esperado para o conjunto de variáveis considerado (CABENA *et al.*, 1997; PYLE, 1999; HAIR *et al.*, 2005). Contudo, isso não indica, necessariamente, que estes valores são indesejados. Eles podem

caracterizar, por exemplo, particularidades da população que não são descobertas no curso normal da análise (CABENA *et al.*, 1997; HAIR *et al.*, 2005). Os casos problemáticos, por sua vez, não são representativos da população e são contrários aos objetivos da análise, podendo distorcer significativamente os testes estatísticos (HAIR *et al.*, 2005). Nesses casos, estes valores devem ser excluídos ou retificados com as técnicas disponíveis para o tratamento de dados faltantes (ver item 3.3.2.1.1) (HAIR *et al.*, 2005).

Hair *et al.* (2005) classificam os dados espúrios em quatro grupos:

- a) erros procedimentais: podem ser erros na entrada de dados ou falhas de codificação. Devem ser eliminados ou tratados como dados faltantes;
- b) evento extraordinário com explicação: o pesquisador deverá decidir se o mesmo será mantido para a análise, de acordo com o seu conhecimento;
- c) evento extraordinário sem explicação: geralmente os dados são excluídos, sendo mantidos apenas se o pesquisador se interessar pelo conhecimento potencial que representam;
- d) casos aparentemente válidos: os valores estão dentro da faixa de variação dos atributos, mas a análise multivariada indica combinações inválidas. Assim, essas observações devem ser mantidas, contribuindo com a generalização do resultado.

Para a identificação dos valores espúrios, Hair *et al.* (2005) sugerem o uso de técnicas univariadas, bivariadas e multivariadas. Os autores ressaltam ainda que, uma vez identificados estes valores, os mesmos devem ser classificados em uma das quatro categorias anteriormente descritas. Posteriormente, o pesquisador deve decidir quais desses dados serão utilizados para a análise. Por essa razão, os registros identificados devem ser prioritariamente mantidos, a menos que existam provas concretas de que não são representativas de quaisquer observações da população (HAIR *et al.*, 2005).

Para a detecção univariada de dados espúrios quantitativos, Hair *et al.* (2005) sugerem identificar os casos com resíduos padronizados superiores a 2,5 desvios-padrão, resultantes de uma análise de regressão em amostras com menos de 80 observações. Essa medida é obtida da divisão do erro pelo seu respectivo desvio padrão. Em amostras maiores, podem ser assinaladas as observações com resíduos padronizados superiores a 3 ou 4 desvios-padrão.

O gráfico de caixas (*boxplot*) é uma análise gráfica que também pode auxiliar na identificação univariada dos valores espúrios (CABENA *et al.*, 1997; HAIR *et al.*, 2005). O mesmo

consiste em uma representação visual da distribuição de dados para as diversas variáveis, como o exemplo da figura 8. Nela, percebe-se que a “Variável B” possui valores maiores e mais amplamente distribuídos. Quanto à interpretação, o comprimento dessa caixa é a distância entre o primeiro quartil (Q1) e o terceiro quartil (Q3), representando o intervalo interquartil (IIQ) (CABENA *et al.*, 1997; HAIR *et al.*, 2005). As linhas que se estendem externamente representam as distâncias do máximo e do mínimo aos respectivos quartis. Quando existirem valores com distância superior a 1,5 do IIQ, contado a partir do Q1 ou Q3, podem sugerir a presença de dados espúrios (HAN; KAMBER, 2001).

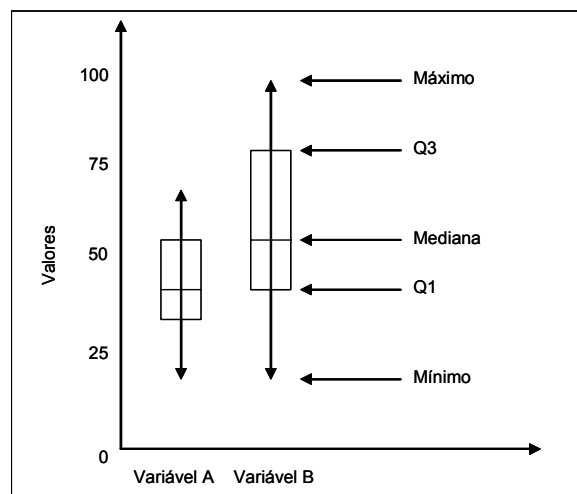


Figura 8: gráfico de caixas [adaptado de Cabena *et al.* (1997)]

Na detecção bivariada, os pares de variáveis podem ser avaliados em diagramas de dispersão. Para facilitar a análise, uma elipse que representa um intervalo de confiança (podendo variar de 50% a 90% da distribuição) pode ser sobreposta ao diagrama de dispersão, facilitando a identificação dos valores espúrios (HAIR *et al.*, 2005).

Para a identificação de dados espúrios com ferramentas multivariadas, Hair *et al.* (2005) sugerem ferramentas que utilizem a posição multidimensional - já que, na maioria das vezes, é utilizado mais do que duas variáveis - de cada observação a um ponto comum, como o que ocorre na medida  $D^2$  de Mahalanobis.

### 3.3.2.2 Integração dos dados

Os dados, quando têm origem em diversas fontes, precisam ser consolidados em uma base única para permitir as análises. Inicialmente, deve-se certificar que os valores coletados se refiram a uma mesma variável (HAN; KAMBER, 2001).

Na etapa de integração dos dados, Han e Kamber (2001) também ressaltam a importância da análise da redundância entre as variáveis. A mesma pode ser detectada, entre dois atributos, com uma análise de correlação. Assim, se esse valor estiver próximo de 1, uma dessas variáveis pode ser retirada (HAN; KAMBER, 2001). Para Hair *et al.* (2005) a avaliação de redundância é bastante importante em uma verificação preliminar à análise de regressão, identificando a relação entre duas (colinearidade) ou mais (multicolinearidade) variáveis independentes.

### 3.3.2.3 Normalização dos dados

Os valores dispostos na base de dados, muitas vezes, precisam passar por uma normalização como forma de garantir melhores resultados de acordo com a técnica utilizada. Como exemplo, Cabena *et al.* (1997) citam que muitos algoritmos para Redes Neurais Artificiais somente aceitam valores entre 0,0 e 1,0 ou de -1,0 a 1,0. Weiss e Indurkha (1998) também sugerem que dados não normalizados, em algumas análises de conglomerados, acabam atribuindo um peso desigual aos maiores valores numéricos, distorcendo a análise.

Entre os diversos métodos de transformação existentes, serão apresentados três deles, que foram os mais frequentemente citados na literatura pesquisada de DCBD: normalização máximo-mínimo, normalização com o desvio padrão e normalização com escala decimal (WEISS; INDURKHYA, 1998; PYLE, 1999; HAN; KAMBER, 2001).

#### 3.3.2.3.1 Normalização máximo-mínimo

Consiste em uma transformação linear dos dados originais a partir do valor máximo e mínimo de uma variável, conforme a equação seguinte (PYLE, 1999; HAN; KAMBER, 2001):

$$v' = \frac{v - \min_A}{\max_A - \min_A} \cdot (\text{novo\_max}_A - \text{novo\_min}_A) + \text{novo\_min}_A \quad (1)$$

Nesta equação, “ $v$ ” é o valor normalizado, “ $v$ ” é o valor original e os valores  $\min_A$  e  $\max_A$  são os valores de mínimo e de máximo para o atributo “A”. Na normalização,  $\text{nov}_\text{min}_A$  e  $\text{nov}_\text{max}_A$  podem ser, por exemplo, 0 e 1, caso se queira que os resultados fiquem entre esses valores (HAN; KAMBER, 2001).

#### 3.3.2.3.2 Normalização com o desvio padrão

Esta normalização ocorre a partir dos valores da média e do desvio padrão de uma variável, conforme a equação seguinte (HAN; KAMBER, 2001):

$$v' = \frac{v - \bar{A}}{\sigma_a} \quad (2)$$

Nesta equação, “ $v$ ” é o valor normalizado e “ $v$ ” é o valor original e, para o atributo “A”,  $\bar{A}$  é a média e  $\sigma_a$  é o seu respectivo desvio padrão. Este método é preferencial para as análises de conglomerados (WEISS; INDURKHYA, 1998). Han e Kamber (2001) sugerem, ainda, que os parâmetros sejam salvos para permitir uma normalização uniforme a partir de novos dados (HAN; KAMBER, 2001).

#### 3.3.2.3.3 Normalização com escala decimal

Esta transformação ocorre pela movimentação do ponto decimal de uma variável, levando em consideração o valor absoluto máximo. Por exemplo, se a distribuição dos dados varia de -986 para 917, utiliza-se  $n=3$  e os valores resultantes são -0,986 e 0,917.

Na equação 3, “ $v$ ” é o valor normalizado, “ $v$ ” é o valor original e “ $n$ ” é o número natural a que a potência 10 deve ser elevada para que “ $v$ ” fique entre “0” e “1” (HAN; KAMBER, 2001):

$$v' = \frac{v}{10^n} \quad (3)$$

#### 3.3.2.4 Reduções na base

Em algumas situações, o número de variáveis é tão grande que a remoção dos atributos menos significativos facilita a compreensão dos resultados (HAN; KAMBER, 2001). Quanto ao número de casos, uma das técnicas que podem ser utilizadas para esta redução é a

amostragem. O tipo de amostragem também varia, podendo ser simplesmente aleatória sem reposição ou simplesmente aleatória com reposição, que ocorre quando o caso extraído da base é devolvido ao conjunto do qual pode ser novamente coletado (HAN; KAMBER, 2001). Vale ressaltar que essas reduções são importantes para grandes bases de dados, nas quais o elevado tempo de processamento pode ser um problema (HAN; KAMBER, 2001).

### 3.4 TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO E DE PREDIÇÃO

Técnicas de **classificação** e de **predição** são duas formas de análises utilizadas para a obtenção de modelos que predizem, respectivamente, variáveis qualitativas e quantitativas, a partir de um banco de dados (HAN; KAMBER, 2001).

Segundo Han e Kamber (2001), entre as técnicas de **classificação** dos dados, o atributo de categorização pode ou não ser fornecido. Quando não é fornecido, há uma aprendizagem não supervisionada do algoritmo, como o que ocorre na análise de conglomerados. No outro extremo, há uma variável meta, um atributo a ser explicado ou que sirva de base para a classificação. Esse aprendizado pode ocorrer em uma amostra aleatoriamente selecionada do conjunto total dos valores, denominada de amostra de treino, a partir da qual o modelo é gerado. Para Han e Kamber (2001), a precisão desse resultado pode ser avaliada através dos elementos corretamente classificados, em uma amostra de teste obtida a partir dos casos que não foram considerados para a construção do modelo. Se a taxa de erros for baixa, o modelo resultante pode ser utilizado para exemplos futuros em que se desconhece a classificação (HAN; KAMBER, 2001).

Como exemplo, pode-se citar a análise do crédito de clientes entre “aprovado” ou “reprovado” a partir de regras extraídas de uma árvore de decisão obtida com 80% dos registros de um banco de dados. Nesse caso, os 20% dos casos restantes são utilizados para a amostra de teste, com o intuito de avaliar a eficácia do resultado. Dessa forma, se o modelo gerado for satisfatório (com uma reduzida taxa de erro na amostra de teste), podem-se coletar os dados do cadastro de um novo cliente e decidir-se pela aprovação ou não de seu crédito.

Para a **predição** de valores, a técnica mais conhecida para a construção dos modelos é a regressão. Essa, por sua vez, pode ser linear ou polinomial (GUAJARATI, 2000; HAN; KAMBER, 2001).



Na descrição das técnicas de classificação e de predição das seções 3.4.1 e 3.4.2 restringiu-se àquelas foram utilizadas nesta dissertação para a análise do banco de dados formado a partir de variáveis coletadas do processo de planejamento e controle da produção.

### 3.4.1 Técnicas de Classificação

#### 3.4.1.1 Análise de Conglomerados

A formação de conglomerados é o processo de agrupar os casos que possuem uma grande semelhança entre si e diferenças significativas quando comparados aos demais grupos (HAN; KAMBER, 2001). Dessa forma, a idéia é maximizar a homogeneidade de objetos dentro de grupos enquanto se maximiza a heterogeneidade entre os conglomerados (HAIR *et al.*, 2005). As duas principais formas de análise dessa técnica são os procedimentos hierárquicos e os não hierárquicos (HAIR *et al.*, 2005).

Entre os procedimentos hierárquicos, destacam-se dois tipos: aglomerativos (ou construtivos) e divisivos (HAIR *et al.*, 2005). Nos primeiros, cada objeto começa com seu próprio agrupamento e sucessivamente são combinados com outros conglomerados próximos resultando em um novo agregado até a classificação definitiva. Quando esse processo segue em direção oposta é denominado de método divisivo. Nessa situação, inicia-se com um grande agregado com todos os casos e, sucessivamente, as observações mais distintas são separadas e transformadas em agrupamentos menores (HAIR *et al.*, 2005).

Nos métodos não hierárquicos, os “n” casos do banco de dados são divididos em “k” partes (sendo k um parâmetro fornecido pelo usuário), com cada uma delas representando um conglomerado e sendo  $k \leq n$  (HAN; KAMBER, 2001). Esses conglomerados devem satisfazer os seguintes requisitos: (a) cada grupo deve conter, no mínimo, um caso; e (b) um caso pertence somente a um grupo (HAN; KAMBER, 2001). Esse processo inicialmente seleciona uma semente de agrupamento como centro inicial de um conglomerado e todos os seus casos dentro de uma distância de referência pré-especificada (HAIR *et al.*, 2005). Em seguida, uma outra semente de agrupamento é escolhida e assim sucessivamente, até que todos os casos sejam selecionados. Estes, por sua vez, podem ser reclassificados se estiverem mais próximos de outro agregado comparado ao que estão originalmente associados (HAIR *et al.*, 2005). As aplicações mais conhecidas desses métodos são: o algoritmo *k-means*, em que cada

conglomerado é representado pelo valor médio dos objetos do segmento e o algoritmo *k-medoids*, em que o conglomerado é representado pelo objeto mais próximo do centro do agrupamento (HAN; KAMBER, 2001).

### 3.4.1.2 Árvores de Decisão

A árvore de decisão é um método de classificação que recursivamente particiona a amostra de treino até que cada uma dessas partes seja composta inteiramente ou prioritariamente pelos casos de uma mesma classe (SHAFER *et al.*, 1996). Nessa representação gráfica, cada nó interno é o teste de uma variável, seus respectivos ramos são os valores possíveis e, no extremo, as folhas são as classes (HAN; KAMBER, 2001; RUSSELL; NORVIG, 2004). Esses elementos estão representados na figura 9.

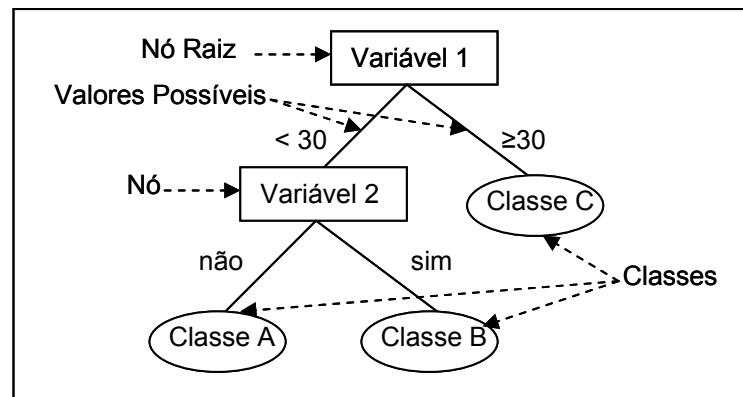


Figura 9: elementos constituintes de uma árvore de decisão

O resultado gráfico da árvore de decisão também facilita a extração de regras de classificação na forma “se...então...”, seguindo o caminho do nó raiz até a classe correspondente. Na figura 9, para a classe A, por exemplo, pode-se enunciar a seguinte regra: SE Variável 1 < 30 E Variável 2 = não ENTÃO Classe = A. Regras “se...então...” são mais fáceis de serem compreendidas, especialmente quando a árvore de decisão for muito grande (HAN; KAMBER, 2001).

As primeiras idéias para a construção da árvore de decisão são provenientes do final da década de 50, por Hoveland e Hunt, com os experimentos de aprendizagem por indução (QUILAN, 1993). Para este autor, pode-se aplicar essa ferramenta em uma amostra de treino T com as classes  $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$  segundo três possibilidades:

- a) T contém um ou mais casos, todos de uma única classe  $c_j$ : a árvore de decisão para T é uma folha que identifica esta classe;
- b) T não contém casos: a árvore de decisão é uma folha, mas as classes a serem associadas com ela devem ser determinadas por informações que não estejam em T. Por exemplo, o algoritmo C4.5 utiliza a classe mais freqüente dos ramos-pais deste nó;
- c) T contém casos que incluem uma mistura de classes: nesta situação, deve-se refinar T em subgrupos de caso que são, ou parecem ser, coleções de caso de uma única classe. Um teste é escolhido baseado em um único atributo, que tenha um ou mais resultados mutuamente exclusivos  $\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ . T é dividido em subgrupos  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ , em que  $T_i$  contém todos os casos em T que tem o resultado  $O_i$  do teste escolhido. A árvore para T consiste em um nó de decisão identificando o teste e um ramo para cada  $O_i$ .

Entre os diversos tipos de algoritmos utilizados para facilitar a construção de árvores de decisão, destaca-se o C4.5 (SOIBELMAN *et al.*, 2005). Este, atualmente, é um dos mais comumente utilizados para a mineração dos dados e encontra-se disponível em diversos produtos comerciais (SOIBELMAN *et al.*, 2005). Sua facilidade de interpretação, seus métodos para lidar com atributos numéricos, valores faltantes e dados espúrios fazem dessa ferramenta uma boa opção para a classificação (QUINLAN, 1993; SOIBELMAN *et al.*, 2005).

Quanto ao formato da entrada dos dados, quando se tratam de variáveis na escala métrica há um conjunto infinito de valores possíveis. Por essa razão, os algoritmos de aprendizagem encontram o ponto de divisão que fornece o maior ganho de informações, como forma de reduzir o número de ramificações (RUSSELL; NORVIG, 2004). Contudo, se o objetivo da análise for prever uma variável do tipo métrica, faz-se o uso da ferramenta de árvore de regressão (RUSSELL; NORVIG, 2004). Nesse caso, em cada folha, ao invés de uma classificação discreta com um único valor, é utilizada uma função linear de algum subconjunto de atributos numéricos (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Quanto ao modelo obtido, Russell e Norvig (2004) indicam que a árvore de decisão deve ser a menor possível, o que é considerado o resultado mais simples entre os dados. Portanto, o nó raiz é selecionado, entre o conjunto de atributos disponíveis, como aquele que divide os dados

em grupos mais heterogêneos, que o algoritmo seleciona através da medida do ganho de informação<sup>18</sup> (RUSSELL; NORVIG, 2004).

No modelo resultante, deve-se ter cuidado com a superadaptação, observada quando se encontra uma regularidade sem significado entre os dados (RUSSELL; NORVIG, 2004). Para Han e Kamber (2001) esse problema pode indicar valores espúrios. Um tratamento matemático para esse problema é a “poda” da árvore de decisão, para impedir a divisão recursiva sobre atributos que não são claramente relevantes, até o limite em que o nó da árvore não é uniformemente classificado (RUSSELL; NORVIG, 2004). Para a identificação desse limite, os algoritmos utilizam como informações as medidas do ganho de informação e os testes de significância estatística (HAN; KAMBER, 2001; RUSSELL; NORVIG, 2004).

#### 3.4.1.3 Redes Neurais Artificiais

Haykin (2001) define uma RNA como um processador constituído paralelamente de unidades simples, que têm a propensão para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. De acordo com esse autor, a rede neural possui as seguintes semelhanças com o cérebro humano:

- a) o conhecimento também é adquirido pela RNA no seu ambiente através de um processo de aprendizagem;
- b) as forças de conexões entre os neurônios, denominadas pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.

A RNA aprende através de um ajuste de pesos, que permite a classificação de acordo com os valores de entrada (HAN; KAMBER, 2001). A precisão do modelo é medida pela taxa de erro, definida como o número de casos incorretamente classificados dividido pelo número total de casos na amostra de teste (SOIBELMAN *et al.*, 2005). Para essa ferramenta, o algoritmo de aprendizagem mais utilizado é o *backpropagation* (retropropagação dos erros), proposto na década de 80 (HAN; KAMBER, 2001).

Entre as principais desvantagens da RNA, pode-se citar os longos tempos de treinamento e a necessidade de alguns parâmetros que são melhor determinados empiricamente, como a tipologia da rede (HAN; KAMBER, 2001). As Redes Neurais Artificiais também recebem

---

<sup>18</sup> O método de cálculo do “Ganho de Informação” foge ao escopo dessa dissertação [ver, por exemplo, informações mais detalhadas em Russel e Norvig (2004)].

críticas pela sua pouca possibilidade de interpretação, já que é difícil entender o resultado simbólico dos pesos resultantes (HAN; KAMBER, 2001).

Entre as vantagens da RNA, destacam-se a alta tolerância aos valores discrepantes e a habilidade para prever padrões para os quais não tenha sido treinada (HAN; KAMBER, 2001). Além disso, desenvolveram-se diversos algoritmos para a extração de regras de Redes Neurais Artificiais, facilitando a compreensão de seus resultados (HAN; KAMBER, 2001; HAYKIN, 2001).

### 3.4.2 Análise de Regressão Múltipla

Entre as técnicas de predição, será apresentada apenas a análise de regressão múltipla, uma vez que a mesma foi bastante utilizada na etapa de análise dos dados (capítulo 5).

#### 3.4.2.1 Considerações Iniciais

O modelo resultante da análise de regressão múltipla pode ser entendido como a relação entre uma variável dependente (conhecida também como critério ou regressando) e diversas variáveis independentes (também denominadas preditoras ou regressoras) (GUAJARATI, 2000; HAIR *et al.*, 2005).

Geralmente os atributos da análise são quantitativos. Quando a variável dependente for qualitativa com apenas duas categorias, uma opção é a regressão logística (também conhecida como análise *logit*) (HAIR *et al.*, 2005). Em outra situação, preditoras descritas por escalas não métricas também podem ser utilizados se as mesmas receberem uma codificação dicotômica (HAIR *et al.*, 2005). Segundo esses autores, uma variável com “k” categorias pode ser representada por “k-1” variáveis dicotômicas. As categorias são, então, identificadas pelo número “1”, recebendo “0” nas demais variáveis. Assim, o grupo de referência é aquele que recebe “0” em todas as variáveis (HAIR *et al.*, 2005). Por exemplo, um atributo não métrico com três categorias possíveis é representado por duas variáveis dicotômicas ( $A_1$  e  $A_2$ ), enquanto o terceiro grupo é identificado na categoria de referência.

As aplicações da regressão múltipla são utilizadas com dois objetivos principais, as quais não são mutuamente excludentes: predição e explicação (HAIR *et al.*, 2005). Para esses autores, na predição o pesquisador busca o maior valor possível do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Para a explicação, também é avaliada a importância relativa de cada variável independente na predição da medida dependente (HAIR *et al.*, 2005). Durante esta avaliação, a questão mais problemática é o erro de especificação, com a inclusão de variáveis irrelevantes ou a omissão de preditoras relevantes (HAIR *et al.*, 2005).

#### 3.4.2.2 Estimação do Modelo

O modelo de regressão linear múltipla pode ser generalizado para a seguinte equação (MADDALA, 1977; RAMANATHAN, 1998; SOONG, 2004):

$$Y_i = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_mx_m + e_i, \text{ com } i= 1,2,\dots,n \quad (4)$$

Na equação 4, “ $Y_i$ ” é a variável dependente, “ $b_0$ ” o intercepto da equação, “ $b_1 \dots b_m$ ” os coeficientes de regressão parcial, e “ $e_i$ ” é o erro do termo (ou resíduo) associado a  $i$ -ésima observação (MADDALA, 1977; RAMANATHAN, 1998; SOONG, 2004). Segundo esses autores, os coeficientes “ $b_0 \dots b_m$ ” podem ser estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados, que busca um conjunto de coeficientes que minimize a soma do quadrado dos erros do modelo. Na equação resultante, para que a mesma tenha validade, os pressupostos básicos são:

- a) linearidade dos parâmetros: na forma da equação 4, percebe-se que qualquer não linearidade da relação entre “ $Y$ ” e “ $x$ ” influencia os resíduos (RAMANATHAN, 1998). Uma alternativa para aumentar a relação de linearidade entre a variável dependente e as independentes são as transformações (MADDALA, 1977). Por exemplo, o logaritmo do valor de uma preditora pode ser utilizado ao invés de seu valor original;
- b) variáveis importantes não são omitidas: o aparecimento de algum padrão entre os resíduos pode ser consequência de alguma variável omitida (MADDALA, 1977; RAMANATHAN, 1998). Algumas vezes, as mesmas não são incluídas no modelo porque são difíceis de medir (MADDALA, 1977). Nesses casos, algumas variáveis substitutas podem ser utilizadas para capturar seus efeitos (MADDALA, 1977);
- c) os resíduos são independentes entre si: não deve haver autocorrelação entre os resíduos (MADDALA, 1977);
- d) homocedasticidade dos resíduos: pressupõe-se a variância constante dos resíduos (sem tendência de crescimento ou decréscimo) no intervalo de valores de uma variável independente (HAIR *et al.*, 2005);
- e) os resíduos seguem uma distribuição normal: esse pressuposto é necessário para a validade dos testes de significância (MADDALA, 1977);

- f) os resíduos têm média nula: geralmente, esse pressuposto é garantido com a utilização do intercepto da equação “ $b_0$ ”. Porém, deve ser verificado para evitar tendências nos resíduos (MADDALA, 2003);
- g) não há dependência linear entre variáveis independentes: nenhuma preditora pode ser expressa como uma função linear exata das outras (MADDALA, 2003).

A ruptura de alguns dos pressupostos não impede a utilização da técnica da análise de regressão múltipla, apenas impede ou dificulta a generalização dos resultados (GONZÁLEZ, 2003a). Além disso, há a possibilidade de correção para as violações de alguns desses pressupostos a partir de sua identificação.

A linearidade e a homocedasticidade do modelo resultante podem ser identificadas em uma análise bivariada dos resíduos ( $e_i$ ) contra os valores previstos ( $Y_i$ ) (HAIR *et al.*, 2005). O resultado esperado é o gráfico nulo, exemplificado na figura 10(a), que mostra os resíduos ocorrendo aleatoriamente, com dispersão relativamente igual em torno de zero, e sem fortes tendências para ser maior ou menor do que este valor (MALHOTRA, 2004; HAIR *et al.*, 2005).

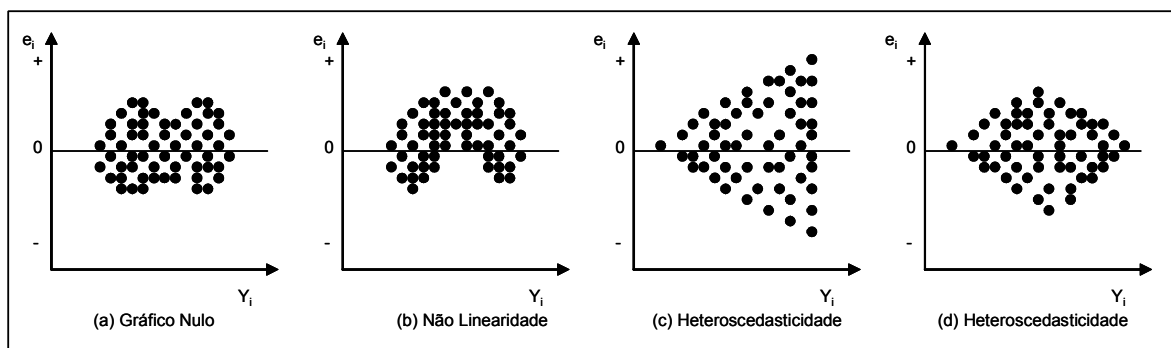


Figura 10: análise bivariada dos resíduos versus valores previstos (HAIR *et al.*, 2005)

O gráfico de dispersão dos resíduos também pode auxiliar na identificação da não linearidade quando se considera a combinação entre o conjunto de preditoras, como pode ser observado na figura 10(b) (HAIR *et al.*, 2005). Contudo, para descobrir a origem da(s) variável(is) com problema(s) é necessária a análise dos gráficos de regressão parcial, nos quais se procura qual é a relação não linear (HAIR *et al.*, 2005). Para esses autores, se for constatada uma violação a essa suposição, uma das alternativas é a transformação dos dados, que é feita sob um

processo de tentativa e erro, verificando as melhorias contra a necessidade de transformações adicionais. Existem diversas transformações possíveis, tais como o logaritmo da variável, a raiz quadrada desse valor ou o seu inverso negativo (HAIR *et al.*, 2005).

A ocorrência de variâncias desiguais (heteroscedasticidade) também pode ser facilmente identificada através de gráficos de resíduos. Para que esses valores sejam diretamente comparáveis, é recomendada a padronização com o resíduo estudantizado, com resultados correspondendo a valores t (HAIR *et al.*, 2005). Assim, o gráfico a ser analisado é formado por essa variável contra os valores dependentes previstos, em que novamente se busca o gráfico nulo (HAIR *et al.*, 2005). Uma vez constatada a heteroscedasticidade, ilustrada na figura 10(c) e na figura 10(d), novamente uma das soluções possíveis são as transformações das variáveis (HAIR *et al.*, 2005).

Para a avaliação da normalidade, pode ser utilizada a verificação visual do histograma de resíduos com a distribuição da normal (HAIR *et al.*, 2001). Segundo esses autores, esse método é menos adequado em amostras pequenas, nas quais a extensão de categorias pode distorcer a análise visual. Nesses casos, pode-se utilizar o gráfico de probabilidade normal, que compara a distribuição normal (reta com inclinação a 45°) com a verdadeira distribuição, conforme ilustra a figura 11 (MALHOTRA, 2004; SOONG, 2004; HAIR *et al.*, 2005).

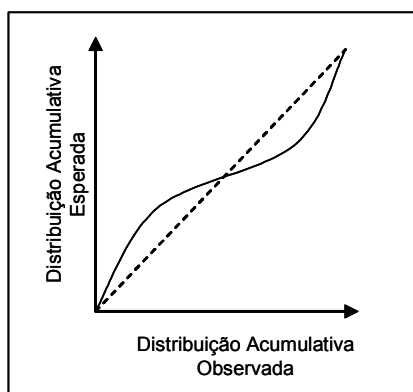


Figura 11: gráfico de probabilidade para a análise dos resíduos

#### 3.4.2.3 Avaliação do Modelo

Segundo Mason e Perreault (1991), a precisão da predição é representada pelo resultado do coeficiente de determinação ( $R^2$ , que significa o percentual da variância explicada com a combinação das variáveis independentes) e pela significância geral do modelo. Além disso, a



razão F (ou teste de variância) é utilizada para testar a hipótese de que a variação explicada pelo modelo é maior do que se utilizasse apenas o valor da média da variável dependente (HAIR *et al.*, 2005). Por exemplo, com  $F=18$  e estatisticamente significativa a um nível de 5% indica que, com a amostra utilizada para estimação, a variação pode ser explicada 18 vezes mais do que quando é usado o valor da média. Além disso, tem pouca probabilidade de ocorrer ao acaso (menos do que 5% das vezes) (GUAJARATI, 2000; HAIR *et al.*, 2005).

À medida que variáveis independentes são acrescentadas ao modelo, a tendência é que o valor de  $R^2$  aumente (GUAJARATI, 2000; HAIR *et al.*, 2005). Por esse motivo, para a comparação entre equações com diferentes números de variáveis, diferentes tamanhos de amostras (ou ambos) utiliza-se o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) (GUAJARATI, 2000; HAIR *et al.*, 2005).

Quanto as variáveis independentes de regressão, para a comparação desses valores em uma mesma equação, são utilizados os coeficientes *beta* ( $\beta$ ) (HAIR *et al.*, 2005). Ao contrário dos coeficientes de regressão (*b*), que são expressos em termos das unidades da variável, os coeficientes *beta* utilizam dados padronizados e, por isso, podem ser comparados diretamente. Contudo, para essa análise devem-se tomar alguns cuidados (HAIR *et al.*, 2005):

- a) ela deve ocorrer somente quando a multicolinearidade é mínima, ou seja, quando uma variável independente é pouco correlacionada com um conjunto de outras preditoras;
- b) os valores somente deverão ser interpretados no intervalo em que os dados amostrais realmente existam.

Ainda para as variáveis independentes, a significância estatística da relação linear entre “ $x_m$ ” e “ $Y$ ” é testada com a hipótese nula ( $H_0$ ) que  $b_m=0$ . O “valor *t*” é então calculado com a equação 5, com o maior valor em módulo indicando a maior importância no conjunto das preditoras para a explicação da variável dependente (MALHOTRA, 2004; GUAJARATI, 2000; LEECH *et al.*, 2005).

$$t_m = \frac{b_m}{EP_m} \quad (5)$$

Nessa equação,  $b_m$  é o coeficiente de regressão parcial da variável “*m*” e  $EP_m$  o erro padrão na estimativa de  $b_m$  (MALHOTRA, 2004; GUAJARATI, 2000; LEECH *et al.*, 2005). Com esse

resultado, a decisão de rejeitar ou não a hipótese nula se baseia no “**valor p**”, que é apresentado pelos *softwares* estatísticos. O valor p (ou seja, valor da probabilidade) também é conhecido como nível de significância observada ou, simplesmente, significância (GUAJARATI, 2000). Assim, pode ser definido como o mais baixo nível de significância com o qual a hipótese nula pode ser rejeitada. Por exemplo, para um valor t com significância de 0,000189 a probabilidade de se cometer um erro rejeitando a hipótese de que  $b_m=0$  é de, aproximadamente, 0,02% (GUAJARATI, 2000).

Por fim, o modelo de regressão gerado deve representar a população geral (generalização) e ser apropriado às situações para os quais será usado (transferibilidade) (HAIR *et al.*, 2005). Pode-se, por exemplo, verificar por meio do  $R^2$  ajustado e dos coeficientes *beta* se o modelo se assemelha a um referencial teórico existente ou a um conjunto de resultados validados previamente sobre o assunto. Quando isso não é possível, um modelo pode ser estimado em uma nova amostra para permitir a comparação entre as variáveis estatísticas resultantes (HAIR *et al.*, 2005). Essa amostra, por sua vez, pode ter origem em valores aleatórios dos casos originais e que não foram utilizados para a estimação do modelo, dispensando um novo esforço de coleta (HAIR *et al.*, 2005).

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

O presente capítulo descreve a estratégia de pesquisa selecionada, o delineamento do trabalho e as etapas do desenvolvimento desse estudo.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa utilizada foi a análise de arquivos, uma vez que este trabalho foi realizado a partir de uma série de variáveis coletadas do processo de planejamento e controle da produção, que foram organizadas em um banco de dados.

Segundo Yin (2005), a análise de arquivos é vantajosa quando se procura descrever a incidência ou predominância de um fenômeno através de análises estatísticas. Vale ressaltar, também, que para este estudo não é exigido controle sobre eventos comportamentais (como acontece em um experimento) e o foco é sobre acontecimentos passados. Essas são outras duas características da estratégia de análise de arquivos indicadas por Yin (2005).

### 4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida nas seguintes etapas (figura 12): (a) revisão bibliográfica; (b) levantamento dos dados; (c) estudo de caso de implementação de uma ferramenta computacional de planejamento e controle da produção; e (d) análise dos dados.

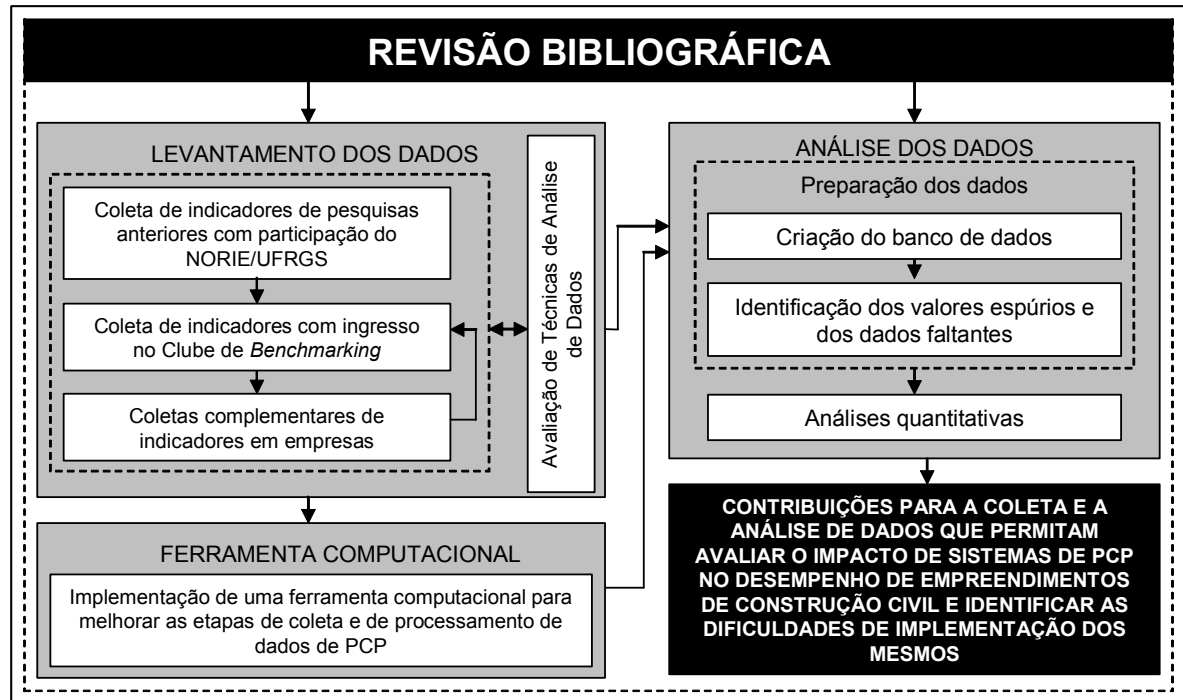


Figura 12: delineamento da pesquisa

A etapa de levantamento dos dados buscou resgatar o maior número possível de indicadores de PCP e de informações de caracterização das obras. Esses registros tiveram origem nas pesquisas anteriores com a participação do NORIE/UFRGS, no banco de dados do Clube de *Benchmarking* (que será descrito na seção 4.3.2) e nas empresas que armazenaram essas medidas. Essa coleta ocorreu ao longo de quatro fases, nas quais variaram a quantidade e a diversidade das medidas coletadas. Enquanto os indicadores eram coletados, os mesmos foram organizados em um banco de dados inicial para a avaliação de técnicas de análise, como a árvore de decisão, redes neurais artificiais e a análise de regressão múltipla.

Durante o levantamento dos dados, percebeu-se que muitas medidas de obras passadas ficavam nos empreendimentos e não eram enviadas na íntegra para a sede da empresa, o que dificultava a obtenção de valores para a inserção na base de dados. No sentido de investigar formas de melhorar a coleta e o processamento dessas medidas, foi realizado um estudo exploratório com uma ferramenta computacional de planejamento e controle da produção em uma das empresas construtoras, cujo sistema de PCP está baseado no modelo desenvolvido pelo NORIE/UFRGS.

A partir das medidas coletadas, teve início a etapa de análise dos dados. Esta começou com uma fase de preparação, na qual os indicadores foram organizados em uma base de dados

única, sendo também tratados os valores espúrios e os dados faltantes. As medidas com o maior número de coletas foram o PPC e as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho e, por essa razão, a maioria das análises foi limitada a esses dois indicadores. Na primeira avaliação, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) para comparar algumas variáveis categóricas (nicho de mercado, sistema de gestão da qualidade certificado, análise de restrições e presença do pesquisador) ao indicador da eficácia do planejamento das obras (representado pelo PPC médio). Como o PPC possui periodicidade de coleta semanal, também foi avaliado o quanto os outros atributos tradicionalmente associados com essa medida (por exemplo, as causas do não cumprimento das tarefas) contribuem para a explicação dessa variável através de uma análise de regressão múltipla.

Por fim, com base nas etapas de preparação e de análise dos dados e, ainda, nas soluções implementadas no Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking*, foi proposto um conjunto de contribuições para a coleta e a análise de dados de PCP.

### 4.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS

A etapa de levantamento dos dados iniciou em setembro de 2004 e finalizou em fevereiro de 2006. O número de obras com suas respectivas medidas de desempenho estão indicados na tabela 7. Durante esse período, identificaram-se quatro fases:

- a) Setembro a dezembro de 2004: nessa primeira fase os indicadores tiveram origem, principalmente, das pesquisas com a participação do NORIE/UFRGS e de um banco de dados com as primeiras medidas de desempenho do Clube de *Benchmarking*. Além disso, também houve a coleta em uma construtora referida nessa dissertação como Empresa A;
- b) Janeiro a março de 2005: como as medidas da fase anterior estavam limitadas ao PPC da obra (calculado pela média do PPC semanal do empreendimento) (tabela 7), buscaram-se outras medidas para realizar uma análise cruzada com esse indicador. A opção com o maior número de registros foi o número total das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, com 51 empreendimentos a partir da contabilização dos novos valores inseridos da Empresa A. Assim, com o PPC da obra e com as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho agrupadas em oito categorias (que serão descritas na seção 4.5.1.1), avaliaram-se duas técnicas de classificação para esse conjunto de obras: a árvore de decisão e a rede neural artificial [detalhes em Bortolazza *et al.* (2005)];

- c) Abril a agosto de 2005: a coleta de indicadores deteve-se novamente na empresa A, que contribuiu para que o número de obras com o registro do total das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho aumentasse para 60. Nessa fase, decidiu-se retirar 25 valores do “PPC da obra” fornecidos pela mesma empresa, por não existirem evidências para as medidas coletadas, tais como planilhas que registravam a evolução do PPC semanal. Dessa forma, permaneceram 90 empreendimentos com o registro dessa medida (tabela 7). Quanto às análises, nessa fase avaliou-se a ferramenta de regressão múltipla para o conjunto de 51 empreendimentos, considerando os registros semanais das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, que totalizavam 750 casos. Assim, buscou-se explicar a variância do PPC semanal, principalmente, a partir das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho;
- d) Setembro de 2005 a fevereiro de 2006: as novas medidas de desempenho dessa fase tiveram origem nos valores ingressados no Sistema de Indicadores *On-line* do clube de *Benchmarking* e em coletas nas empresas. Além dos novos valores da Empresa A, foram obtidos dados referentes ao PPC semanal, às respectivas causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho e ao desvio de prazo semanal de empreendimentos da Empresa B. Na Empresa C, foram obtidos dados referentes ao desvio de prazo, desvio de custo e o avanço físico com periodicidade mensal.

Tabela 7: evolução do número de obras com os respectivos indicadores coletados

	set./2004 a dez./2004	jan./2005 a mar./2005	abr./2005 a ago./2005	set./2005 a fev./ 2006
<b>PPC da obra</b>	115	115	90	141
<b>Número de ocorrência total de problemas em pacotes não concluídos</b>	40	51	60	105
<b>PPC dos empreiteiros</b>	12	12	12	12
<b>PPC semanal</b>	86	86	65	116
<b>Registro semanal das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho</b>	Não contabilizado	Não contabilizado	51	96
<b>Índice de remoção de restrições</b>	5	5	5	5
<b>Percentual de atividades atrasadas, no prazo e adiantadas</b>	3	3	3	3
<b>Desvio de ritmo</b>	3	3	3	3
<b>Percentual de atividades iniciadas no prazo e completadas na duração prevista</b>	3	3	3	3
<b>Desvio de prazo</b>	6	6	6	45
<b>Desvio de custo</b>	2	2	2	10
<b>Avanço físico</b>	0	0	0	8
<b>TOTAL DE OBRAS</b>	<b>115</b>	<b>115</b>	<b>90</b>	<b>141</b>

Além das medidas de desempenho, buscaram-se também informações gerais de caracterização dessas obras, tais como tipo, valor, duração e área para uma análise em conjunto com os indicadores coletados.

Para a caracterização das obras, a principal informação a que se teve acesso foi o tipo de empreendimento. Assim, levando em consideração as semelhanças construtivas e o tamanho mínimo da amostra<sup>19</sup> decidiu-se pela classificação em três nichos de mercado: (a) obras industriais e comerciais para clientes privados; (b) incorporações residenciais ou comerciais e (c) obras de habitação de interesse social. Os demais empreendimentos, que não se enquadravam nos três segmentos de mercado anteriores, foram agrupados em uma quarta categoria, denominada como obras públicas diversas.

Entre os dados mais difíceis de serem obtidos junto às construtoras podem-se citar aqueles que se referem ao controle de custos, que as empresas alegaram não poder divulgar devido a razões estratégicas. Foram coletados poucos dados relativos à duração e à área dos empreendimentos, concentrados nas obras das empresas A e C.

Após esta visão geral da etapa de levantamento dos dados, nos próximos itens são descritos os indicadores que foram coletados segundo a sua origem:

- a) pesquisas anteriores com a participação do NORIE/UFRGS (38,29% das obras);
- b) registros com ingresso no Clube de *Benchmarking* (18,45% das obras);
- c) coletas complementares em construtoras (43,26% das obras).

#### 4.3.1 Coleta de indicadores de pesquisas com a participação do NORIE/UFRGS

As pesquisas com a participação do NORIE/UFRGS foram divididas em dois grupos. No primeiro deles, os dados tiveram origem em dissertações e teses. No outro, os registros foram obtidos de um projeto que teve o apoio do GEC do NORIE/UFRGS.

##### 4.3.1.1 Dissertações / Teses

O conjunto de dissertações e teses do NORIE/UFRGS nas quais se coletaram indicadores está apresentado na tabela 8. Cabe observar, ainda, que as medidas de desempenho de cinco empreendimentos descritos nas dissertações de Codinhoto (2003), Trescastro (2005) e Soares (2003) foram obtidos diretamente em relatórios de pesquisa disponíveis no NORIE/UFRGS. Nestes casos, as informações estavam mais detalhadas quando comparado àquelas registradas

---

<sup>19</sup> Nas análises estatísticas, o tamanho mínimo da amostra para que a aproximação de uma curva normal seja precisa é de 30 elementos (DOWNING; CLARK, 2005).

nas dissertações, todas com os valores do PPC semanal e das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho. Nos trabalhos de Codinhoto (2003) e Soares (2003) havia também o registro de quatro empreendimentos com a coleta do Índice de Remoção de Restrições (IRR).

Tabela 8: dissertações e teses utilizadas como fontes de evidência

Informações Gerais				Indicadores Coletados								
Fonte	Dissertação / Tese	Tipo	Número de Obras	PPC médio da obra	Número de ocorrência total de problemas em pacotes não concluídos	PPC dos empreiteiros	PPC semanal	Registro semanal das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho	IRR	Percentual de atividades atrasadas, no prazo e adiantadas	Desvio de ritmo	Percentual de atividades iniciadas no prazo e percentual de atividades completadas na duração prevista
Carvalho (1998)	Dissertação	Incorporação residencial	1	X								
Oliveira (1999)	Dissertação	Incorporação residencial	3	X	X	X				X	X	X
Bernardes (2001)	Tese	Incorporação residencial	17	X								
		Obra comercial para cliente privado	1	X								
Codinhoto (2003)	Dissertação	Obra industrial para cliente privado	3				X	X	X			
Krawczyk F. (2003)	Dissertação	Incorporação residencial	1	X	X							
Soares (2003)	Dissertação	Obra industrial para cliente privado	1				X	X	X			
			3	X								
Gutheil (2004)	Dissertação	Obra comercial para cliente privado	1	X	X							
			7	X								
Trescastro (2005)	Dissertação	Obra industrial para cliente privado	1				X	X				

Em linhas gerais, esses estudos acadêmicos iniciaram a implementação do PCP a partir do plano de curto prazo, com a rotinização da reunião semanal para a discussão do que deve ser executado no nível operacional e para avaliar as causas do não cumprimento das tarefas do planejamento anterior. A etapa seguinte de implementação compreende o plano de médio prazo (com a identificação e atuação nas restrições) e o plano de longo prazo. A tabela 8 também indicou estudos que ocorreram após a implementação desses três níveis hierárquicos, como a proposição de diretrizes para manter e aperfeiçoar o processo de PCP (SOARES, 2003) e de estudos para a melhoria do processo de desenvolvimento do produto (CODINHOTO, 2003; TRESCASTRO, 2005).



#### 4.3.1.2 Resultados do Projeto Qualcon

Uma outra fonte importante de dados foram os estudos realizados pela Rede Baiana de Qualidade e Produtividade na Construção Civil (Qualcon). Esta rede foi criada em 2002, sob coordenação do SENAI/BA<sup>20</sup>, contando com a participação da UFBA<sup>21</sup>, UCSal<sup>22</sup>, UEFS<sup>23</sup>, SUCAB<sup>24</sup> e SINDUSCON/BA<sup>25</sup>, sendo a mesma financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa na Bahia (FAPESB) (BULHÕES, 2004). Esse projeto tinha como objetivo capacitar a gestão da produção em construtoras que integram programas para a melhoria da qualidade e da produtividade (BULHÕES 2004). O NORIE/UFRGS participou deste projeto, dando apoio técnico à referida rede.

Este programa contou com a participação de quinze empresas do Estado da Bahia, as quais tinham obras em sete municípios diferentes desse estado e uma no estado do Sergipe. Cada uma das construtoras implementou o modelo de PCP em, pelo menos, uma de suas obras. O programa foi realizado em dois grupos. No primeiro deles, a implementação ocorreu entre os meses de janeiro e setembro de 2002 e no segundo entre os meses de abril e agosto de 2003 (BULHÕES, 2004).

A implementação do modelo de PCP nas empresas foi apoiada por um curso com quatro módulos, com duração de oito horas cada um, conforme explicado por Bulhões (2004). No primeiro módulo abordou-se aspectos conceituais do planejamento e controle da produção e da aplicação do planejamento de curto prazo. Houve o acompanhamento de pesquisadores em algumas reuniões das empresas e os estagiários do projeto auxiliaram nas atividades complementares de coleta e de processamento dos dados. Esse mesmo acompanhamento foi mantido no segundo módulo, no qual foram incluídas a análise de restrições e a gestão de suprimentos para a fase de planejamento de médio prazo. O módulo três focou-se na inserção do controle de custos ao sistema de PCP da empresa e no uso dos indicadores de desempenho. Por fim, no módulo quatro foram abordados aspectos do meio ambiente e de segurança do trabalho.

---

<sup>20</sup> Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do estado da Bahia

<sup>21</sup> Universidade Federal da Bahia

<sup>22</sup> Universidade Católica do Salvador

<sup>23</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana

<sup>24</sup> Superintendência de Construções Administrativas da Bahia

<sup>25</sup> Sindicato da Indústria da Construção Civil do estado da Bahia

As medidas de desempenho que foram obtidas desse projeto estavam registradas em arquivos de planilha eletrônica e estão descritas nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9: obras da primeira fase do projeto Qualcon (janeiro a setembro de 2002)

Informações Gerais		Indicadores Coletados							
Obra	Tipo	PPC médio da obra	Número de ocorrência total de problemas em pacotes não concluídos	PPC dos empreiteiros	PPC Semanal	Registro semanal das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho	Índice de remoção de restrições	Desvio de Prazo	Desvio de Custo
Q1	Incorporação residencial	X	X	X					
Q2	Incorporação residencial			X	X	X			
Q3	Obra industrial para cliente privado			X	X	X			
Q4	Incorporação residencial	X	X	X					
Q5	Obra industrial para cliente privado	X	X	X			X		
Q6	Obra industrial para cliente privado			X	X	X			
Q7	Obra industrial para cliente privado	X							
Q8	Incorporação residencial				X	X			
Q9	Obra Pública (infra-estrutura)			X	X	X			

Tabela 10: obras da segunda fase do projeto Qualcon (abril a agosto de 2002)

Informações Gerais		Indicadores Coletados							
Obra	Tipo	PPC médio da obra	Número de ocorrência total de problemas em pacotes não concluídos	PPC dos empreiteiros	PPC Semanal	Registro semanal das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho	Índice de remoção de restrições	Desvio de Prazo	Desvio de Custo
Q10	Obra Pública (edificação)			X	X	X			
Q11	Incorporação residencial	X							
Q12	Incorporação residencial	X							
Q13	Obra industrial para cliente privado				X	X			
Q14	Obra Pública (infra-estrutura)				X	X			
Q15	Incorporação residencial	X	X	X					

### 4.3.2 Coleta de indicadores com ingresso no Clube de *Benchmarking*

#### 4.3.2.1 Banco de Dados inicial com indicadores de PCP do NORIE/UFRGS

Alguns indicadores de PCP dos estudos do NORIE/UFRGS tinham sido organizados em um banco de dados de um arquivo no Microsoft Access (tipo “mdb”). Essa foi a primeira iniciativa de consolidação de medidas de desempenho de diversos empreendimentos em uma base única para análises posteriores. Esses valores tiveram origem, em grande parte, nos estudos realizados nas dissertações de Schramm (2004), Andrade (2005) e os primeiros estudos de caso de Trescastro (2005) (tabela 11). Atualmente, esses registros já estão inseridos no banco de dados do Clube de *Benchmarking*.

Tabela 11: obras do banco de dados inicial do Clube de *Benchmarking*

Informações Gerais		Indicadores Coletados							
Obra	Tipo	PPC médio da obra	Número de ocorrência total de problemas em pacotes não concluídos	PPC dos empreiteiros	PPC Semanal	Registro semanal das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho	Índice de remoção de restrições	Desvio de Prazo	Desvio de Custo
A1	Obras de Habitação de Interesse Social				X	X		X	
A2					X	X			
A3					X	X			
A4					X	X		X	
A5					X	X		X	
A6					X	X		X	
A7					X	X		X	
A8					X	X		X	X
A9					X	X			
A10					X	X			
A11					X	X			
A12					X	X			
A13					X	X			X
A14					X	X			
A15					X	X			
A16					X	X			
A17					X	X			
A18	Obra Industrial para Cliente Privado				X	X			
A19					X	X			
A20					X	X			

#### 4.3.2.2 Indicadores com ingresso no Sistema de Indicadores *On-line* no Clube de *Benchmarking*

A formação do Clube de *Benchmarking* é um dos principais resultados do projeto SISIND-NET. A definição dos indicadores coletados, a formação desse grupo e, por fim, os detalhes da plataforma *web* que apoiou diretamente a coleta de valores estão relatados abaixo. Esta seção descreve os indicadores inseridos no banco de dados e também as soluções adotadas no Sistema de Indicadores *On-line* que contribuiriam com o objetivo dessa dissertação.

O NORIE vem desenvolvendo, desde 1993, trabalhos com o objetivo de disseminar conceitos, princípios e práticas de medição de desempenho através do desenvolvimento de um Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil (SISIND). A partir de setembro de 2003, o NORIE/UFRGS iniciou um novo projeto, denominado SISIND-NET, que visa à implementação de um sistema de indicadores para *benchmarking* na indústria da construção com a utilização de instrumentos da tecnologia da informação, principalmente aquelas vinculadas ao uso da Internet.

Para a definição do conjunto de indicadores a serem coletados para o SISIND-NET utilizou-se, inicialmente, um questionário para identificar as medidas empregadas pelas empresas. Paralelamente, pesquisaram-se os indicadores empregados em trabalhos anteriores no NORIE/UFRGS (OLIVEIRA *et al.*, 1995; LANTELME *et al.*, 2001; COSTA, 2003) e em sistemas internacionais para medição de *benchmarking* (KPI, 2000; CII, 2001; CDT, 2002).

Na seleção dessas medidas de desempenho, também se utilizaram como critérios a abrangência do indicador (que deve ser simples e comum o suficiente para que possam ser aplicados a diferentes contextos) e a necessidade de uma combinação de medidas de resultado e operacionais (LIMA, 2005).

A apresentação inicial desse conjunto de indicadores a serem coletados ocorreu em um *workshop* realizado no dia 15 de abril de 2004. A partir deste evento, firmou-se uma parceria entre o SINDUSCON-RS<sup>26</sup>, o IGEC<sup>27</sup> e o NORIE / UFRGS com um grupo de 18 construtoras. Ao longo de 7 reuniões foram definidos os indicadores e a viabilidade dessas medidas foi avaliada em implementações piloto pelas próprias empresas. Após a definição destes indicadores, foi organizado um treinamento conduzido por representantes das empresas

---

<sup>26</sup> Sindicato da Indústria da Construção Civil do estado do Rio Grande do Sul

<sup>27</sup> Instituto Gaúcho de Estudos da Indústria da Construção Civil

construtoras, apresentando os procedimentos de coleta e de análise. Nessa etapa, foi entregue a primeira versão do “Guia de Procedimentos de Indicadores para *Benchmarking*”, em que os procedimentos para a coleta dos indicadores estão detalhados. Estes procedimentos estão atualizados e revisados no Manual de Indicadores (COSTA *et al.*, 2005). Na última reunião do ano de 2004 houve a divulgação dos primeiros resultados com a contabilização dos valores de referência. O autor iniciou sua participação nesse projeto a partir da sétima reunião de discussão dos indicadores.

Os valores de referência foram contabilizados a partir dos indicadores enviados ao NORIE/UFRGS por meio de *e-mails*, em arquivos padronizados pelo Clube de *Benchmarking*. Nessa etapa, as atividades do pesquisador foram de contabilização de algumas medidas de desempenho de produção, como o PPC e o desvio de prazo.

No ano de 2005, além da organização dos encontros mensais, a equipe do projeto SISIND-NET desenvolveu outras atividades em paralelo:

- a) desenvolvimento de um plano individual de apoio às empresas participantes que estavam enfrentando dificuldades na implementação;
- b) definições da plataforma *web* para o ingresso dos indicadores.

O plano individual de apoio para as empresas tinha como objetivo auxiliar a construtora e suas respectivas obras na implementação de indicadores para *benchmarking* na sua rotina organizacional, incentivando o uso dessas informações e práticas para a tomada de decisões e criação do conhecimento. Essa etapa iniciou com um plano de implementação das medidas de desempenho, de acordo com as metas e com as necessidades da empresa. Baseados nessas expectativas, os pesquisadores do projeto SISIND-NET auxiliaram, através de reuniões, com informações para treinamento, coleta, armazenamento e análise dos dados. Nessa etapa, o autor trabalhou diretamente com uma dessas empresas, em que participava da reunião de discussão dos indicadores coletados. Nessas ocasiões, também avaliava os valores enviados ao Clube de *Benchmarking*. As eventuais discrepâncias nas fórmulas utilizadas eram revisadas, assim como era avaliado se os critérios de medida estavam coerentes com a referência do “Guia de Procedimentos de Indicadores para *Benchmarking*”.

Quanto à plataforma *web* para o ingresso dos indicadores, a mesma foi desenvolvida por profissionais terceirizados, a partir de necessidades apresentadas em reuniões periódicas com

os pesquisadores do projeto SISIND-NET. Os primeiros testes com a inserção dos valores antigos e a conferência dos resultados gráficos gerados também foram de responsabilidade dos pesquisadores. A divulgação da primeira versão para as empresas ocorreu em julho de 2005, com o acesso restrito as construtoras através de senha.

O Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking* está representado esquematicamente na figura 13, em que são identificados três módulos principais: administração do sistema, administração da empresa e funcionário da empresa. O primeiro deles (**administração do sistema**) é de responsabilidade do NORIE/UFRGS, representado pela figura do moderador. A primeira atividade desse grupo é cadastrar a empresa participante que, por sua vez, deve preencher um formulário de descrição de suas atividades no módulo **administração da empresa** (Anexo A) e selecionar, entre um conjunto de indicadores, aqueles que vão ser utilizados para avaliar a empresa. São eles:

- a) taxa de frequência de acidentes;
- b) índice de contratação;
- c) avaliação de fornecedores de materiais;
- d) número de não conformidades em auditorias;
- e) índice de satisfação do cliente interno na sede;
- f) índice de treinamento;
- g) percentual de funcionários treinados.

No módulo **administração da empresa** também é feito o cadastro dos empreendimentos (figura 13). Em cada uma dessas obras há a opção de delegar o preenchimento das medidas de desempenho a um funcionário (módulo **funcionário da empresa**). Os indicadores que podem ser selecionados para os empreendimentos são:

- a) desvio de custo;
- b) desvio de prazo;
- c) percentual de planos concluídos;
- d) índice de boas práticas de canteiros;
- e) índice de satisfação do cliente usuário;

- f) índice de satisfação do cliente contratante;
- g) avaliação de fornecedores de serviços;
- h) avaliação de fornecedores de projetos;
- i) índice de não conformidade de entrega do imóvel;
- j) índice de satisfação do cliente interno nas obras.

Depois que as medidas de desempenho são preenchidas pelo funcionário responsável elas retornam ao módulo **administração da empresa**, ocasião em que é possível a correção de eventuais equívocos como forma de reduzir os valores espúrios. Quando esses formulários são aprovados, os mesmos são enviados à **administração do sistema**, em que são armazenados em um banco de dados temporário. Nessa etapa, são verificados valores faltantes ou inconsistências no preenchimento desses dados. Se essas falhas forem verificadas o formulário retorna à empresa indicando o motivo da pendência. Além disso, periodicamente, algumas dessas medidas são validadas em visitas nas empresas, conferindo principalmente se os dados enviados são os mesmos que os coletados e, ainda, se os critérios de medidas estão de acordo com os estabelecidos pelo projeto. O pesquisador também auxiliou nessa etapa, a qual contribuiu com a dissertação, já que permitiu a identificação de erros recorrentes na etapa de coleta de indicadores das empresas.

A partir do banco de dados temporário, se o formulário for aprovado o mesmo é registrado definitivamente na base de dados, da qual são extraídas as medidas e os gráficos para *benchmarking*. As empresas também podem exportar os valores inseridos para um arquivo tipo “xls”, possibilitando a construção de gráficos personalizados para a análise.

Dessa base de dados foram coletadas medidas de 6 obras para as análises nessa dissertação (tabela 12).

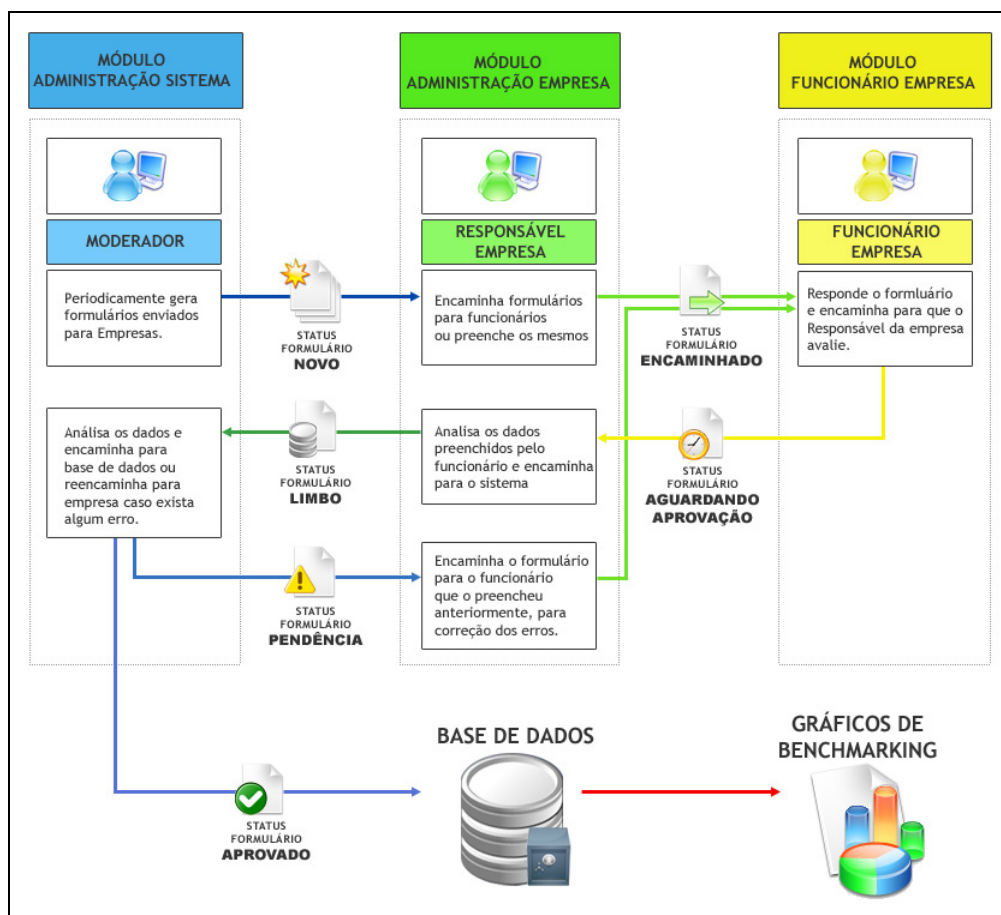


Figura 13: representação esquemática do Sistema de Indicadores *On line*

Tabela 12: obras com ingresso *on line* no Clube de *Benchmarking*

Informações Gerais		Indicadores Coletados							
Obra	Tipo	PPC médio da obra	Número de ocorrência total de problemas em pacotes não concluídos	PPC dos empreiteiros	PPC Semanal	Registro semanal das causas do não cumprimento dos	Índice de remoção de restrições	Desvio de Prazo	Desvio de Custo
C1	Obra Comercial para Cliente Privado				X	X			
C2	Incorporação residencial				X	X			
C3	Incorporação residencial				X	X			
C4	Incorporação residencial				X	X			
C5	Incorporação residencial				X	X			
C6	Incorporação comercial				X	X			



### 4.3.3 Coletas complementares de indicadores em empresas

Nesta fase, as medidas de desempenho foram coletadas em construtoras cujo sistema de PCP está baseado no modelo do NORIE/UFRGS e que tinham armazenado indicadores das obras passadas. Assim, cinco empresas contribuíram nessa etapa, todas integrantes do Clube de *Benchmarking*. Em duas dessas, a implementação era recente, com o registro apenas de um empreendimento por empresa, ambas pertencentes ao nicho das incorporações residenciais ou comerciais. Entretanto, em três construtoras foram possíveis análises mais aprofundadas, visto que as mesmas tinham armazenados dados de um número maior de obras. As mesmas são referidas como empresas A, B e C. Abaixo, segue a descrição de cada uma delas.

A **Empresa A** atua, principalmente, na construção de obras para terceiros nos segmentos industriais, hospitalares e comerciais. A mesma é certificada pela norma ISO 9002 desde fevereiro de 2001 com o sistema de PCP no seu escopo, tendo migrado para a ISO 9001 no ano de 2003. As obras da construtora possuem as seguintes características (SOARES, 2003):

- a) curto prazo para execução: os empreendimentos dos segmentos industriais, hospitalares e comerciais têm como característica o prazo reduzido para a execução das obras e dos projetos;
- b) interferência do processo produtivo do cliente: grande parte das obras de ampliação ou de reforma da empresa ocorrem dentro de unidades operacionais em pleno funcionamento. Essa interação com o cliente exige a utilização de soluções técnicas que busquem reduzir as interferências dos processos da organização contratante;
- c) alta variedade do produto: a baixa repetitividade e a grande diversidade de empreendimentos da construtora é observado, por exemplo, nas obras em aciarias e na construção e reforma de prédios hospitalares.

O início da implementação do sistema de PCP nesta empresa está descrito na tese de Bernardes (2001). O interesse no aprimoramento desse processo possibilitou a participação da construtora em outras pesquisas realizadas pela equipe do NORIE/UFRGS, como por exemplo: planejamento e controle da segurança (SAURIN, 2002), gerenciamento dos requisitos do cliente (MIRON, 2002), planejamento e controle da produção em nível de médio prazo (COELHO, 2003), entre outras.

Os indicadores da empresa dos últimos anos foram coletados em arquivos no formato de planilha eletrônica ou de registros impressos. Em vinte e dois empreendimentos havia o

registro do PPC semanal e das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho e, em cinco obras, existia apenas a evolução do PPC semanal.

A **Empresa B**, por sua vez, possui obras em diferentes segmentos de mercado. Nessa construtora, um nicho que se destacou bastante foi o de habitação de interesse social, que correspondia a 50% do faturamento na época em que se coletaram os indicadores. Nesta empresa, o planejamento de curto prazo apresentava-se bastante consolidado, sendo que a implementação iniciou no ano 2000. As medidas que foram coletadas são: o PPC semanal, as causas do não cumprimento das atividades e o desvio de prazo (calculado semanalmente) de 31 empreendimentos. Esses indicadores foram obtidos de arquivos no formato de planilha eletrônica. Esta empresa é certificada pela norma ISO 9001 desde 1999 e pelo SiQ<sup>28</sup>/PBQP-H<sup>29</sup> nível A desde dezembro de 2004.

Por fim, os empreendimentos da **Empresa C** são incorporações residenciais ou comerciais de médio e de alto padrão, com coleta mensal de indicadores de PCP - PPC, desvio de custo, desvio de prazo e avanço físico - de todas as obras em execução desde abril de 2004. Essa construtora vem desenvolvendo diversos programas para melhorar a qualidade, como o programa Defeito Zero (para a redução de defeitos na entrega do imóvel para o cliente final) e o programa Ambiente 100, para melhorar as condições das instalações provisórias no canteiro de obras (NAVARRO, 2005). O sistema de qualidade da empresa é certificado pela ISO 9001 e pelo SIQ/PBQP-H com o nível A. Nessa construtora, foram coletados indicadores de 8 empreendimentos para a base de dados em arquivos de planilha eletrônica.

#### 4.4 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA MELHORAR AS ETAPAS DE COLETA E DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE PCP

Foi realizado um estudo exploratório para melhorar as etapas de coleta e de processamento de dados de PCP com o uso de um *software* de planejamento e controle da produção. O mesmo buscava integrar os três níveis hierárquicos de planejamento (longo, médio e curto prazo),

---

<sup>28</sup> Sistema de Qualificação de Empresas, Serviços e Obras

<sup>29</sup> Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat

usando o *Last Planner* como base, principalmente para os níveis de médio e de curto prazo. A **Empresa A** interessou-se por este estudo, visto que seus indicadores eram armazenados em diversos arquivos de planilha eletrônica, suas atualizações não eram repassadas ao escritório central e, muitas vezes, as informações acabavam descartadas junto com os computadores das obras.

O *software* utilizado foi o “*Project Plus Control*”, desenvolvido pelo Programa de Excelência em Gestão da Produção da Pontifícia Universidade Católica do Chile (GEPUC). Esse *software* armazena os valores inseridos em formato “SQL Server”, usando a plataforma “.NET” para permitir uma interface amigável de ingresso de dados para o usuário, com os seguintes requisitos mínimos: (a) Microsoft Windows 98; (b) 128 Mb de memória RAM; (c) 200 Mb disponíveis no disco rígido e (d) processador Pentium de 400 MHz.

Os desenvolvedores do software indicam algumas vantagens para os usuários (ROJO, 2005):

- a) plataforma de manuseio simples e amigável para ferramentas de planejamento segundo o sistema *Last Planner*;
- b) permite o acesso remoto para avaliar o andamento dos empreendimentos;
- c) facilita a visualização da informação;
- d) gera e administra informações históricas dos empreendimentos;
- e) sistema flexível, podendo se adaptar a qualquer tipo e tamanho de obra.

Esse estudo iniciou com a implantação piloto em uma obra, com os dados inseridos no *software* pelo pesquisador em paralelo ao PCP tradicionalmente desenvolvido na empresa. Os resultados do estudo exploratório foram apresentados à construtora, que decidiu que as próximas aplicações eram de responsabilidade dos funcionários da própria empresa. Assim, seguiram-se dois estudos em paralelo, em que o pesquisador passou instruções do uso do programa e acompanhou a evolução através das reuniões do planejamento de curto prazo nas obras. Os responsáveis por essa etapa em cada um dos empreendimentos manifestaram insatisfação com o formato das planilhas obtidas do *software* através de relatórios, que eram muito diferentes daquelas que eles utilizavam, havendo a necessidade de retrabalhos. Além disso, de acordo com os mesmos, a etapa de ingresso de dados era muito trabalhosa. Por essas razões, apenas o estudo exploratório possui resultados que podem ser avaliados. Nos outros

empreendimentos, como o programa não foi efetivamente utilizado, os valores do PPC e das causas do não cumprimento das tarefas apenas foram inseridos no conjunto de obras do banco de dados.

## 4.5 ANÁLISE DOS DADOS

### 4.5.1 Preparação dos Dados

#### 4.5.1.1 Criação do Banco de Dados

A partir dos valores coletados, um banco de dados foi montado com registros de 141 obras, executadas entre os anos de 1996 e 2005. Nesse grupo, em 105 obras havia também o registro total das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho e, em 96 delas, havia os valores semanais do número de pacotes de trabalho planejados, do número de pacotes executados e das causas do não cumprimento das tarefas. Essas causas foram classificadas ao longo de uma lista com 37 itens agrupados em oito categorias (que será descrita na seção 5.3): mão-de-obra, materiais, equipamentos, projeto, planejamento, interferência do cliente, problemas meteorológicos e fornecedores. Essa lista foi o resultado de uma das reuniões do Clube de *Benchmarking*, que decidiu utilizá-la como referência, e que também foi baseada em uma classificação semelhante utilizada por Bernardes (2001).

Nas tabelas 8 a 12 percebe-se uma quantidade reduzida de obras que possuíam outras medidas além do PPC e das causas do não cumprimento das tarefas (por exemplo: avanço físico, desvio de custo e desvio de prazo). Isto impediu, na maioria dos casos, uma análise cruzada destas medidas com o PPC. Essa análise só foi possível em dois casos: no primeiro deles, entre o desvio de prazo e o PPC, ambos com periodicidade de coleta semanal na Empresa B e, no outro, na Empresa C com a coleta de um conjunto de medidas com periodicidade mensal (PPC, desvio de custo, desvio de prazo e avanço físico).

Quanto ao PPC e as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, a organização dos dados começou com a consolidação dessas informações em um arquivo único do Microsoft Excel (tipo “xls”), sendo que em cada planilha foram armazenados os dados de uma obra, incluindo os seguintes itens:

- a) evolução semanal das medidas: pacotes planejados, pacotes executados e causas do não cumprimento das tarefas. Cabe ainda ressaltar que o período de evolução registrado do PPC nem sempre corresponde a todo o desenvolvimento da obra, o que é uma delimitação da pesquisa, conforme indicado na seção 1.4. Isso foi observado principalmente nos estudos acadêmicos, nos quais o período de coleta dos dados era normalmente menor quando comparado ao prazo de execução do empreendimento;
- b) a fonte de evidência de coleta: dissertações/teses, resultados do projeto Qualcon, banco de dados inicial do NORIE/UFRGS, indicadores inseridos no Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking* ou valores coletados em empresas;
- c) data de início do empreendimento (em muitos casos apenas o ano estava disponível);
- d) nicho de mercado;
- e) empresa.

Essas informações foram sintetizadas em três planilhas diferentes, para facilitar na etapa de análise. Na primeira planilha foi incluído apenas o PPC médio desses empreendimentos. As análises desta variável limitaram-se a verificação visual de histogramas do atributo considerado e à análise de variância (ANOVA) entre diferentes subgrupos dessa amostra. Esses resultados foram obtidos com o pacote estatístico SPSS<sup>30</sup>.

Na segunda planilha, foram incluídos os dados referentes às causas globais do não cumprimento dos pacotes de trabalho, no grupo com as 105 obras. Os principais resultados gerados foram gráficos com informações das causas do não cumprimento das tarefas e um gráfico de barras analisando as cinco maiores ocorrências individuais da lista de 37 problemas para a amostra total e para cada um dos nichos de mercado.

Na última planilha utilizada havia o registro semanal do número de pacotes de trabalho planejados, do número de pacotes executado, das causas do não cumprimento das tarefas e do nicho a que pertenciam. Essa planilha também foi transferida para o pacote estatístico SPSS, uma vez que esse *software* é mais apropriado para a geração de gráficos e para a análise com diversas técnicas estatísticas, entre as quais está incluída a análise de regressão múltipla, utilizada nesse banco de dados. Os tipos de variáveis dessa avaliação estão descritos na tabela 13.

---

<sup>30</sup> Foi utilizada a versão 13.0 do *Statistical Package for Social Sciences* – <http://www.spss.com>

Tabela 13: Variáveis para a análise de regressão múltipla

VARIÁVEIS	TIPO	FAIXA DE VARIAÇÃO
Mão-de-obra	métrica	[0;∞)
Materiais	métrica	[0;∞)
Equipamentos	métrica	[0;∞)
Projeto	métrica	[0;∞)
Planejamento	métrica	[0;∞)
Interferência do Cliente	métrica	[0;∞)
Problemas Meteorológicos	métrica	[0;∞)
Fornecedores	métrica	[0;∞)
Problemas não classificados	métrica	[0;∞)
Número de Pacotes Planejados	métrica	[1;∞)
Número de Tarefas Executados	métrica	[0;∞)
Semana	métrica	[1;∞)
Nicho 1	categórica	0;1
Nicho 2	categórica	0;1
Análise de Restrições	categórica	0;1
Sistema de Gestão da Qualidade Certificado	categórica	0;1
Implementação do Sistema de PCP	categórica	0;1
Empresa A	categórica	0;1
Empresa B	categórica	0;1
Desvio de prazo semanal da empresa B	métrica	[0;1]
Excluídos	categórica	0;1;2
PPC	métrica	[0;1]

De acordo com a tabela 13, percebe-se que grande parte dessas variáveis é do tipo métrica. A faixa de variação do PPC e do desvio de prazo semanal da empresa B é de 0 a 1, com essa medida geralmente representada por uma porcentagem. Nas nove categorias que registram as causas do não cumprimento das tarefas os valores são inseridos de acordo com o número de ocorrências, representados por um número natural. O atributo “semana” também é representado por um número desse tipo, para avaliar a influência do tempo na evolução dessas medidas. Outro tipo de variável identificada nessa base foi a categórica (ou binária, já que nesses atributos havia apenas dois valores possíveis), utilizada para representar o nicho de mercado<sup>31</sup>, o sistema de gestão da qualidade certificado, a presença do pesquisador e a análise de restrições. A influência de algumas dessas variáveis binárias para o PPC já havia sido indicada na literatura. Gonzalez (2003b) apresentou diferentes valores do PPC quando considerados os segmentos de mercado e Soares (2003) atribuiu como uma das causas do aumento do PPC das obras avaliadas em sua dissertação a certificação do sistema de gestão da

<sup>31</sup> O nicho 1 corresponde as obras industriais e comerciais para clientes privados e o nicho 2 as construções e incorporações residenciais e comerciais. O nicho da habitação de interesse social é representado pelo grupo de controle. Esses segmentos de mercado estão descritos na seção 5.1.

qualidade. A influência da presença do pesquisador foi uma proposição desse trabalho. Dessa forma, esperava-se que os valores do PPC coletados em empreendimentos com a presença do pesquisador fossem menores, já que os mesmos restringem a divisão excessiva do número de pacotes de trabalho ou o planejamento de metas muito fáceis de serem cumpridas, que são artifícios utilizados para aumentar o resultado dessa medida (seção 2.5.2).

As análises para os nichos de mercado e para as Empresas A e B ocorreram nessa mesma base de dados, utilizando-se filtros nas variáveis Nicho 1, Nicho 2, Empresa A e Empresa B. Por fim, a variável categórica “Excluídos” foi utilizada para filtrar os dados que não foram considerados para a análise. Ela assumiu o valor “0” para os registros com até duas causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho para cada atividade não concluída, “1” quando há mais que duas causas para cada pacote não concluído e “2” para os valores faltantes. Nas planilhas a que se teve acesso ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa um problema bastante comum foi a falta de registro das causas dos pacotes não concluídos. Algumas vezes, entretanto, percebeu-se o registro de até duas causas para tarefa inacabada. Como estes registros originaram-se de fontes cujos dados já haviam sido processados, não se pôde conferir eventuais erros na coleta. Além disso, conforme comentado na seção 2.3.1, a causa raiz pode não ser única, mas entre as mesmas não deve haver uma relação de causa e efeito, o que pode ter sido negligenciado quando se atribuem múltiplas causas.

Para as análises da Empresa C, utilizou-se uma quarta planilha, já que a periodicidade de coleta era mensal. Nesse caso, as variáveis estão descritas na tabela 14.

Tabela 14: Variáveis para a análise de regressão múltipla na empresa C

VARIÁVEIS	TIPO	FAIXA DE VARIAÇÃO
Mês	métrica	$[1; \infty)$
Avanço Físico	métrica	$[0; 1]$
Desvio de Custo	métrica	$[0; 1]$
Desvio de Prazo	métrica	$[0; 1]$
PPC médio semanal	métrica	$[0; 1]$
Número de Pacotes Planejados	métrica	$[1; \infty)$
Número de Tarefas Executadas	métrica	$[1; \infty)$
PPC Acumulado	métrica	$[0; 1]$

#### 4.5.1.2 Identificação dos Valores Espúrios e Dados Faltantes

A etapa de preparação dos dados para as análises estatísticas iniciou com a exploração dos limites de conteúdo das variáveis numéricas (mínimo, máximo, média e desvio padrão). Essa foi a primeira etapa na verificação dos dados espúrios observando, principalmente, os valores de mínimo e de máximo. Após, adotou-se um critério para identificar outros valores discrepantes. Assim, foram assinalados os casos com mais que duas causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho para cada tarefa não concluída.

Quanto aos dados faltantes, eles foram identificados principalmente nos registros do número de pacotes planejados e do número das tarefas executadas. Esses casos não foram considerados para a análise (mais detalhes sobre este procedimento são apresentados na seção 5.4.2).

Após a análise de regressão houve uma nova fase de identificação dos dados espúrios, a partir dos erros padronizados. Hair *et al.* (2005) sugerem identificar os casos superiores aos intervalos de 2,5 desvios-padrão para amostras com menos de 80 observações. Contudo, em amostras maiores podem ser assinaladas as observações maiores do que 3 a 4 desvios-padrão. Nesse caso, identificaram-se todos os valores que excedessem 3 desvios-padrão. Essas informações estão descritas no capítulo 5, com a identificação do número de *outliers* em cada um dos modelos gerados.

#### 4.5.2 Análise de Dados

A estatística descritiva foi utilizada para caracterizar as medidas de tendência central e de dispersão dos dados referentes ao PPC da obra, já que esse indicador teve o maior número de coletas. Essas análises foram realizadas na amostra geral, em cada um dos três nichos de mercado e nas obras públicas diversas.

Entre as medidas de tendência central, utilizou-se a média e a mediana. Para a representação da distribuição foram selecionadas as seguintes medidas: mínimo, Q1, mediana, Q3 e máximo. O primeiro quartil (Q1) é o 25º percentil (1/4 dos valores estão abaixo dele), a mediana corresponde ao 50º percentil e, por último, o terceiro quartil (Q3) é o 75º percentil (3/4 dos valores estão abaixo dele) (HAN; KAMBER, 2001). Além dessas, o desvio padrão e o coeficiente de variação foram usados como medidas de dispersão.



Após, selecionaram-se outras ferramentas para a análise desses valores. Na etapa de avaliação do PPC com as variáveis nicho, sistema de gestão da qualidade certificado, análise de restrições e presença do pesquisador, foi escolhida a análise de variância. Segundo Hair *et al.* (2001), essa técnica estatística é utilizada para determinar, a partir de uma medida dependente métrica, se várias amostras (representadas por variáveis categóricas) são oriundas de populações com médias iguais.

Para a análise do banco de dados com o PPC e com as tarefas não concluídas, foram inicialmente utilizadas duas técnicas de classificação após a categorização do PPC: a Árvore de Decisão e a Rede Neural Artificial (RNA). Essas duas ferramentas foram aplicadas através do *freeware Weka* (WITTEN; FRANK, 2000). A primeira técnica foi selecionada pela facilidade de interpretação do resultado gráfico. Além disso, a taxa de erro da amostra de teste pode ser utilizada para comparar com o resultado da RNA. A RNA foi cogitada porque não foi encontrado na literatura nenhum modelo que avaliasse relações de atributos com categorias do PPC. Os resultados dessas avaliações não foram satisfatórios, já que a taxa de erro ficou ao redor dos 50%. Além disso, a árvore de decisão resultante apresentou um grande número de níveis, o que dificultou a interpretação.

Para uma nova seleção da técnica de análise para o grupo de variáveis disponíveis (descritas nas tabelas 13 e 14) considerou-se a sugestão de Hair *et al.* (2005), que apresentam uma classificação baseada em três julgamentos que o pesquisador deve fazer a respeito do objetivo da pesquisa e da natureza dos dados (figura 14). São eles: (a) as variáveis podem ser divididas em dependentes e independentes, com base em alguma teoria? (b) se puderem, quantas variáveis serão tratadas como dependentes em uma única análise? (c) como são medidas as variáveis (tipos de dados, ver item 3.2), sejam dependentes ou independentes?

Segundo Hair *et al.* (2001), uma técnica de dependência é aquela em que uma variável ou conjunto de variáveis (identificadas como dependente(s)) pode ser predita ou explicada pelos outros atributos (independente(s)). Na técnica de independência não é possível fazer essa diferenciação e todas as variáveis são analisadas em um único conjunto como o que ocorre, por exemplo, em uma análise fatorial (HAIR *et al.* 2005).

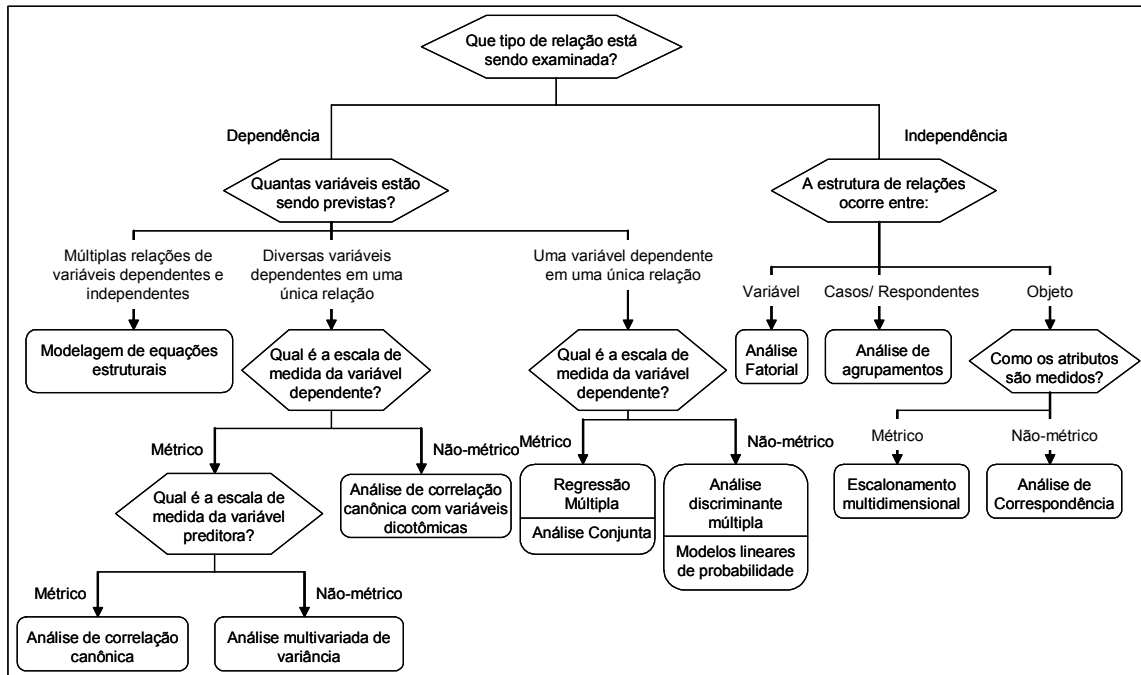


Figura 14: seleção de técnica multivariada (HAIR *et al.*, 2005)

Entre as técnicas da figura 14, a análise de regressão múltipla foi escolhida porque se buscou identificar, entre o conjunto de atributos disponíveis e coletados na planilha do planejamento de comprometimento (figura 6), as variáveis que são significativas para explicar a variância medida na eficácia do planejamento, através do indicador PPC. Dessa forma, o PPC é a única variável dependente que, por sua vez, é do tipo métrica.

Outros argumentos também são favoráveis para a escolha dessa técnica. Para Mason e Perreault Jr. (1991), esse é um dos procedimentos estatísticos mais difundidos, com aplicações em diversas áreas e que possui fácil interpretação. Cabe-se salientar, ainda, que alguns parâmetros estatísticos obtidos através dessa técnica foram considerados de grande importância no contexto desse trabalho, como o coeficiente de determinação ajustado e o valor t para, respectivamente, comparar os modelos gerados e avaliar a importância de cada uma das variáveis independentes para a explicação da eficácia do planejamento.

## **5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentadas as análises estatísticas para o conjunto de indicadores de PCP coletados nas obras selecionadas. Inicia-se com o uso da estatística descritiva para a análise do PPC das obras e para a investigação das causas do não cumprimento das tarefas. Após, procurou-se identificar as variáveis mais significativas para explicar a variância do PPC semanal, através da aplicação da técnica de regressão múltipla. Na etapa seguinte, foi avaliada a evolução das medidas de desempenho em três empresas, as duas primeiras selecionadas pela maior quantidade de indicadores fornecidos ao banco de dados e a última pela diversidade das medidas. Nesta construtora foi realizada uma comparação da confiabilidade do planejamento com o avanço físico, com o desvio de custo e o com desvio de prazo dos empreendimentos.

Por fim, com base no que foi observado principalmente durante as análises estatísticas e na etapa preliminar de preparação dos dados, foram propostas contribuições para a coleta e a análise de dados que permitam avaliar o impacto de sistemas de PCP no desempenho de empreendimentos de construção civil e identificar as dificuldades de implementação dos mesmos.

### **5.1 DIVISÃO EM SEGMENTOS DE MERCADO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA**

Os empreendimentos analisados nesta pesquisa foram classificados em três nichos de mercado:

- a) obras industriais e comerciais para clientes privados: são caracterizadas, geralmente, pelo prazo reduzido para execução, pela interferência do processo produtivo do cliente (principalmente em plantas industriais) e pela alta variedade do produto;

- b) incorporações residenciais ou comerciais: normalmente têm mais de três andares e possuem um pavimento tipo. Não inclui obras de habitação de interesse social;
- c) obras de habitação de interesse social: são financiadas ou contratadas por um órgão público. As tipologias das construções desse nicho são variadas, tais como casas, sobrados e edificações de, no máximo, cinco pavimentos. Em comum, elas possuem a característica de serem predominantemente horizontais e a repetitividade, devido ao grande número de unidades habitacionais semelhantes.

A distribuição dos empreendimentos para cada um desses segmentos de mercado está representada na figura 15. Entre as 141 obras utilizadas para a análise, as que não foram inseridas em nenhum dos nichos descritos anteriormente possuíam em comum a característica de serem contratadas por órgãos públicos. Contudo, como a diversidade desse grupo era grande - estradas, colégios, estações elevatórias de esgoto, subestações de energia elétrica, etc. – as mesmas foram denominadas de obras públicas diversas.



Figura 15: distribuição das obras entre os nichos de mercado e nas obras públicas diversas

Na figura 15, percebe-se que a maioria dos empreendimentos está concentrada nas obras industriais e comerciais para clientes privados (52,48%) seguidas pelas incorporações residenciais ou comerciais (25,53%), habitação de interesse social (14,89%) e obras públicas diversas (7,09%). Na tabela 15 estão descritas algumas características desses grupos, como a presença do pesquisador para implementar ou avaliar o processo de PCP, o sistema de gestão da qualidade certificado (ISO 9001 ou SiQ/PBQP-H nível A) e a média do número de anos de implementação do sistema de PCP. Esta medida foi obtida para cada obra pela diferença

entre o ano que iniciou o empreendimento (já que, em muitos casos, era a única medida disponível) e o ano em que o processo de PCP foi implementado na empresa.

Tabela 15: Caracterização dos nichos e das obras públicas diversas

		Obras industriais e comerciais para clientes privados	Incorporações residenciais ou comerciais	Obras de habitação de interesse social	Obras públicas diversas
<b>Número de empresas</b>		8	15	11	5
<b>Número de obras</b>	<b>N</b>	74	36	21	10
	<b>Obras/empresa</b>	9,25	2,40	1,90	2
<b>Obras com o acompanhamento do pesquisador</b>	<b>N</b>	26	29	18	4
	<b>% obras</b>	35,13	80,56	85,71	40,00
<b>Obras em que a construtora estava certificada com a ISO 9001</b>	<b>N</b>	50	13	4	7
	<b>% obras</b>	67,57	36,11	19,05	70,00
<b>Obras em que a construtora estava certificada com o SiQ/PBQP-H nível A</b>	<b>N</b>	22	9	4	6
	<b>% obras</b>	29,73	25,00	19,05	60,00
<b>Média do número de anos de implementação do sistema de PCP nas obras</b>		2,24	0,33	2,43	0,40

Na tabela 15, o número de obras por empresa é maior no segmento das obras industriais e comerciais para clientes privados. Nesse nicho, aproximadamente 80% dessas obras têm origem em apenas duas construtoras. Nos empreendimentos restantes, a implementação do sistema de PCP tinha menos que um ano e pertenciam a 6 empresas diferentes.

Outro aspecto descrito na tabela 15 é o acompanhamento do pesquisador na obra. O percentual de obras com essa característica é menor nas obras industriais e comerciais para clientes privados comparado aos outros nichos, porque a maior parte desses registros foi obtida da coleta em empresas ao invés de pesquisas anteriores com a participação do NORIE/UFRGS, nas quais o pesquisador estava presente.

Na tabela 15, também se percebe que a proporção de obras com o sistema de gestão da qualidade certificado pela ISO 9001 e pelo SiQ/PBQP-H nível A é maior no nicho das obras industriais e comerciais para clientes privados e nas obras públicas diversas. Esse fato deve-se, principalmente, a exigência do cliente contratante.

Por fim, a média do número de anos de implementação de sistemas de PCP nas obras é maior nas obras de habitação de interesse social. Isso se deve, principalmente, à influência de 52% desses empreendimentos que pertencem a 2 construtoras em que o sistema possuía mais que

três anos de implementação. Nos 48% dos empreendimentos restantes a implementação do sistema de PCP tinha menos que um ano. No nicho das incorporações residenciais ou comerciais, 95% das obras possuem menos que um ano de implementação, o que foi determinante para a menor medida registrada desse atributo na tabela 15. Para o segmento de mercado das obras industriais e comerciais para clientes privados, a distribuição do número de anos de implementação variou mais comparada aos outros nichos e, por essa razão, foi representada no histograma da figura 16, em que 70% das obras possuíam menos que três anos de implementação.

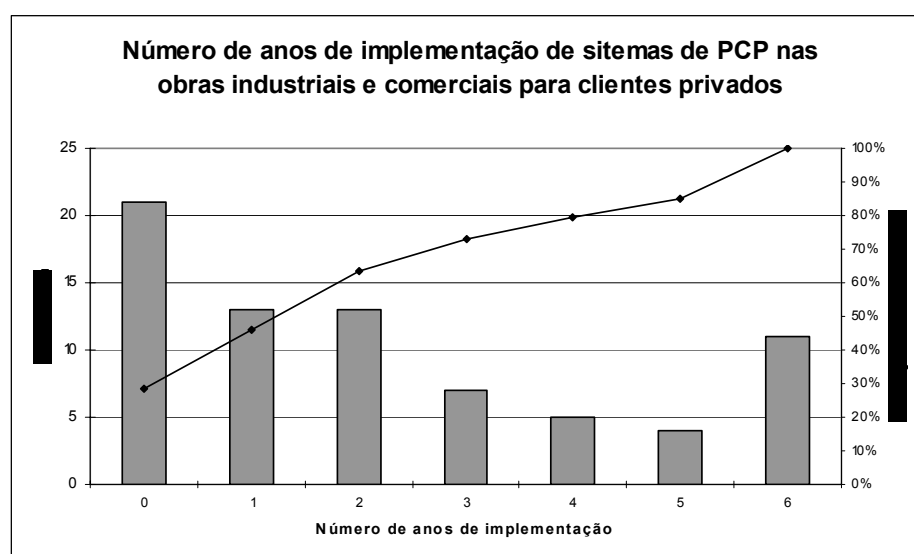


Figura 16: dispersão do número de anos de implementação de sistemas de PCP nas obras industriais e comerciais para clientes privados

## 5.2 ANÁLISE DO PPC MÉDIO DAS OBRAS

Na primeira investigação, calculou-se a média e a variabilidade do PPC dos empreendimentos para a amostra geral, para cada um dos três nichos de mercado e nas obras públicas diversas. Estas medidas estão representadas na tabela 16.

Tabela 16: Medidas estatísticas do PPC dos empreendimentos

	Todas as obras	Industriais e comerciais	Incorporações residenciais ou comerciais	Habitação de interesse social	Obras públicas diversas
Média	70,58%	72,50%	68,04%	68,90%	69,01%
Desvio Padrão	11,74%	9,92%	12,71%	13,42%	15,85%
CV	16,63%	13,68%	18,67%	19,48%	22,97%
Amostra	141	74	36	21	10

Os resultados da tabela 16 foram comparados àqueles medidos em um conjunto de empreendimentos da Colômbia (BOTERO; ALVAREZ, 2005) e do Chile (GONZALEZ, 2003b) representados, respectivamente, nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17: PPC dos empreendimentos em um conjunto de obras da Colômbia (BOTERO; ALVAREZ, 2005)

	Todas as obras	Prédios	Casas
<b>Média</b>	75,50%	74,80%	52,00%
<b>Amostra</b>	12	10	2

Tabela 18: PPC dos empreendimentos em um conjunto de obras do Chile (GONZALEZ, 2003b)

	Todas as obras	Edificações	Edificações em altura	Edificações em Extensão	Montagem industrial leve	Montagem industrial pesada
<b>Média</b>	65,00%	73,00%	63,00%	62,00%	62,00%	56,00%
<b>Amostra</b>	77	20	15	20	12	10

A média do PPC das obras analisadas nesta dissertação (70,58%, na tabela 16), foi próxima ao resultado das obras da Colômbia (75,5%, na tabela 17) e das obras do Chile (65,00%, na tabela 18). Para a comparação do PPC das obras entre os diferentes nichos, os dois grupos apresentados nos empreendimentos da Colômbia (prédios e casas) eram muito distintos dos segmentos apresentados para esta dissertação, além de a amostra ser muito menor. Por esta razão, compararam-se apenas com os nichos das obras do Chile. Assim, a diferença entre a média do PPC da obra nas “incorporações residenciais ou comerciais” comparadas as “edificações” ou as “edificações em altura” é menor do que 10%. Isso também é observado entre as “obras de habitação de interesse social” e as “edificações em extensão”. A diferença entre as médias do PPC dos empreendimentos é maior que 10% apenas quando se compara as “obras industriais e comerciais” com a “montagem industrial leve” e a “montagem industrial pesada”. Para Gonzalez (2003b), o principal motivo do pior desempenho entre esses nichos nas obras do Chile é o tamanho dos empreendimentos, fator que, segundo o mesmo autor, dificulta a implementação de um sistema de PCP. No Brasil, como foi difícil obter uma

variável referente ao tamanho do empreendimento, como a área construída<sup>32</sup>, não foi possível avaliar o seu impacto no PPC da obra.

Restringindo as análises para a amostra com os 141 empreendimentos das obras do Brasil observa-se, na tabela 16, que as medidas da média para o PPC da obra entre os nichos de mercado são próximas, com a diferença entre a maior e a menor medida inferior a 5%. Uma análise de variância (ANOVA), comparando a média do PPC do empreendimento entre os três segmentos de mercado, confirmou esse diagnóstico, já que o valor da significância<sup>33</sup> foi de 11,66%, acima do nível mínimo de 10% adotado para esse trabalho.

A figura 17 apresenta algumas medidas estatísticas da dispersão dos dados (mínimo, Q1, mediana, Q3 e máximo) que também serviram como referência para as análises entre cada um dos nichos apresentadas a seguir. No grupo das “obras públicas diversas” não foram realizadas avaliações mais detalhadas, devido à natureza diversa desses empreendimentos e pelo pequeno tamanho da amostra.

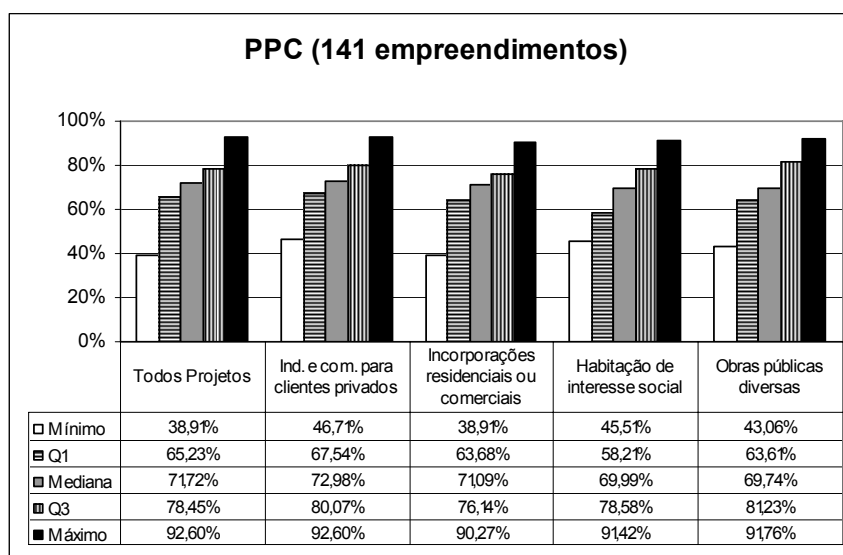


Figura 17: dispersão do PPC médio na amostra de 141 empreendimentos

<sup>32</sup> A área construída foi coletada em apenas 7 empreendimentos.

<sup>33</sup> Nível de significância é a probabilidade máxima aceitável de rejeitar a hipótese de variância entre essas sub-amostras, sendo ela realmente importante (erro tipo I). Assim, uma significância de 5% representa maior confiança do que 10%.



### 5.2.1 Obras Industriais e Comerciais para Clientes Privados

O nicho das obras industriais e comerciais para clientes privados foi o que apresentou a maior média e o menor coeficiente de variação (CV) (tabela 16). Esta menor medida do CV pode ser devido ao menor número de empresas desse segmento de mercado, conforme se percebe na tabela 15, o que resultou em uma amostra mais homogênea. Na figura 17, também se pode observar que todas as medidas estatísticas desse nicho são maiores quando comparado aos outros dois segmentos de mercado. Resultado semelhante não foi observado, por exemplo, para o conjunto de obras do Chile. Na comparação entre os diferentes nichos, o valor da média do PPC das obras entre segmentos de mercado equivalentes (montagem industrial leve e montagem industrial pesada) foram os mais baixos (GONZALEZ, 2003b), o que pode ser verificado na tabela 18.

A avaliação desse setor de mercado que apresentou os melhores resultados iniciou com a representação da dispersão do PPC das obras, representada no histograma na figura 18.

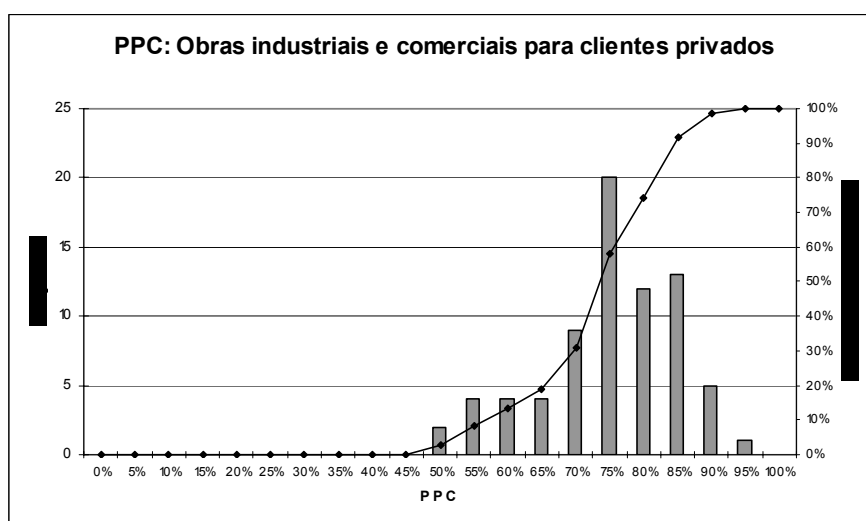


Figura 18: dispersão do PPC das obras industriais e comerciais para clientes privados

De acordo com o histograma da figura 18, 30% dos valores dessa amostra possuem um PPC da obra inferior a 70%. Além disso, em aproximadamente 60% da amostra os valores do PPC da obra estão entre 70% e 85%.

Quanto à constituição, este nicho é composto, basicamente, por empreendimentos de duas empresas e um terceiro grupo de obras cujos dados foram obtidos de estudos anteriores nos quais foi implementado o modelo de PCP do NORIE/UFRGS. A Empresa A foi responsável por 51,35% dos empreendimentos, a Empresa B por 28,38% e 20,27% corresponde às obras das demais construtoras.

Os empreendimentos da Empresa A, na maioria dos casos, possuíam prazo reduzido para execução e, em geral, havia a interferência do processo produtivo do cliente - quando ocorriam em unidades operacionais em pleno funcionamento. Além disto, existe uma grande diversidade de edificações construídas, tais como hospitais, fábricas e igrejas. Essa construtora implementou, em 1999, o modelo de PCP do NORIE/UFRGS. Além disso, nesta empresa o planejamento e controle da produção é considerado por seus diretores e gerentes como um diferencial competitivo.

As obras da Empresa B neste nicho estão concentradas na construção de prédios para universidades. Dessa forma, não são empreendimentos tão complexos quando comparado aos da Empresa A. Essa construtora também possui alguns elementos incorporados do modelo de PCP do NORIE/UFRGS, já que o mesmo foi implementado no ano 2000. A evolução dos indicadores de PCP, para cada uma dessas empresas, é discutida na seção 5.5, nas análises específicas das empresas A e B.

As demais obras utilizadas para análises nesse segmento de mercado tiveram origem em seis empresas diferentes, que foram obtidas de pesquisas com a participação do NORIE/UFRGS e de indicadores com ingresso no Clube de *Benchmarking*. Todos esses empreendimentos implementaram o modelo de PCP do NORIE/UFRGS a menos de um ano.

A média do PPC das obras foi avaliada entre esses três sub-grupos através de uma análise de variância, que apresentou o valor da significância  $<0,1\%$ , muito abaixo do nível de 10% estabelecido para este trabalho. Os resultados da média, desvio padrão, número de elementos (N), valores de mínimo e de máximo estão indicados na tabela 19. Entretanto, em duas dessas sub-amostras o número de elementos é inferior a 30, que é o número mínimo de casos aconselhado para uma análise desse tipo.

Tabela 19: Estatística descritiva nos empreendimentos industriais e comerciais para clientes privados

Obras	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<b>Empresa A</b>	38	69,10%	9,61%	49,83%	89,05%
<b>Empresa B</b>	21	81,11%	5,14%	69,44%	92,60%
<b>Demais Empresas</b>	15	69,03%	8,69%	46,71%	78,00%
<b>Total</b>	74	72,50%	9,92%	46,71%	92,60%

Com os resultados da tabela 19 e levando em consideração algumas indicações do trabalho de Soares (2003) a respeito de aspectos que podem influenciar no PPC das obras, pode-se inferir que um dos fatores para explicar a diferença das medidas entre os subgrupos é a complexidade da etapa de construção, o que se percebe da comparação entre os resultados das empresas A e B. Outro fator é o efeito aprendizagem (NEVES *et al.*, 2002). Isso explica, em parte, os melhores resultados da empresa B (média, desvio padrão, mínimo e máximo) quando comparado à empresa A e ao conjunto das demais empresas. Esse mesmo resultado não foi observado na comparação da Empresa A com esse terceiro grupo. Os resultados dessa empresa são discutidos em mais detalhe na seção 5.5.1.

### 5.2.2 Obras de Habitação de Interesse Social

Nas obras de Habitação de Interesse Social, os valores de mínimo, do Q1 e da mediana (apresentados na figura 17) estão bastante próximos entre si, quando comparado aos demais setores. Além disso, possuem os menores resultados do Q1 e da mediana entre os diferentes nichos. Essas considerações indicam uma maior concentração em valores mais baixos do PPC, o que pode ser observado no histograma da figura 19.

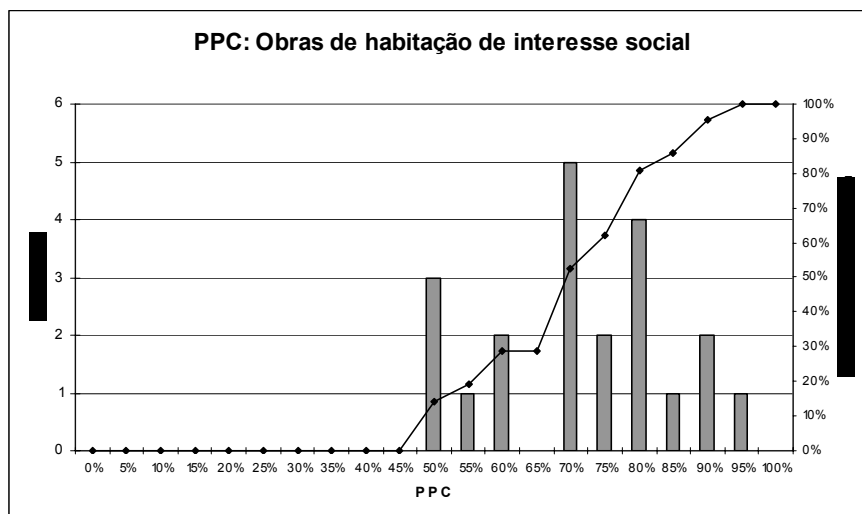


Figura 19: dispersão do PPC médio nas obras de habitação de interesse social

O histograma da figura 19 mostra que em 30% das obras de habitação de interesse social o PPC dos empreendimentos está abaixo de 60%. O tamanho reduzido dessa amostra, com apenas 21 empreendimentos, não permitiu análises de variância entre subgrupos. Entretanto, cabe ressaltar que apenas 19% das obras desse nicho possuem o sistema de gestão da qualidade certificado pela ISO 9001 e pelo PBQP-H nível A, com a média do PPC da obra de 80,40%. Nos empreendimentos restantes, essa média foi de 66,19%. Assim, há uma indicação de que o sistema de gestão da qualidade certificado contribua com a eficácia do planejamento.

A concentração em valores mais baixos do PPC dos empreendimentos indicado na figura 19 também pode ser em parte explicada por alguns resultados de trabalhos anteriores, que indicaram algumas dificuldades na gestão da produção entre os empreendimentos deste nicho (ALVES *et al.*, 2002; BULHÕES; FORMOSO, 2004; COSTA *et al.*, 2004; SCHRAMM, 2004; ANDRADE, 2005). Por exemplo, um estudo de caso com intervenção em uma obra realizado por Alves *et al.* (2002) indicou: (a) a indefinição de datas-marco; (b) a falta de identificação e de remoção das restrições e (c) falhas no planejamento e controle dos fluxos físicos. Além disso, esses autores indicaram que várias tarefas são desconsideradas pela equipe gerencial da obra na etapa de programação. Esse fato pode ter origem na indefinição das responsabilidades entre os envolvidos nesse processo (COSTA *et al.*, 2004) e, até mesmo, na sobrecarga de trabalho do engenheiro da obra, o que foi indicado como uma das principais razões para que o mesmo não se envolvesse na implantação do PCP (ANDRADE, 2005).

### 5.2.3 Incorporações Residenciais ou Comerciais

Este nicho é representado, basicamente, por prédios destinados a residências ou escritórios comerciais. Inicialmente, esperava-se que a média do PPC dessas obras fosse maior do que aquele observado nas “obras industriais e comerciais para clientes privados” (tabela 16), já que esses empreendimentos tendem a ser semelhantes em relação à tipologia arquitetônica e às técnicas construtivas tradicionalmente empregadas e possuem um alto grau de repetitividade nas atividades realizadas na obra, quando existe um pavimento tipo. Além disso, nesse nicho de mercado não existem relatos de grandes dificuldades da implementação de sistemas de PCP baseados no modelo do NORIE/UFRGS (NAVARRO, 2005; SUKSTER, 2005) comparado ao outro nicho que possui unidades habitacionais semelhantes, o de habitação de interesse social. Uma explicação possível para as medidas desse nicho não apresentarem resultados superiores ao segmento das obras industriais e comerciais para clientes privados é o efeito aprendizagem, já que 95% das empresas desse segmento de mercado possuem menos que um ano de implementação do sistema de PCP. O histograma das “incorporações residenciais ou comerciais” está representado na figura 20, com aproximadamente 45% dessas medidas concentradas entre o PPC da obra de 70% e 80%.

Entre as incorporações residenciais ou comerciais, em apenas uma parcela das obras é realizada a análise sistemática das restrições - 8,33% da amostra. Quanto ao sistema de gestão da qualidade certificado, destaca-se que o maior PPC das obras foi encontrado em empresas que possuíam esse sistema implementado (73,97%) contra 64,70% dos demais empreendimentos. Devido ao tamanho reduzido da amostra, também não foi possível a análise de variância entre esses dois sub-grupos para esse segmento de mercado.

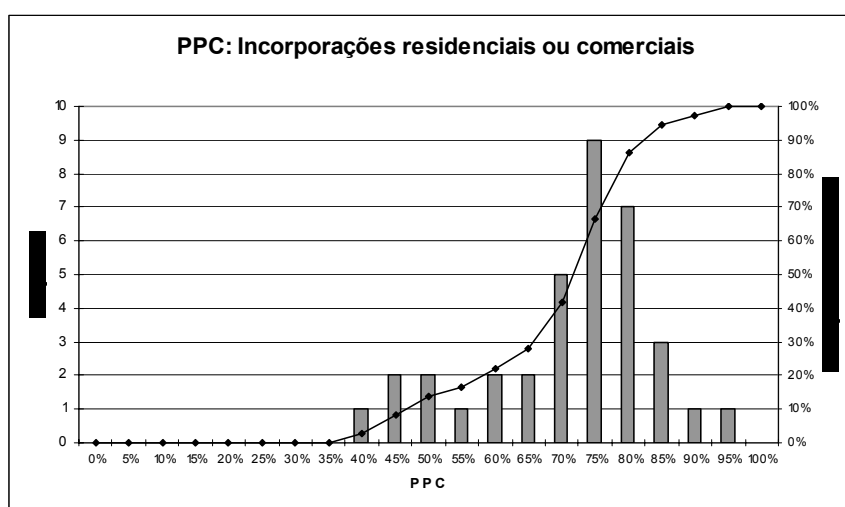


Figura 20: dispersão do PPC médio nas incorporações residenciais ou comerciais

### 5.2.4 Identificação dos fatores com influência no PPC da obra

Na análise dos diferentes nichos de mercado dos itens anteriores, buscou-se identificar alguns fatores que poderiam influenciar o PPC da obra. São eles: (a) a análise de restrições do planejamento de médio prazo, (b) o sistema de gestão da qualidade certificado, (c) a obra em que o modelo foi implementado e (d) o acompanhamento de pesquisadores para o uso dos resultados em estudos acadêmicos. Considerando os 141 empreendimentos, a análise de variância apresentou valores de significância abaixo de 10% para três desses fatores (tabela 20).

Tabela 20: Fatores com aparente influência no PPC Médio das Obras

	Realizava Análise de Restrições		Possuía Sistema de Gestão da Qualidade Certificado		Contava com o Acompanhamento do Pesquisador	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
PPC obra	67,77%	71,73%	73,76%	66,64%	67,09%	74,77%
<b>Significância</b>	6,90%		<1%		<1%	

Na tabela 20, o maior PPC das obras que não utilizaram a análise de restrições antes de acrescentar as tarefas no plano de curto prazo não era esperado, já que essa etapa é considerada importante quando se deseja proteger a produção das incertezas. Ainda durante a etapa de levantamento de dados percebeu-se que raramente eram coletadas medidas de desempenho para o horizonte de planejamento de médio prazo (seção 4.3). Os poucos indicadores identificados originaram-se de dissertações anteriores, como a de Codinhoto (2003). Codinhoto (2003) observou que, depois de sugerido o Índice de Remoção de Restrições (IRR), essas medidas foram maiores e com uma variabilidade menor quando comparado a uma situação anterior, em que havia apenas o registro das restrições, sem monitorar a eficácia da remoção das mesmas. É possível concluir que, apenas o registro das restrições, sem se buscar efetivamente a remoção das mesmas, não contribua de forma significativa para elevar o PPC.

Quanto à gestão do sistema de qualidade, a análise indica que o maior controle dos processos nessas empresas teve uma contribuição positiva para a confiabilidade do planejamento, principalmente no que se refere à padronização do processo. Segundo Sukster (2005), quando o PCP está incluído no sistema de gestão da qualidade da empresa algumas ferramentas – como as planilhas e indicadores utilizados para elaborar o PCP - passam a ser considerados

procedimentos e geraram registros, o que auxilia na disseminação do planejamento de forma padronizada nas demais obras da construtora, reduzindo a variabilidade desse processo.

Entre os reflexos do desenvolvimento de trabalhos acadêmicos, a própria presença do pesquisador pode evitar que os envolvidos na etapa de planejamento fracionem excessivamente os pacotes de trabalho para a obtenção de um maior PPC ou ainda que registrem tarefas muito fáceis de serem cumpridas (seção 2.5.2). Esses resultados podem ser ainda mais distorcidos em empresas que incentivem financeiramente os funcionários pelos resultados apresentados. Dessa forma, o PPC deve estar originalmente associado a medidas de avanço da obra como redução de custo e de prazo e o aumento da qualidade.

### 5.3 ANÁLISES DAS CAUSAS DO NÃO CUMPRIMENTO DAS TAREFAS NAS OBRAS

Em um conjunto de 105 empreendimentos as tarefas não concluídas foram identificadas em, no mínimo, uma causa para o não cumprimento do pacote de trabalho, a partir de uma lista com 37 principais problemas, utilizada atualmente como referência no Clube de *Benchmarking* (tabela 21).

Além disso, essas categorias também foram agregadas em dois grandes grupos: problemas com origem predominante em processos internos das construtoras (soma das ocorrências de mão-de-obra, materiais, equipamento, projeto e planejamento) e em processos externos (soma das ocorrências de interferência do cliente, problemas meteorológicos e fornecedores). Por exemplo, as falhas de atraso da entrega de um material foram contabilizados na categoria “fornecedores” (problema externo a construtora), enquanto que o atraso do pedido de um suprimento foi incluído na categoria “materiais” (falta de programação de materiais), já que é um problema vinculado ao gerenciamento de um processo interno.

Cabe ressaltar, ainda, que a categoria “mão-de-obra” foi considerada como um problema predominantemente interno das empresas, mesmo a mão-de-obra é terceirizada, uma vez que a construtora é a responsável legal pela prestação de serviço ao cliente. Na categoria “fornecedores”, por sua vez, considerou-se como de origem externa problemas decorrentes da aquisição de equipamentos e de materiais.

Tabela 21: Categorias e sub-categorias das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho (COSTA *et al.*, 2005)

Origem	Categorias	Sub-categorias
INTERNAS	MÃO-DE-OBRA	Absenteísmo
		Falta de Comprometimento do Empreiteiro
		Baixa produtividade (mesma equipe)
		Modificação da equipe (decisão gerencial)
		Afastamento por acidente
		Falta de programação de Mão-de-Obra
		Superestimação da produtividade
		Interferência entre equipes de trabalho
	MATERIAIS	Falta de dados sobre a produção de um novo serviço
		Falta de programação de materiais
		Falta por perda elevada (acima da estimada)
	EQUIPAMENTO	Falta de materiais do empreiteiro
		Falta de programação de equipamento
		Manutenção de equipamento da construtora
	PROJETO	Mau dimensionamento
		Falta de projeto
		Má qualidade do projeto
		Incompatibilidade entre projetos
		Alteração do projeto
	PLANEJAMENTO	Falta de conferência do projeto
Modificações dos planos		
Má especificação da tarefa		
Subdimensionamento da tarefa		
Atraso da tarefa antecedente		
Pré-requisito do plano não foi cumprido		
Falha na solicitação do recurso		
Problema não previsto na execução		
Problema na gerência do serviço		
EXTERNAS	INTERFERÊNCIA DO CLIENTE	Solicitação de modificação do serviço que já estava sendo executado
		Solicitação de inclusão de pacote de trabalho no plano (diário ou semanal)
		Solicitação de paralisação dos serviços
		Indefinição por parte do cliente (projeto e/ou execução)
		Liberação de serviços extras
	PROBLEMAS METEOROLÓGICOS	Condições adversas do tempo
	FORNECEDORES	Fornecedor
		Atraso na entrega
		Manutenção de equipamento do fornecedor

Na Figura 21 é apresentado o percentual médio dessas categorias de problemas para toda a amostra. A Tabela 22, por sua vez, apresenta o percentual das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho para cada um dos três nichos de mercado e para o grupo das obras públicas diversas.



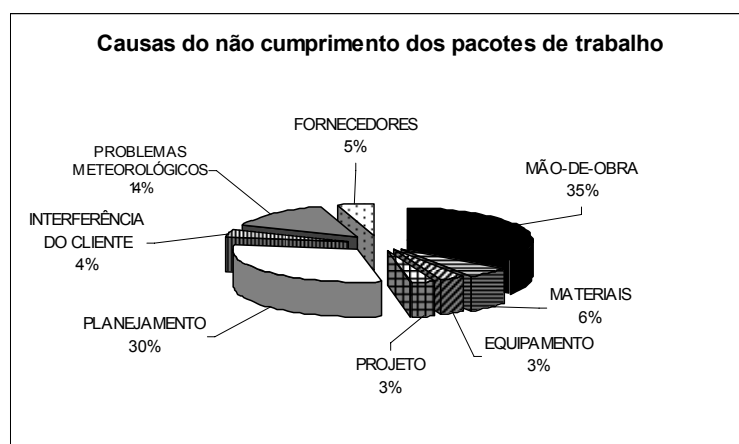


Figura 21: distribuição das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho em 105 empreendimentos

Tabela 22: Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho em cada um dos segmentos de mercado

	Todas as Obras	Obras Industriais e Comerciais	Incorporações Residenciais ou Comerciais	Habitação de Interesse Social	Obras Públicas Diversas
Mão-de-obra	34,77%	30,34%	40,74%	42,45%	29,66%
Materiais	5,82%	5,78%	7,85%	2,99%	10,17%
Equipamento	3,39%	3,61%	1,69%	4,83%	2,54%
Projeto	2,83%	3,81%	2,02%	0,80%	1,27%
Planejamento	30,29%	30,59%	33,10%	26,66%	24,15%
Interferência do Cliente	4,08%	6,79%	0,21%	0,00%	4,24%
Problemas Meteorológicos	14,17%	14,59%	9,46%	17,44%	22,88%
Fornecedores	4,66%	4,49%	4,92%	4,83%	5,08%

Na figura 21, percebe-se que os problemas mais frequentes estão relacionados às categorias mão-de-obra e planejamento. Estas também receberam um maior número de ocorrências em cada um dos três nichos de mercado e nas obras públicas diversas (tabela 22). A grande concentração desses problemas com origem predominantemente interna das construtoras sugere, em um primeiro momento, que o processo de PCP precisa ser melhorado. Contudo, é necessária uma análise mais detalhada da evolução, buscando uma possível relação da

redução dos problemas de origem interna ao longo do tempo, o que será analisado mais a frente.

A grande incidência de problemas nas classes de mão-de-obra e planejamento também foi observada em outros estudos desenvolvidos no Chile e na Colômbia, descritos na seção 2.4.2. No trabalho de Gonzalez (2003b), nas obras do Chile, o problema “falha de programação” está entre os cinco principais problemas apontados entre os anos de 2001 e 2003. Nas obras da Colômbia (BOTERO; ALVAREZ, 2005), 63% dos problemas devem-se à mão-de-obra subcontratada e ao atraso da tarefa antecedente.

Na tabela 22, somadas as categorias que compõem os problemas com origem predominantemente interna, os mesmos correspondem a, aproximadamente, 70% das ocorrências do não cumprimento das atividades. Problemas relacionados às condições meteorológicas revelam-se mais importantes em canteiros horizontais - como as habitações de interesse social e as obras públicas diversas. Nesses empreendimentos, a média de problemas devido às condições meteorológicas é de 20,16%, contra 12,03% dos demais nichos. Mesmo assim, os problemas de origem externa têm uma incidência bem menor em todos os segmentos, não chegando, em média, a 30% do total.

Na Figura 22, faz-se uma comparação entre o PPC da obra e a origem (interna ou externa) dos problemas. Na figura 23, este gráfico é desdobrado, com o registro de problemas para cada categoria em diferentes níveis de PPC.

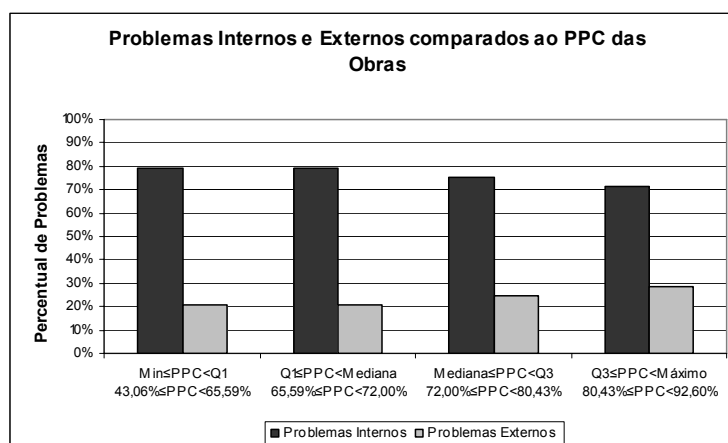


Figura 22: comparação dos problemas internos e externos com o PPC da obra

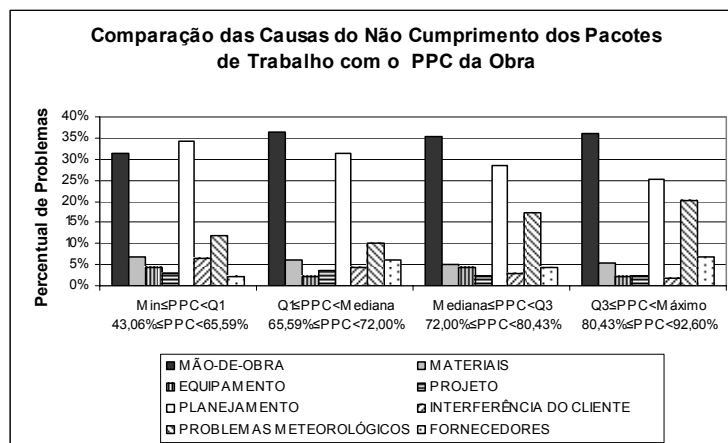


Figura 23: comparação das categorias do não cumprimento dos pacotes de trabalho com o PPC da obra

Na figura 22, percebe-se uma pequena tendência de diminuição do percentual de problemas com origem predominantemente interna para o conjunto de empreendimentos avaliado, à medida que o PPC da obra aumenta. Na figura 23, pode-se observar que a categoria que mais contribui para a redução dos problemas de origem interna é a redução das falhas no planejamento. Nesta mesma figura, também se percebe que outros problemas com origem predominante em processos internos das construtoras permanecem sem muita variação, como a “mão-de-obra”, por exemplo. Quanto aos pacotes não concluídos com origem predominantemente externa percebe-se, proporcionalmente, um aumento das ocorrências de problemas meteorológicos e de fornecedores. Esse resultado era esperado, visto que o aumento na medida da confiabilidade do planejamento (PPC) deve acompanhar a diminuição de problemas com origem predominantemente interna, contribuindo com a estabilização desse processo (BALLARD; HOWELL, 1997c). Para esses mesmos autores, é esperada uma tendência no aumento proporcional das ocorrências com origem predominantemente externa, já que as mesmas são mais difíceis de serem controladas. Entretanto, até o momento essa era uma proposição de Ballard e Howell (1997c) com base na análise de obras isoladas. No modelo 6 da seção 5.4.4.1 a relação da origem dos problemas com o PPC será novamente avaliada.

Também foram realizadas análises mais específicas das sub-categorias de causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, apresentadas nas figuras 24, 25, 26 e 27, para a amostra geral e para cada um dos três nichos de mercado, respectivamente. Mais uma vez, não se

deteve na análise do grupo “outras obras públicas”, por se tratar de uma amostra muito reduzida, de empreendimentos muito diversificados.

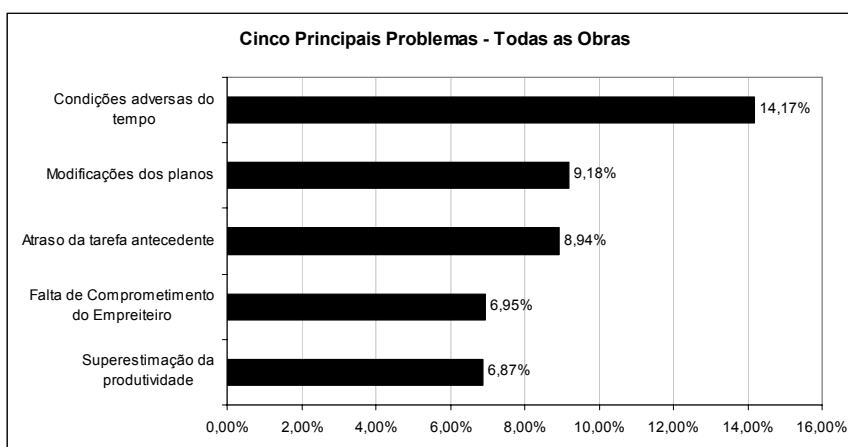


Figura 24: principais sub-categorias de problemas na amostra de 105 empreendimentos

Entre as cinco principais sub-categorias de problemas na amostra geral da figura 24, a de maior ocorrência são as condições adversas do tempo, com 14,17% do total. Os dois itens seguintes são da categoria de planejamento (modificação dos planos e atraso da tarefa antecedente) e indicam a ocorrência de problemas na programação do fluxo de trabalho para as equipes de produção. Isso é percebido pela redução da confiabilidade do que será produzido (visto que os planos iniciais precisam ser modificados) e de quando será executado (representado pelo atraso da tarefa predecessora). Essa etapa pode ser melhorada, por exemplo, com uma análise de restrições mais criteriosa e um esforço mais sistemático para a remoção das mesmas, para proteger a produção dessas incertezas no curto prazo (BALLARD; HOWELL, 1997c).

As duas últimas sub-categorias da figura 24 pertencem ao grupo de mão-de-obra e estão bastante vinculadas à qualidade do plano de curto prazo. A “falta de comprometimento dos sub-empreiteiros” parece indicar que os responsáveis pela equipe de produção não estão se engajando durante a discussão dos pacotes de trabalho das atividades que realmente podem ser executadas, o que também pode apresentar reflexos na aceitação de atividades acima de sua capacidade produtiva (representado na superestimação da produtividade). Isso pode ser consequência até mesmo do tipo de remuneração que os empreiteiros têm com a construtora. Se os mesmos recebem por produção, por exemplo, acabam se comprometendo por frentes de

trabalho a mais para não limitarem suas tarefas e seus ganhos para o pagamento da mão-de-obra.

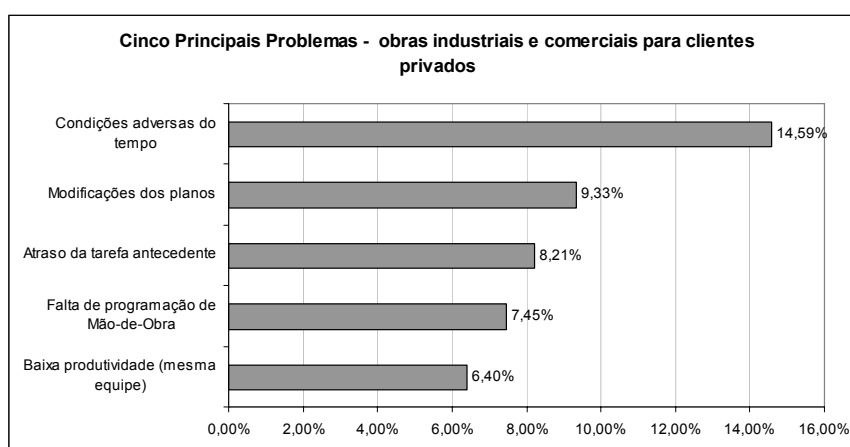


Figura 25: principais problemas nas obras industriais e comerciais para clientes privados (58 obras)

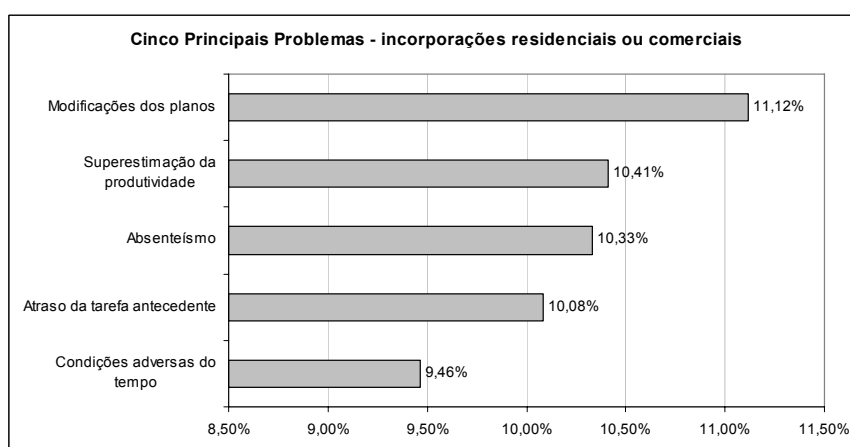


Figura 26: principais problemas nas incorporações residenciais ou comerciais (17 obras)

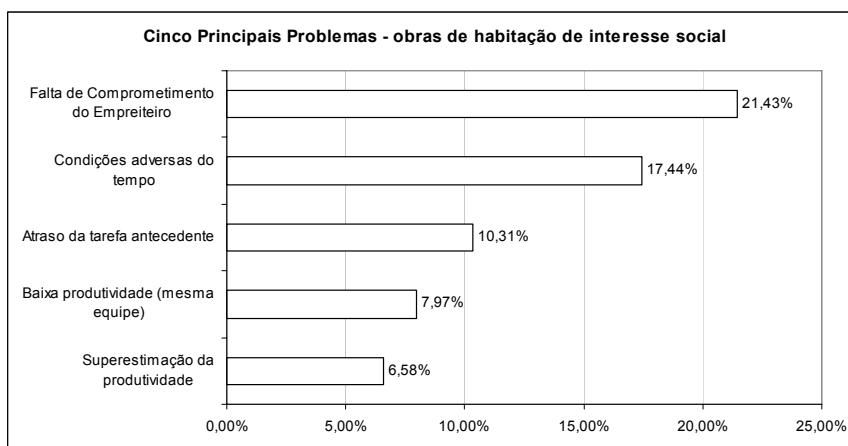


Figura 27: principais problemas nas obras de habitação de interesse social (20 obras)

Nas obras industriais e comerciais para clientes privados (figura 25), a grande ocorrência de problemas de planejamento (“modificações dos planos” e “atraso da tarefa antecedente”) pode ser devido à grande complexidade envolvida na execução desses empreendimentos, em geral com um prazo bastante reduzido.

No segmento das incorporações residenciais ou comerciais (figura 26), as condições meteorológicas não apresentam um percentual tão grande de ocorrências quando comparado aos outros nichos. Esse resultado era esperado, visto que essas edificações são, em grande parte, verticais, não existindo, portanto, uma grande área sujeita a intempéries. Nesse setor, pode-se perceber a necessidade da melhoria das etapas de planejamento de curto e de médio prazo para melhorar o fluxo de trabalho, cujos problemas foram observados através do grande número de ocorrências de “modificações dos planos”, “superestimação da produtividade” e “atraso da tarefa antecedente”.

Nas obras de habitação de interesse social (figura 27) o grande número de registros de “falta de comprometimento do empreiteiro” e de “atraso da tarefa antecedente” em parte pode ser explicado por falhas no planejamento e controle dos fluxos físicos, problemas já indicados em um estudo anterior em obras desse segmento de mercado (ALVES *et al.*, 2002). Uma outra explicação possível é que os empreiteiros possuam uma baixa qualidade técnica, sendo selecionados pelo critério do menor preço. A grande ocorrência de “condições adversas do tempo” também era esperada para esse nicho, visto que os canteiros desses empreendimentos são, predominantemente, horizontais.

Até então, as análises restringiram-se as causas globais do não cumprimento das tarefas nos empreendimentos. Nas seções seguintes, são apresentadas análises referentes ao horizonte semanal, utilizado para o planejamento de curto prazo.

## 5.4 USO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA EXPLICAR A VARIÂNCIA DO PPC SEMANAL

### 5.4.1 Definição das Variáveis

O banco de dados com os registros semanais do PPC e das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho foi composto por medidas de 96 empreendimentos, totalizando 1792 registros.

Com o objetivo de explicar a variância do Percentual de Pacotes Concluídos coletado semanalmente, utilizou-se a técnica da regressão múltipla para investigar o modelo resultante, a partir das seguintes variáveis disponíveis:

- a) causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, agrupadas em nove categorias: mão-de-obra, materiais, equipamento, projeto, planejamento, interferência dos clientes, problemas meteorológicos, fornecedores e problemas não classificados. Do item anterior (5.3) o grupo “problemas não classificados” foi acrescentado para avaliar a importância dos pacotes não concluídos e que não tiveram as causas do não cumprimento dos mesmos identificadas;
- b) semana da obra;
- c) número de pacotes planejados;
- d) número de tarefas executadas.

Inicialmente avaliou-se, através de uma análise gráfica bivariada, se cada uma dessas variáveis apresentava um comportamento linear quando comparado ao PPC semanal. Esses gráficos estão representados no Anexo B. Desses resultados, percebe-se que nas regressoras “semana”, “número de pacotes planejados” e “número de tarefas executadas” há a possibilidade de aumentar essa relação linear através de uma transformação, medido através do incremento no coeficiente de determinação. Considerando a forma da distribuição desses dados, as seguintes transformações foram testadas (com base em Hair *et al.*, 2005): o logaritmo dessa variável, a sua inversa negativa e a raiz quadrada. Em um processo de

tentativa e erro, não se observou melhorias no coeficiente de determinação para as regressoras “semana” e “número de pacotes planejados”. Entretanto, para o “número de tarefas executadas”, essa medida aumentou de 2,46% para 21,11% com uma transformação logarítmica.

#### 5.4.2 Limpeza Inicial dos Dados

Uma vez definidas as variáveis a serem utilizadas nessa análise, foi utilizada a estatística descritiva para a exploração dos limites do conteúdo das variáveis numéricas. Essas medidas estatísticas encontram-se na tabela 23.

Tabela 23: Descrição das Variáveis

	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Mão-de-obra</b>	nº ocorrências	0,00	32,00	1,94	3,05
<b>Materiais</b>	nº ocorrências	0,00	9,00	0,31	0,84
<b>Equipamento</b>	nº ocorrências	0,00	14,00	0,20	0,92
<b>Projeto</b>	nº ocorrências	0,00	5,00	0,16	0,57
<b>Planejamento</b>	nº ocorrências	0,00	28,00	1,74	2,66
<b>Interferência dos Clientes</b>	nº ocorrências	0,00	17,00	0,25	1,14
<b>Problemas Meteorológicos</b>	nº ocorrências	0,00	24,00	0,83	2,26
<b>Fornecedores</b>	nº ocorrências	0,00	15,00	0,28	0,91
<b>Problemas não classificados</b>	nº ocorrências	0,00	145,00	1,51	8,14
<b>Semana</b>	semana	1,00	112,00	18,57	19,08
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	pacotes planejados	1,00	214,00	24,64	20,55
<b>log (Número de Tarefas Executadas)</b>	-	-5,00	1,99	1,05	0,75
<b>PPC</b>	%	0,00	1,00	0,73	0,19

Embora essa análise seja bastante simplificada, é a primeira etapa de busca dos erros após o agrupamento dos dados. Na tabela 23, entre as nove categorias que registram as causas do não



cumprimento dos pacotes de trabalho, os valores de mínimo igual a zero eram esperados, visto que 163 dos 1792 casos dessa base possuem o PPC semanal de 100%. Entretanto, na variável número de pacotes planejados, esse valor nulo não é possível, já que indica que não ocorreu o planejamento naquele período. O valor mínimo para a variável semana também é “1”, que corresponde à primeira semana da coleta de dados. Na transformação do logaritmo do número das tarefas executadas, quando o PPC era zero havia uma indeterminação para a obtenção desse valor, já que o logaritmo de zero na base 10 “não existe”. Por essa razão, utilizou-se o número 0,00001 quando nenhuma tarefa havia sido executada. O logaritmo desse valor para base 10 é -5, que é o resultado de mínimo registrado para essa variável.

Quanto aos resultados de máximo registrados na tabela 23, não é possível identificar as variáveis que possuem valores discrepantes, devido à alta variabilidade do número de pacotes planejados, que é particular de cada obra e que não pode ser considerado um erro. Entretanto, nesse conjunto de medidas chama a atenção o valor máximo do “número de pacotes de trabalho planejados” (214). Esse detalhamento excessivo das tarefas é bastante observado em empreendimentos com um maior nível de incertezas, visto que três das quatro obras que registraram mais que 80 pacotes de trabalho semanais pertencem ao nicho das obras industriais ou comerciais para clientes privados. Na amostra total, 98% dos casos possuem até 80 atividades semanais planejadas.

Como essa primeira etapa com os resultados de estatística descritiva não foi muito esclarecedora na busca dos casos discrepantes, foi realizada uma segunda análise. Nela, comparou-se o número de pacotes não executados com a soma dos registros das categorias mão-de-obra, materiais, equipamento, projeto, planejamento, interferência dos clientes, problemas meteorológicos e fornecedores. Considerou-se que, para cada pacote de trabalho não concluído fossem atribuídas, no máximo, duas causas para o não cumprimento do pacote de trabalho, conforme descrito na seção 4.5.1.1.

Assim, foram assinalados 45 casos em que as tarefas não concluídas foram atribuídas a mais de duas causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho como possíveis dados espúrios (*outliers*). Eles foram originados de 19 obras diferentes, sendo 11 delas provenientes de medições de empresas e 8 do banco de dados inicial do NORIE/UFRGS. Em 20 desses registros, foram identificados valores de causas dos pacotes não concluídos em semanas com o valor do PPC de 100%, evidenciando os equívocos. Nos 25 registros restantes o excesso de

atribuição de problemas a uma atividade não concluída pode até mesmo ser originada de falhas durante o manuseio desses dados. Contudo, como não se teve acesso à maior parte destas planilhas semanais não foi possível analisar mais a fundo este problema e o mesmo requer atenção porque, entre as planilhas verificadas, não se identificou mais que dois problemas por pacote não concluído. Conforme descrito na seção 4.5.1.1 esses registros suspeitos não foram eliminados, apenas marcados através de uma variável identificadora, permitindo eventuais correções futuras. Assim, esse atributo denominado “Excluídos” assumiu o valor “0” para os casos com até duas causas para cada atividade não concluída e “1” para os demais.

Quanto aos valores faltantes, em 73 casos não havia registro do número de pacotes planejados nem dos executados. A variável obtida da transformação logarítmica do número de tarefas executadas foi considerada relevante para a análise de regressão, sendo sua importância individual evidenciada pelo maior coeficiente de determinação, em relação ao PPC semanal, conforme consta no Anexo B. Por esta razão, decidiu-se não considerar esses casos. Segundo Hair *et al.* (2005) o uso dos registros que possuem todos os casos completos somente é possível quando existirem poucos dados faltantes, comparado à amostra total – nessa base de dados, correspondem a 4%. Esses valores também foram identificados através da variável “Excluídos”, com a atribuição do valor “2”.

Dessa forma, entre os 1792 registros originais, não foram considerados os 45 casos com mais que 2 problemas associados a uma tarefa não concluída e os 73 casos em que havia valores faltantes no número de pacotes planejados ou executados, resultando em 1674 registros. Provavelmente a omissão desses 118 valores não deve distorcer o resultado da análise, já que correspondem a apenas 6,6 % da amostra original.

#### 5.4.3 Correlações entre as variáveis

Após a etapa de limpeza dos dados, foram avaliadas as correlações entre as variáveis no conjunto de 1674 registros, indicados na tabela 24. Na etapa seguinte, onde os modelos de regressão são descritos, a relação entre cada variável comparada ao conjunto dos outros atributos será avaliada, através da análise de multicolinearidade.

Tabela 24: matriz de correlações entre o conjunto de variáveis  
(N=1674)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Mão-de-obra	1	0,17 <sup>b</sup>	0,00	0,10 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,05	0,01	0,04	-0,05 <sup>a</sup>	0,25 <sup>b</sup>	0,40 <sup>b</sup>	0,18 <sup>b</sup>	-0,24 <sup>b</sup>
2. Materiais		1	0,00	0,15 <sup>b</sup>	0,21 <sup>b</sup>	0,02	0,00	0,02	0,04	0,08 <sup>b</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,08 <sup>b</sup>	-0,15 <sup>b</sup>
3. Equipamento			1	0,02	0,09 <sup>b</sup>	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,14 <sup>b</sup>	0,07 <sup>b</sup>	-0,08 <sup>b</sup>
4. Projeto				1	0,16 <sup>b</sup>	0,09 <sup>b</sup>	-0,03	0,07 <sup>b</sup>	0,00	0,03	0,13 <sup>b</sup>	0,06 <sup>a</sup>	-0,15 <sup>b</sup>
5. Planejamento					1	0,16 <sup>b</sup>	-0,01	0,02	0,04	0,17 <sup>b</sup>	0,43 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	-0,29 <sup>b</sup>
6. Interferência dos Clientes						1	0,00	-0,02	0,02	-0,05	0,15 <sup>b</sup>	0,07 <sup>b</sup>	-0,16 <sup>b</sup>
7. Problemas Meteorológicos							1	-0,02	-0,04	0,01	0,14 <sup>b</sup>	0,04	-0,24 <sup>b</sup>
8. Fornecedores								1	-0,04	0,05 <sup>a</sup>	0,09 <sup>b</sup>	0,06 <sup>a</sup>	-0,09 <sup>b</sup>
9. Problemas não classificados									1	0,26 <sup>b</sup>	0,60 <sup>b</sup>	0,04	-0,25 <sup>b</sup>
10. Semana										1	0,39 <sup>b</sup>	0,21 <sup>b</sup>	-0,05 <sup>a</sup>
11. Número de Pacotes Planejados											1	0,43 <sup>b</sup>	-0,11 <sup>b</sup>
12. log (Número de Tarefas Executadas)												1	0,47 <sup>b</sup>
13. PPC													1

a: significância<0,05; b: significância<0,01.

Segundo Hair *et al.*(2005), para uma análise de regressão múltipla é desejável que as correlações entre as preditoras seja baixa e que a correlação de cada uma delas com a variável dependente seja alta. De acordo com a tabela 24, a correlação da maioria das variáveis independentes apresentou nível de significância abaixo de 1% quando comparadas ao PPC. Quanto às correlações entre as variáveis independentes, o maior valor foi obtido entre os “problemas não classificados” e o “número de pacotes planejados”, com  $r=0,6$  e significância <1%. Com base nesse valor, pode-se inferir que o detalhamento excessivo de pacotes de trabalho tende a sobrecarregar o responsável pelo planejamento sem trazer benefícios ao processo visto que, quanto maior o número de atividades planejadas, maior o número de problemas não classificados.

Os resultados da tabela 24 também confirmam a premissa de que as variáveis que caracterizam as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho contribuem negativamente para a explicação da variância do PPC semanal, ao contrário do logaritmo do número de tarefas executadas. A única relação que surpreendeu para o conjunto de dados existente foi a da variável “semana”, em que se esperava uma relação positiva com o PPC, caracterizando o aumento dessas medidas ao longo do tempo. Uma explicação possível é que o prazo reduzido para a execução dos serviços faltantes, em função de estar próxima a entrega da obra, contribua para a inclusão de algumas atividades no plano de curto prazo cujas restrições não foram removidas.

#### 5.4.4 Resultados da Análise de Regressão

As variáveis descritas no item 5.4.1 foram avaliadas para cada um dos modelos gerados nesta seção e aquelas que foram selecionadas - regressoras com nível de significância menor que 10% - foram registradas em tabelas, com seus respectivos coeficientes (b), coeficientes  $\beta$  e seus valores t. Além disso, nessas tabelas também foram incluídos indicadores de ajustamento, como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) para permitir a comparação entre os modelos, o teste de variância (F), o número de regressoras (K), o número de casos (N) e o número de dados espúrios. Por fim, o problema da multicolinearidade – ou seja, quando qualquer variável preditora é altamente correlacionada com um conjunto de outras variáveis independentes - é indicado pelo valor da tolerância. Esse resultado, por sua vez, deve ser maior que  $1-R^2$ , para que a variável considerada não seja bem predita pelas demais regressoras (HAIR *et al.*, 2005).

Em relação ao teste de variância (F), os mesmos foram apenas indicados nas tabelas sem se deter em comentários de significância, uma vez que estas medidas sempre ficaram abaixo de 1%.

Finalmente, como verificações das condições básicas da técnica de regressão, apresentaram-se alguns gráficos de resíduos: resíduos x curva normal, resíduos padronizados x valores estimados pela equação padronizados, e resíduos x valores originais. Com o objetivo de simplificar o texto e evitar repetições, esses gráficos foram indicados apenas para os primeiros modelos, já que os problemas que foram percebidos também se repetiram para os demais.

#### 5.4.4.1 Análise de Regressão na Amostra Total

No primeiro modelo gerado para a amostra total, apenas a preditora “semana” excedeu o nível de significância de 10% adotado para este trabalho (16,20%). Em uma análise seguinte, sem essa regressora, todas as variáveis independentes possuíam os valores de significância menores do que 10%. Entretanto, na avaliação da multicolinearidade, o valor da tolerância foi abaixo de  $1-R^2$  para a variável “número de pacotes planejados” e a mesma foi retirada da análise. O modelo final para a amostra total é apresentado na tabela 25, como Modelo 1. Esta tabela foi apresentada mais a frente, juntamente com o modelo 2. Os gráficos dos resíduos da presente análise estão representados nas figuras 28, 29 e 30.

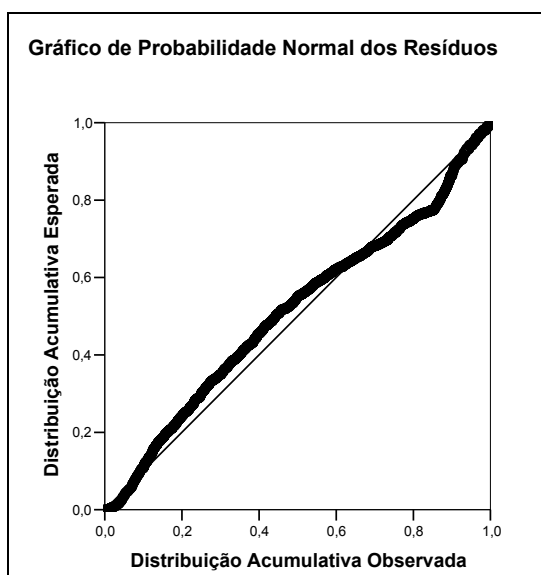


Figura 28: gráfico de probabilidade normal dos resíduos na amostra total

A análise da figura 28 indica uma aproximação do comportamento dos resíduos com a curva normal. Os sinais de fuga à normalidade são toleráveis, devido ao tamanho da amostra e da variabilidade associada aos dados, com origem em empreendimentos de diferentes nichos e englobando todas as fases da construção.

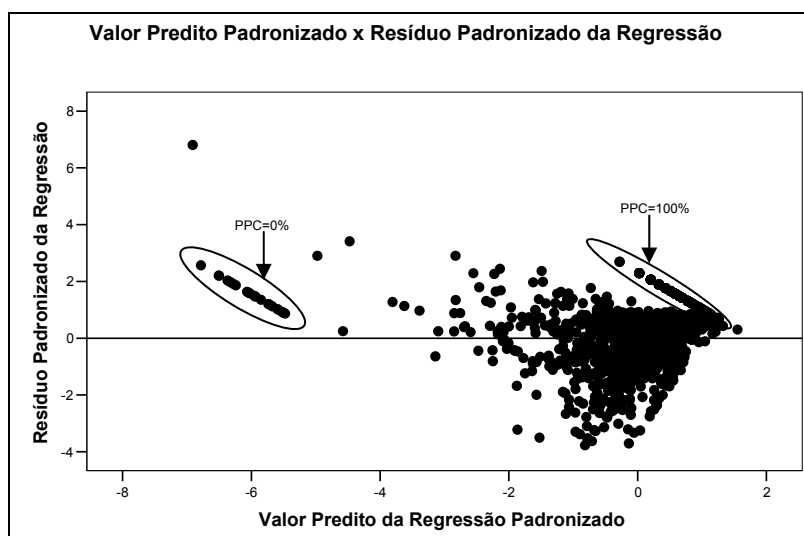


Figura 29: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total

Na figura 29, observa-se claramente o desenvolvimento de dois grupos nos quais os erros não se desenvolveram de forma aleatória. Esses casos foram identificados como aqueles que possuíam o PPC semanal de 100% e aqueles com o PPC semanal nulo. Assim, percebe-se que as variáveis coletadas e que foram utilizadas na análise não auxiliaram para a predição dos valores nesses dois extremos.

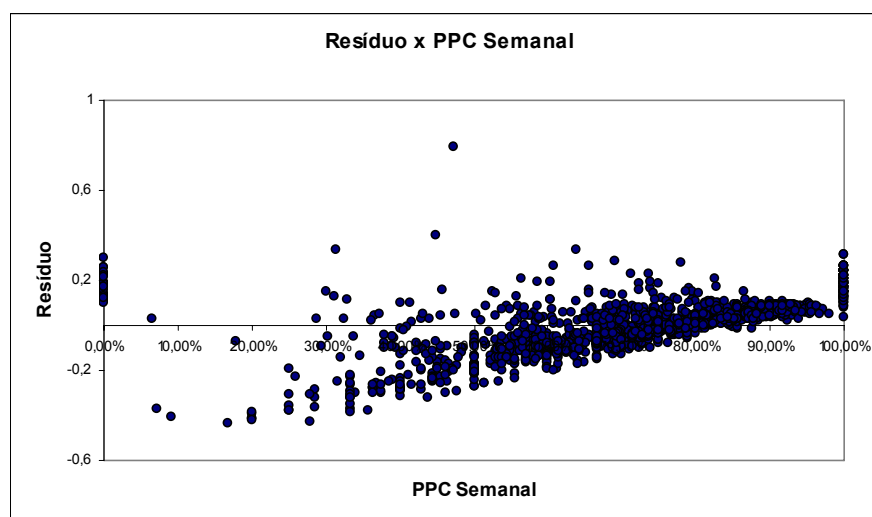


Figura 30: resíduo x PPC semanal

Na figura 30, por sua vez, comparou-se o resíduo da análise de regressão com o valor coletado do PPC semanal. Nesse caso, pode-se visualizar uma tendência de crescimento do valor do resíduo à medida que o PPC se aproxima dos extremos. Nas figuras 29 e 30, a

distribuição ideal seria de um gráfico nulo, com valores do resíduo variando aleatoriamente ao redor do zero, indicando que não houve problemas com heterocedasticidade, auto-correlação, omissão de variáveis e não linearidade. Assim, a formação de grupos bem definidos na figura 29 pode indicar um erro na concepção do modelo, em que uma ou mais variáveis importantes não estão sendo coletadas ou ainda problemas com os dados existentes.

A falta da coleta de variáveis importantes também pôde ser percebida na análise dos dados espúrios. Para a identificação desses valores considerou-se a sugestão de Hair *et al.* (2005) de assinalar todos os casos com resíduos padronizados superiores aos intervalos de 3 a 4 desvios-padrão, em amostras com mais de 80 observações. Para o Modelo 1, 1,14% (19 em 1674) dos valores apresentaram resíduos padronizados acima de 3 desvios-padrão, em módulo. Entre as semelhanças dos casos desse grupo, o PPC semanal dos mesmos é baixo (inferior a 50%). Assim, pode-se concluir que variáveis importantes para a explicação de valores com PPC semanal abaixo de 50% não estão sendo coletadas. Todos esses casos foram mantidos, seguindo a recomendação de Hair *et al.* (2005) de não eliminar valores a menos que existam provas concretas de que são discrepantes e que não são representativos de quaisquer observações da população, de forma a não prejudicar a generalização. Como os valores conferiram com os dados fornecidos, verificou-se, assim, que não se trataram de equívocos durante a criação do banco de dados. Além disso, apenas 5,26% (1 de 19) desses valores espúrios apresentavam um resíduo padronizado acima de 4 desvios-padrão.

Em uma nova análise de regressão, avaliou-se se a ausência dos valores extremos contribui para uma distribuição dos resíduos próxima a um gráfico nulo. Os resultados estão descritos na tabela 25, como Modelo 2. Na figura 31, pode-se observar o desaparecimento de um dos grupos. Também os valores com PPC mais elevado (acima de 85%) já não se apresentam tão destacados dos outros dados. Entretanto, o Modelo 1 ainda caracteriza melhor o comportamento da amostra e não prejudica a generalização dos resultados. Contudo, fica a ressalva de que, para o conjunto de variáveis analisadas, faltam fatores que auxiliem na predição de valores quando o PPC estiver em um dos extremos.

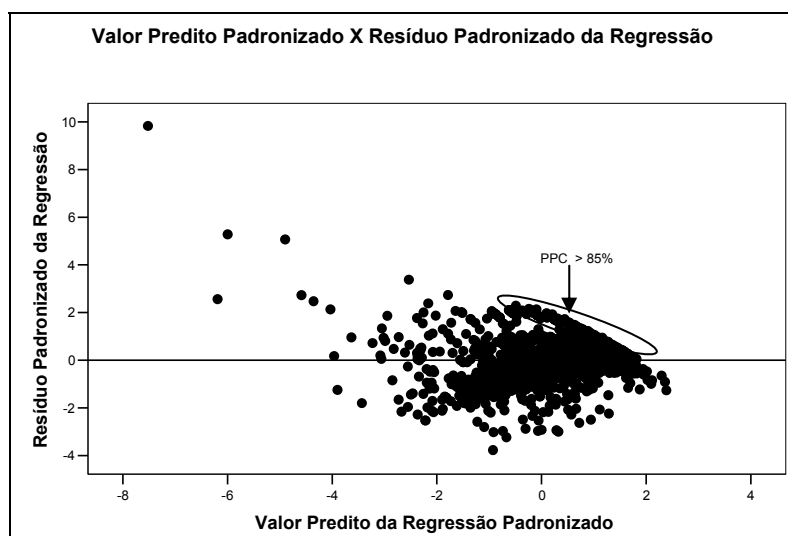


Figura 31: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total sem os valores extremos

Tabela 25: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelos 1 e 2

	Modelo 1				Modelo 2			
	b	$\beta$	t	Tolerância	b	$\beta$	t	Tolerância
CONSTANTE	0,687		130,930		0,437		56,384	
Mão-de-obra	-0,016	-0,260	-16,347	0,877	-0,019	-0,363	-25,285	0,825
Materiais	-0,018	-0,073	-4,691	0,927	-0,017	-0,088	-6,554	0,935
Equipamento	-0,020	-0,099	-6,608	0,986	-0,025	-0,152	-11,507	0,973
Projeto	-0,033	-0,101	-6,600	0,950	-0,029	-0,110	-8,272	0,956
Planejamento	-0,018	-0,244	-15,041	0,841	-0,020	-0,333	-23,267	0,832
Interferência dos Clientes	-0,022	-0,134	-8,870	0,968	-0,023	-0,174	-13,090	0,960
Problemas Meteorológicos	-0,024	-0,286	-19,114	0,994	-0,023	-0,343	-26,099	0,986
Fornecedores	-0,026	-0,124	-8,293	0,988	-0,025	-0,150	-11,391	0,984
Problemas não classificados	-0,007	-0,288	-19,204	0,986	-0,008	-0,435	-31,158	0,876
Semana	Significância >10%				0,000	-0,029 <sup>b</sup>	-1,993	0,814
Número de Pacotes Planejados	Tolerância <1-R <sup>2</sup>				Tolerância <1-R <sup>2</sup>			
log( Número de tarefas executadas)	0,154	0,617	40,119	0,940	0,368	0,767	50,683	0,745



Tabela 25(cont.): Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelos 1 e 2

	Modelo 1	Modelo 2
<b>R<sup>2</sup></b>	63,09%	74,43%
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	62,86%	74,24%
<b>F</b>	284,20	396,86
<b>N</b>	1674	1512
<b>K</b>	10	11
<b>Outliers</b>	19	7

b: significância<0,05; nos demais: significância<0,01

Como apenas aproximadamente 63% da variância do PPC semanal é explicada pelas variáveis coletadas (valor do coeficiente de determinação ajustado, na tabela 25), passou-se a investigar como aumentar esse valor. Entretanto, antes da busca por variáveis relevantes que foram omitidas, avaliou-se a qualidade dos dados na presente amostra.

Foi gerado um modelo apenas com os casos que possuíam a análise de todos os pacotes de trabalho que não foram concluídos. Essa é uma evidência de que os valores foram coletados com maior cuidado e com maior qualidade. O resultado está descrito na tabela 26, identificado como Modelo 3. No gráfico de comparação dos valores preditos padronizados da regressão com os resíduos padronizados da regressão (figura 32) novamente foi possível identificar dois grupos de erros na predição que não ocorreram de forma aleatória, com o PPC=0% e PPC=100%.

Na avaliação seguinte, para investigar a influência dos casos com maior qualidade, foram considerados apenas os registros das obras que contaram com a presença de algum pesquisador. Esse resultado está apresentado na tabela 26 como Modelo 4. Seu respectivo gráfico de resíduos está representado na figura 33.

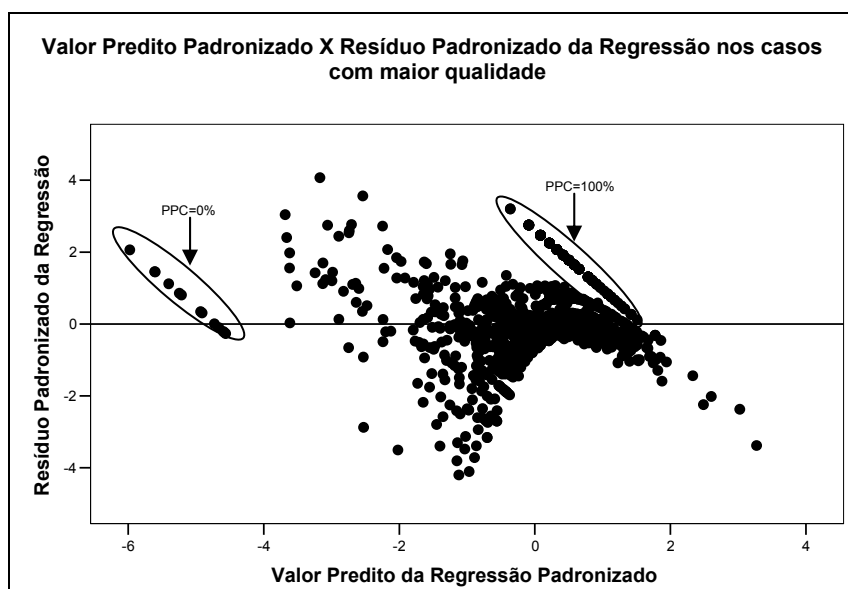


Figura 32: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total com os casos com maior qualidade

Tabela 26: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelos 3 e 4

	Modelo 3				Modelo 4			
	b	$\beta$	t	Tolerância	b	$\beta$	t	Tolerância
CONSTANTE	0,687		130,926		0,654		84,158	
Mão-de-obra	-0,029	-0,473	-27,425	0,670	-0,039	-0,433	-17,716	0,644
Materiais	-0,034	-0,142	-9,694	0,928	-0,042	-0,181	-8,438	0,836
Equipamento	-0,035	-0,179	-12,288	0,946	-0,047	-0,113	-5,560	0,933
Projeto	-0,045	-0,141	-9,785	0,958	-0,049	-0,169	-8,344	0,939
Planejamento	-0,031	-0,409	-25,248	0,761	-0,037	-0,404	-17,341	0,712
Interferência dos Clientes	-0,029	-0,184	-12,574	0,932	-0,027	-0,106	-5,099	0,894
Problemas Meteorológicos	-0,032	-0,415	-27,649	0,885	-0,042	-0,298	-14,563	0,920
Fornecedores	-0,036	-0,187	-12,907	0,956	-0,053	-0,190	-9,442	0,952
Problemas não classificados	Não foi avaliado.				-0,028	-0,357	-14,556	0,640
Semana	Significância >10%				Significância >10%			
Número de Pacotes Planejados	0,005	0,418	17,755	0,361	0,009	0,606	17,958	0,338
log( Número de tarefas executadas)	0,127	0,470	27,819	0,699	0,096	0,493	19,822	0,623

Tabela 26 (cont.): Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelos 3 e 4

	Modelo 3	Modelo 4
$R^2$	73,20%	77,55%
$R^2$ ajustado	73,00%	77,13%
F	336,31	182,77
N	1352	594
K	10	11
Outliers	18	5

significância < 0,01 para todas as preditoras

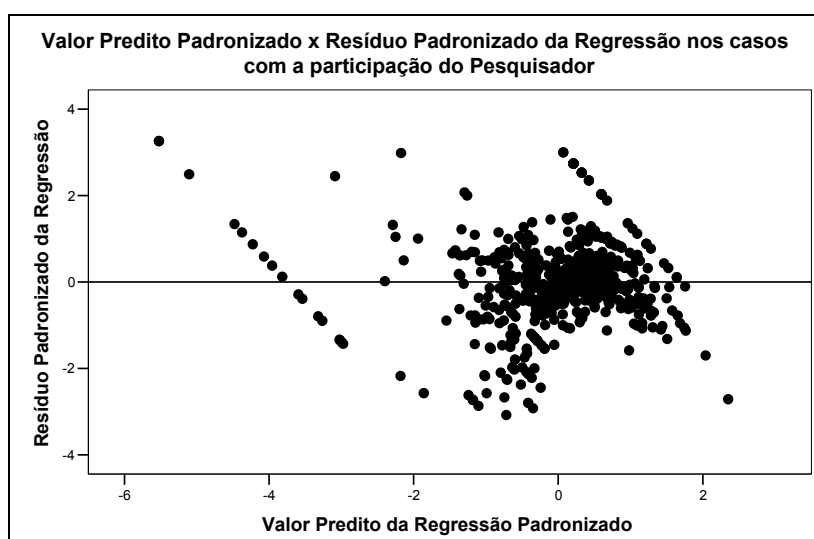


Figura 33: valor predito padronizado x resíduo padronizado na amostra total com os casos que contaram com a participação de pesquisadores

Os coeficientes de determinação ajustados indicam uma melhora dos modelos gerados a partir desses valores coletados com maior qualidade (modelos 3 e 4) comparados ao modelo 1. Os gráficos de resíduos resultantes também não apresentaram a distribuição aleatória dos erros. Por essa razão, passou-se a investigar outras variáveis que poderiam ser inseridas para refinar o modelo.

Inicialmente, foram acrescentadas três variáveis dicotômicas ao grupo das preditoras, que foram apresentadas na seção 5.2 e que se mostraram importantes na comparação entre os subgrupos com o PPC médio dos empreendimentos: existência de análise de restrições,

sistema de gestão da qualidade certificado e presença do pesquisador. O resultado está apresentado na tabela 27. Para esse modelo, as variáveis retiradas por excederem o nível de significância de 10% foram a existência do sistema de gestão da qualidade certificado e a semana. Na avaliação da multicolinearidade, a variável "número de pacotes planejados" apresentou o valor da medida estatística da tolerância abaixo de  $1-R^2$  e também foi retirada da análise.

Tabela 27: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelo 5

	<b>b</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	0,711		120,151	
<b>Análise de Restrições</b>	-0,018	-0,044	-2,673	0,778
<b>Acompanhamento do Pesquisador</b>	-0,042	-0,105	-6,638	0,857
<b>Sistema de gestão da qualidade certificado</b>	Significância >10%			
<b>Mão-de-obra</b>	-0,016	-0,260	-16,525	0,865
<b>Materiais</b>	-0,014	-0,059	-3,839	0,913
<b>Equipamento</b>	-0,021	-0,105	-7,127	0,980
<b>Projeto</b>	-0,027	-0,083	-5,445	0,911
<b>Planejamento</b>	-0,017	-0,232	-14,431	0,827
<b>Interferência dos Clientes</b>	-0,023	-0,135	-8,967	0,946
<b>Problemas Meteorológicos</b>	-0,025	-0,298	-20,198	0,984
<b>Fornecedores</b>	-0,027	-0,128	-8,677	0,986
<b>Problemas não classificados</b>	-0,007	-0,289	-19,276	0,949
<b>Semana</b>	Significância >10%			
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	Tolerância < $1-R^2$			
<b>log( Número de tarefas executadas)</b>	0,150	0,597	39,151	0,917
<b>R<sup>2</sup></b>	64,51%			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	64,26%			
<b>F</b>	251,644			
<b>N</b>	1674			
<b>K</b>	12			
<b>Outliers</b>	19			

significância < 0,01 para todas as predictoras

Comparando o modelo 5 (tabela 27) com o modelo 1 (tabela 25), percebe-se que o aumento no coeficiente de determinação ajustado foi muito reduzido. Por essa razão, para as análises seguintes essas três variáveis dicotômicas – análise de restrições, acompanhamento do pesquisador e sistema de gestão da qualidade certificado - não foram incluídas. Quanto aos gráficos de resíduos, os resultados também foram semelhantes ao modelo 1 e, por essa razão, não foram apresentados.

Em outra investigação para essa amostra total, avaliou-se o comportamento em uma análise de regressão com as variáveis das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho mais agregadas, verificando se há uma melhora para o modelo gerado. Assim, considerou-se o grupo dos problemas com origem predominantemente interna e os problemas de origem externa. Os resultados dessa análise estão na tabela 28 (Modelo 6).

Tabela 28: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelo 6

	<b>b</b>	<b>β</b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	,686		130,945	
<b>Problemas Internos</b>	-,018	-,470	-30,625	,946
<b>Problemas Externos</b>	-,024	-,337	-22,418	,989
<b>Problemas Não Classificados</b>	-,007	-,288	-19,279	,996
<b>Semana</b>	Significância >10%			
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	Tolerância <1-R <sup>2</sup>			
<b>log(Número de tarefas executadas)</b>	,154	,617	40,083	,942
<b>R<sup>2</sup></b>	62,80%			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	62,71%			
<b>F</b>	704,48			
<b>N</b>	1674			
<b>K</b>	4			
<b>Outliers</b>	19			

significância < 0,01 para todas as preditoras

Na tabela 28, percebe-se que a variável semana não apresentou o nível de significância mínimo de 10% e foi retirada do modelo final. Assim, para os dados presentes não se confirmou a hipótese de tendência de crescimento do PPC ao longo do tempo. Ainda de acordo com essa tabela constata-se que, à medida que o percentual dos pacotes concluídos aumenta, os problemas de origem interna se reduzem de maneira mais drástica quando comparados aos problemas de origem externa, uma vez que o seu coeficiente  $\beta$  é maior e negativo, conforme era esperado.

Em uma última investigação, avaliou-se a importância dos nichos de mercado, como forma de avaliar se a redução da heterogeneidade da amostra contribui com a melhora da explicação. Assim, foram acrescentadas variáveis dicotômicas para representar dois grupos: obras industriais e comerciais para clientes privados (nicho 1) e incorporações residenciais ou comerciais (nicho 2). O último segmento de mercado (habitação de interesse social) é representado pelo grupo de controle. No primeiro modelo gerado, o valor da significância superou os 10% nas variáveis “nicho1” e “semana”. A regressora “semana” foi retirada primeiro, já que apresentava o maior valor da significância (46,7%). Em um novo modelo, o valor da tolerância para a variável “número de pacotes planejados” ficou abaixo de  $1-R^2$ . Retirado esse atributo, foi obtido o Modelo 7, apresentado na tabela 29. Como as regressoras que representam os nichos não foram retiradas da análise por exceder o nível de significância, os próximos modelos foram gerados para cada um dos segmentos de mercado, que estão descritos na seção 5.4.5.

Tabela 29: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na amostra total – Modelo 7

	<b>b</b>	<b>β</b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	0,692		91,740	
<b>Nicho 1</b>	-0,013	-0,033 <sup>c</sup>	-1,706	0,618
<b>Nicho 2</b>	-0,022	-0,045 <sup>b</sup>	-2,359	0,639
<b>Mão-de-obra</b>	-0,016	-0,261	-15,907	0,864
<b>Materiais</b>	-0,016	-0,068	-4,274	0,922
<b>Equipamento</b>	-0,020	-0,105	-6,769	0,977
<b>Projeto</b>	-0,033	-0,105	-6,608	0,930
<b>Planejamento</b>	-0,018	-0,258	-15,464	0,835
<b>Interferência dos Clientes</b>	-0,023	-0,140	-8,928	0,944
<b>Problemas Meteorológicos</b>	-0,024	-0,295	-19,180	0,986
<b>Fornecedores</b>	-0,026	-0,132	-8,568	0,987
<b>Problemas não classificados</b>	-0,007	-0,299	-19,351	0,975
<b>Semana</b>	Significância >10%			
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	Tolerância <1-R <sup>2</sup>			
<b>log( Número de tarefas executadas)</b>	0,159	0,610	38,319	0,921
<b>R<sup>2</sup></b>	62,99			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	62,71			
<b>F</b>	225,12			
<b>N</b>	1601			
<b>K</b>	12			
<b>Outliers</b>	17			

b: significância<0,05; c: significância<0,10; nos demais: significância<0,01

#### 5.4.5 Análise de Regressão nos Nichos de Mercado

Os Modelos 8, 9 e 10, resultantes para cada um dos três nichos de mercado, estão apresentados na tabela 30.

Tabela 30: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC em cada um dos nichos - Modelo 8, 9 e 10

	Industriais e Comerciais para Clientes Privados (Modelo 8)				Incorporações Residenciais ou Comerciais (Modelo 9)				Habitação de Interesse Social (Modelo 10)			
	B	$\beta$	t	Tol.	B	$\beta$	t	Tol.	B	$\beta$	t	Tol.
<b>CONSTANTE</b>	0,680		93,948		0,642		53,979		0,695		50,913	
<b>Mão-de-obra</b>	-0,016	-0,244	-11,260	0,811	-0,027	-0,431	-14,769	0,696	-0,017	-0,335	-9,288	0,840
<b>Materiais</b>	-0,009	-0,040c	-1,941	0,884	-0,027	-0,134	-5,202	0,896	-0,073	-0,183	-5,417	0,964
<b>Equipamento</b>	-0,024	-0,117	-5,876	0,969	-0,041	-0,079a	-3,074	0,905	-0,017	-0,115a	-3,426	0,978
<b>Projeto</b>	-0,037	-0,143	-7,096	0,944	-0,035	-0,059b	-2,358	0,939	Significância >10%			
<b>Planejamento</b>	-0,016	-0,254	-11,488	0,780	-0,035	-0,503	-18,563	0,809	-0,018	-0,193	-5,632	0,928
<b>Interferência dos Clientes</b>	-0,023	-0,182	-9,114	0,962	Significância >10%				Não avaliado (sem ocorrências desse problema).			
<b>Problemas Meteorológicos</b>	-0,025	-0,320	-16,292	0,990	-0,025	-0,201	-7,310	0,787	-0,021	-0,294	-8,782	0,979
<b>Fornecedores</b>	-0,024	-0,119	-6,063	0,986	-0,045	-0,217	-8,665	0,945	-0,028	-0,151	-4,522	0,987
<b>Problemas não classificados</b>	-0,006	-0,370	-18,675	0,972	-0,031	-0,414	-16,450	0,938	-0,013	-0,116a	-3,052	0,759
<b>Semana</b>	Significância >10%				Significância >10%				0,002	0,137	3,789	0,833
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	Tolerância <1-R <sup>2</sup>				0,005	0,368	9,458	0,393	Tolerância <1-R <sup>2</sup>			
<b>log( Número de tarefas executadas)</b>	0,156	0,572	27,957	0,911	0,148	0,396	12,852	0,625	0,135	0,622	15,456	0,677
<b>R<sup>2</sup></b>	63,79%				83,06%				63,33%			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	63,40%				82,47%				62,35%			
<b>F</b>	167,15				139,78				64,286			
<b>N</b>	960				296				345			
<b>K</b>	10				10				9			
<b>Outliers</b>	6				6				3			

Nível de significância: a=0,01, b=0,05 e c=0,10. Nos demais, a significância é <0,001.

A partir dos resultados da tabela 30, entre as preditoras que foram menos importantes para a predição do PPC pode-se citar o “número de pacotes planejados”, que só não apresentou problemas de multicolinearidade para o nicho das “incorporações residenciais ou comerciais”.



Verificou-se, também, que algumas variáveis apresentaram o valor da significância acima do nível de 10% para mais de um nicho de mercado. A variável “semana”, por exemplo, indicou a pouca relação do PPC semanal com a medida de evolução do tempo para as “obras industriais e comerciais para clientes privados” e para as “incorporações residenciais ou comerciais”. Esse resultado não era esperado nesses dois nichos, visto que seus empreendimentos apresentaram os melhores resultados na estatística descritiva (seção 5.2). Neves *et al.* (2002) haviam indicado a influência do tempo para a aprendizagem no PCP, que pode ser verificado, por exemplo, pela evolução nas medidas da eficácia do planejamento.

Na preditora “interferência do cliente”, para os nichos das “incorporações residenciais ou comerciais” e para as “obras de habitação de interesse social” o nível de significância também foi acima de 10% (tabela 30). Esse resultado surpreende para o primeiro nicho, pois se esperava que as modificações dos apartamentos ou escritórios apresentassem um impacto negativo maior para a confiabilidade do planejamento. Nas “habitações de interesse social”, entretanto, esse valor não causa surpresa, pois são obras nas quais existem poucas modificações de projeto. De fato, não existiu o registro de nenhum problema dessa categoria para esse segmento de mercado (tabela 22).

A preditora “projeto”, por sua vez, apresentou o valor de significância estatística acima de 10% para o nicho das “Habitações de Interesse Social”, de acordo com o esperado. Como esse segmento de mercado possui canteiros horizontais com grande repetição de unidades habitacionais edificadas com técnicas consagradas, não se esperava problemas relacionados à compatibilização de projetos ou ao detalhamento insuficiente das plantas.

Na tabela 30, as preditoras que mais contribuem para a explicação do PPC entre esses diferentes setores são: o “logaritmo do número de tarefas executadas” e os problemas relacionados à “mão-de-obra”. A variável “problemas não classificados” é mais importante para as “obras industriais e comerciais para clientes privados” e para as “incorporações residenciais ou comerciais”. Assim, a importância dessa variável evidencia que a falta da análise sistemática das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho influencia negativamente no processo de PCP. A preditora “problemas meteorológicos”, por sua vez, é bastante importante para os canteiros horizontais (obras de habitação de interesse social).

Por fim, os modelos gerados em grupos mais homogêneos ao longo dessa seção apresentaram um valor do coeficiente de determinação ajustado muito superior aos 63% do modelo 1 (item 5.4.4.1) apenas para as “incorporações residenciais ou comerciais”. Por essa razão, a seção seguinte indica outros atributos que estão sendo coletados no Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking* e que poderão ser considerados para análises futuras, buscando aumentar a explicação para os modelos gerados.

#### 5.4.6 Outros atributos coletados pelo Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking* e sugestão de novas variáveis para explicar o PPC

Durante a etapa de levantamento dos dados, teve-se pouco acesso a variáveis de identificação geral da obra (como custo total, duração da etapa de construção e a área construída dos empreendimentos) e de caracterização dos sistemas de planejamento implementados (como a nota obtida com os *checklists* de boas práticas, apresentados na seção 2.5.1) que também poderiam ser utilizadas para explicar o PPC.

As variáveis custo, duração e área construída já estão definidas como campos obrigatórios no formulário de cadastro das obras do Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking*, podendo ser comparadas aos indicadores de resultado dos empreendimentos em análises futuras. Nesse sistema, a classificação dos empreendimentos é muito mais detalhada (Anexo A) quando comparado aos três nichos de mercado escolhidos para a segmentação da amostra, o que também possibilita a realização de avaliações de grupos de empreendimentos mais homogêneos.

Nos formulários de coleta *on line* de indicadores também estão explicitadas as datas em que esses valores foram inseridos e o funcionário responsável pelo preenchimento. O primeiro atributo pode ser utilizado para considerar o efeito aprendizagem ao longo do tempo, esperando-se uma tendência de que a eficácia do planejamento aumente, conforme indicado por Neves *et al.* (2002). Além da identificação do funcionário, sugere-se algum atributo que identifique o seu treinamento, que é um fator relevante para a confiabilidade do resultado apresentado.

Outras variáveis que também podem ser coletadas no formulário de identificação do empreendimento são: o número de engenheiros envolvidos diretamente com a etapa de planejamento e seu respectivo tempo de atuação em obras semelhantes, a quantidade de

participantes na reunião de curto prazo, o número de funcionários da obra, entre outros. A maior quantidade dos dois primeiros fatores pode medir indiretamente o comprometimento com o processo de PCP, o que tende a contribuir com o aumento da eficácia do planejamento. Uma vez que o “comprometimento” é muito difícil de medir, pode-se apenas sugerir variáveis substitutas para capturar seus efeitos. Quanto ao atributo que registra o número de funcionários da obra, a tendência é que haja uma redução na eficácia do planejamento com o aumento desse valor, principalmente quando comparado ao tamanho do canteiro, devido à interferência entre os fluxos de trabalho.

Uma outra sugestão é associar o PPC semanal à fase da obra. Por exemplo, para uma incorporação residencial ou comercial essas etapas podem ser: serviços iniciais (escavação e fundações), estrutura, vedações, revestimentos e acabamentos. A tendência é que os menores valores do PPC semanal estejam nos serviços iniciais (devido, principalmente, a problemas externos, tais como as incertezas das condições geotécnicas e do clima) e nos acabamentos, quando existem inúmeras atividades em paralelo que podem causar interferências entre si.

Outra medida que pode contribuir para a explicação do PPC semanal e que foi verificada na comparação entre os nichos é a complexidade, principalmente para o segmento das obras industriais ou comerciais para clientes privados. Soares (2003) avaliou esse quesito a partir de três fatores: interferência do cliente, incerteza do projeto e velocidade de produção. No trabalho citado, esta classificação baseou-se na experiência pessoal do autor referido. É difícil propor uma variável que descreva adequadamente a complexidade, já que a percepção pode variar bastante entre os envolvidos. Por essa razão, mais uma vez são sugeridas variáveis substitutas para capturar os seus efeitos. Para caracterizar a velocidade da produção, por exemplo, a partir do conjunto de valores coletados para o Clube de *Benchmarking* (Anexo A) pode-se calcular um indicador através da razão entre a área construída e o prazo de execução. Uma outra alternativa é considerar algumas técnicas construtivas como indícios de obras mais rápidas, como as soluções adotadas para a estrutura ou para as vedações. Um exemplo é o uso de painéis pré-moldados ou do gesso acartonado, que pode indicar um prazo mais reduzido para a construção quando comparado a estruturas moldadas in loco ou a alvenarias convencionais.

## 5.5 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO EM TRÊS EMPRESAS

Como forma de complementar as análises anteriores do PPC e das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, decidiu-se avaliar isoladamente três empresas que receberam contribuições no planejamento e controle da produção com a implementação do modelo de PCP do NORIE/UFRGS.

A **Empresa “A”** iniciou o desenvolvimento de seu sistema de PCP em 1999, além de ser a que possui o maior número de registros do PPC. Também foi descrito o estudo exploratório de aplicação do software *Project Plus Control*.

A **Empresa “B”** iniciou o desenvolvimento do seu sistema de PCP em 2000 e vem coletando, semanalmente, medidas de desvio de prazo, possibilitando a comparação dessas medidas com o PPC.

A **Empresa “C”**, por sua vez, iniciou a coleta do PPC em abril de 2004. Contudo, analisa conjuntamente indicadores mensais de desvio de prazo, de desvio de custo e de avanço físico. Esse conjunto de dados revela-se bastante interessante para a análise quantitativa dos impactos da implementação do PCP.

### 5.5.1 Empresa A

No conjunto de 141 obras em que foi medido o valor do PPC médio, 38 delas são da empresa A, coletadas em pesquisas anteriores com a participação do NORIE/UFRGS, dos dados ingressados no Clube de *Benchmarking* e na própria empresa. Para avaliar a evolução do PPC médio, foram ordenados os empreendimentos realizados entre 1999 e 2005 pela data de início, apresentados na figura 34. Nesse gráfico, foi adicionada uma linha de tendência para auxiliar na identificação da evolução dessas medidas. Além disso, nessa figura também estão assinalados as datas-marco de algumas fases.

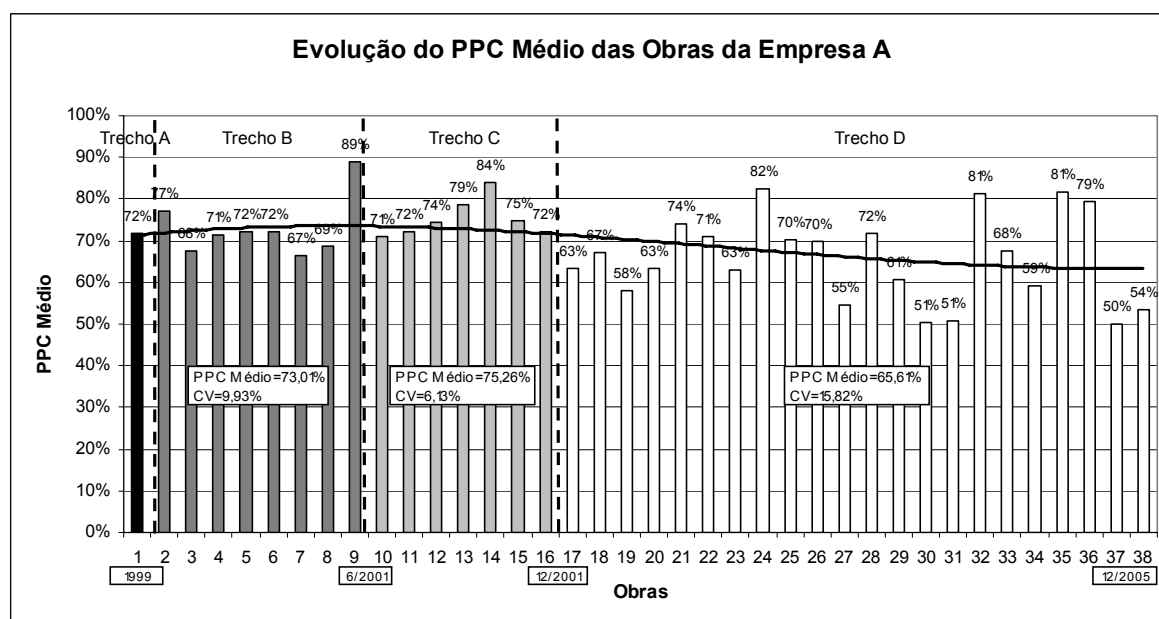


Figura 34: evolução do PPC médio das obras na Empresa A, adaptado de Soares (2003)

As três primeiras fases da figura 34 (trechos A, B e C) foram identificadas na dissertação de Soares (2003), sendo a quarta fase acrescentada no presente trabalho. Na figura 34, o trecho “A” corresponde à primeira obra na qual foi implementado o PCP. No segmento B, o sistema de PCP foi estendido para os demais empreendimentos da empresa, a partir do resultado considerado satisfatório na primeira obra. Nessa etapa, a empresa instituiu a reunião técnica e de coordenação do PCP, obteve a certificação pela norma ISO 9001 e participou de uma pesquisa de concepção e implementação de um modelo de planejamento e controle da segurança integrado ao PCP (SAURIN, 2002). A fase C é denominada por Soares (2003) de aperfeiçoamento do PCP. Nessa fase foi implementado o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo e a análise de restrições, além do início de estudos para a melhoria do processo de desenvolvimento do produto (MIRON, 2002; CODINHOTO, 2003).

Pode-se observar a tendência de estabilização desse processo ao longo das três primeiras fases, conforme indicado por Soares (2003). Embora a amostra seja bastante reduzida percebe-se, nestas etapas, uma tendência de aumento do PPC médio e de diminuição da variabilidade deste indicador, medido pelo coeficiente de variação.

Na fase “D” foram realizados mais estudos de melhoria do processo de desenvolvimento do produto (MOURA, 2005; TRESCASTRO, 2005) e de implementação do projeto do sistema

de produção (RODRIGUES, 2006). Esperava-se, nessa fase, que se confirmasse a tendência de crescimento do PPC médio, o que não ocorreu. Dois fatores podem ter influenciado a queda desse indicador. Neste período houve um crescimento acentuado no número de obras da empresa e do seu faturamento, o que pode ter dificultado a realização de um PCP padronizado em todas as obras. Além disso, em alguns destes empreendimentos (em geral os que contam com uma maior área construída) a execução foi compartilhada com outra construtora (de maior porte e com sede em São Paulo), sendo o sistema de PCP uma combinação dos sistemas individuais das duas empresas. Percebeu-se, também, que em diversos empreendimentos do trecho “D” não existiam os registros completos dos indicadores, uma vez que esses dados ficavam armazenados nos computadores das respectivas obras e os mesmos não eram enviados na íntegra para o escritório central.

A partir da constatação dessas dificuldades, decidiu-se realizar um estudo exploratório de implementação do *Project Plus Control*, uma ferramenta computacional que poderia contribuir para padronizar o PCP e tornar a coleta de dados mais consistente, através do seu armazenamento em um banco de dados único. Esta ferramenta foi desenvolvida recentemente pelo GEPUC a partir do sistema *Last Planner* de controle da produção. A implantação do programa *Project Plus Control* foi conduzida pelo pesquisador em paralelo ao processo de PCP da empresa.

#### 5.5.1.1 Descrição do Estudo Exploratório com o Programa *Project Plus Control*

##### 5.5.1.1.1 Descrição Geral da Obra

A obra piloto consistia na construção de um prédio com dois pavimentos destinado a cabines de imprensa, com área aproximada de 380 m<sup>2</sup>, em um parque de exposições na cidade de Esteio /RS.

A construtora foi contratada no começo de maio de 2005, tendo ocorrido uma sobreposição do início da mobilização da mão-de-obra no canteiro com o desenvolvimento dos projetos (arquitetônico, estrutural, estaqueamento, instalações elétricas, hidrossanitárias e de ar-condicionado). Ao término de julho, a obra foi entregue ao contratante, com uma duração ao redor de 2,5 meses.

O prazo reduzido exigiu o uso de sistemas construtivos adequados para que essa meta fosse cumprida, tais como: (a) estrutura metálica na cobertura e na fachada, (b) gesso acartonado

para as divisórias internas e para o teto, (c) elementos estruturais pré-moldados (lajes, vigas e pilares) e (d) painéis pré-moldados para o fechamento externo.

Cabe ressaltar, ainda, que a solução arquitetônica para essa construção dificultava o uso dos elementos pré-moldados, já que o prédio acompanhava a curvatura da pista do Parque de Exposições. Dessa forma, em grande parte da montagem das lajes pré-moldadas não foram desenvolvidos peças modulares, mas componentes específicos para cada local.

Além do tempo reduzido para a execução da obra e do fato dos projetos não estarem completos, o empreendimento também sofreu as conseqüências de definições tardias por parte do cliente contratante. Isto foi observado, por exemplo, nas definições para as instalações do ar-condicionado, em que se fez necessário refazer parte da estrutura de alvenaria de grês externa para comportar o sistema que foi definido mais tarde.

#### *5.5.1.1.2 O PCP na obra e a Implementação do programa Project Plus Control*

Essa obra apresentou três níveis hierárquicos de planejamento, sendo que os dados referentes a estes níveis foram ingressados no programa *Project Plus Control* pelo próprio pesquisador. Para o módulo de longo prazo desse *software*, foi introduzido o planejamento inicial da obra, que havia sido elaborado no programa MS-Project. Para os módulos de Médio e de Curto Prazo do *Project Plus Control*, os dados foram obtidos nos documentos produzidos nas reuniões semanais da obra. Essas reuniões ocorriam em um dia e horário fixos, sendo que se discutia, na seqüência, o médio e o curto prazo. O médio prazo do empreendimento tinha um horizonte limitado a três semanas, devido às grandes incertezas da obra. Os principais documentos que resultavam dessa etapa era o plano de médio prazo e a lista de restrições. Quanto ao planejamento de curto prazo, o principal documento gerado era o plano semanal que continha as atividades a serem realizadas no horizonte de uma semana.

Durante o acompanhamento do pesquisador nas reuniões de médio e de curto prazo, perceberam-se algumas oportunidades de melhoria que podem ser supridas com o programa *Project Plus Control*:

- a) atualização integrada dos três níveis de planejamento: na obra, as atualizações das etapas de médio e de curto prazo não eram registradas no plano inicial. No programa, a possibilidade de visualização dos três níveis hierárquicos

despertou o interesse dos envolvidos no processo também como uma possibilidade de facilitar o planejamento e o controle da produção;

- b) indicação de atividades não completadas e que devem ser replanejadas: ao longo do planejamento da obra percebeu-se, muitas vezes, que as tarefas não concluídas não eram replanejadas e que, quando eram finalizadas, não havia o registro. Nessas situações, o programa identifica essas atividades ainda como pendentes, o que pode ser percebido em um atraso maior do que o real (figura 35);
- c) inclusão no plano de curto prazo somente das tarefas com as restrições removidas: algumas atividades que foram planejadas no curto prazo ainda possuíam restrições pendentes. Na realidade, em grande parte dos casos as restrições removidas não eram registradas adequadamente na planilha correspondente. O *Project Plus Control* oferece a visualização, através de uma legenda de cores no gráfico de Gantt, de quais atividades ainda possuem restrições pendentes no médio prazo;
- d) cálculo automático dos indicadores, evitando erros grosseiros nos resultados: a figura 36 apresenta os resultados obtidos do programa *Project Plus Control* comparado àqueles fornecidos pela empresa. Ao longo de treze semanas, em quatro delas houve equívocos no valor do PPC calculado pela empresa;
- e) criação de um banco de dados com valores do PCP: até então, somente os indicadores mensais eram repassados ao escritório central. Com esse sistema, há a possibilidade de visualização de várias obras da empresa através do módulo *web*, assim como o acompanhamento semanal de seus indicadores.

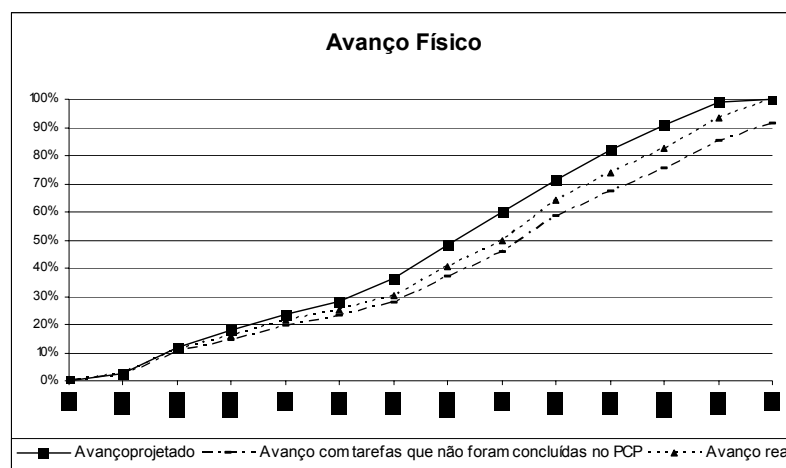


Figura 35: curva de avanço físico



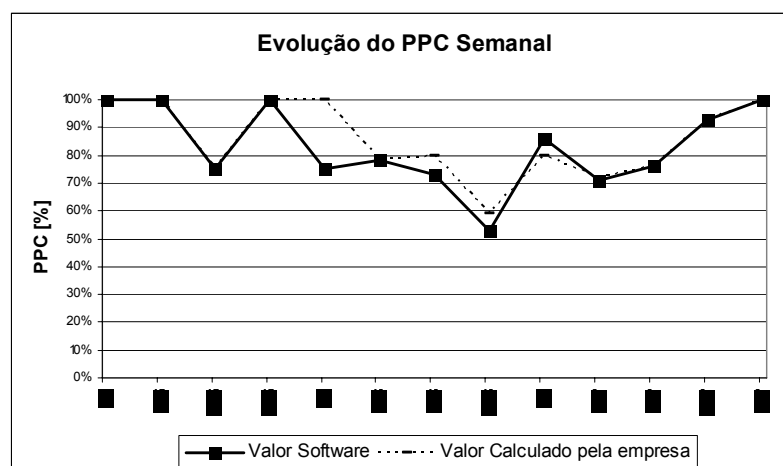


Figura 36: valor do PPC pelo software e calculado pela empresa

Contudo, também se perceberam algumas dificuldades durante a implementação. A transferência de dados do MS-Project ao *Project Plus Control* era uma operação trabalhosa, havendo a necessidade de que o planejamento fosse inicialmente exportado para uma planilha eletrônica padrão Excel. O planejamento de curto prazo, por sua vez, também era exportado para uma planilha eletrônica, para somente depois ser formatado no padrão da empresa. Além disso, o mesmo precisava ser complementado com informações sobre o número de funcionários para cada uma das tarefas ao longo dos dias das semanas. Por essa razão, a empresa acabou não priorizando a implementação completa desse sistema, preferindo continuar com o processo tradicional.

#### 5.5.1.2 Análise de Regressão

No conjunto de 38 empreendimentos dessa empresa, em 30 deles há o registro semanal das variáveis descritas na seção 5.4.1, possibilitando uma análise de regressão em um conjunto de 543 registros. No resultado, procurou-se investigar se há uma diminuição do percentual da variância não explicada quando comparado ao nicho das obras industriais ou comerciais para clientes privados, uma vez que os dados tendem a ser mais homogêneos por se tratar de uma mesma empresa.

O resultado final para esse modelo é apresentado na tabela 31. As variáveis “semana” e “materiais” foram retiradas por excederem o nível de significância de 10%. O atributo

“número de pacotes planejados”, por sua vez, não foi considerado porque o valor da tolerância foi menor que  $1-R^2$ .

Tabela 31: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC semanal na empresa A

	<b>b</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	0,641		72,964	
<b>Mão-de-obra</b>	-0,010	-0,176	-6,293	0,811
<b>Materiais</b>	Significância >10%			
<b>Equipamento</b>	-0,026	-0,130	-5,048	0,948
<b>Projeto</b>	-0,034	-0,164	-6,469	0,980
<b>Planejamento</b>	-0,014	-0,259	-9,119	0,785
<b>Interferência dos Clientes</b>	-0,023	-0,217	-8,542	0,978
<b>Problemas Meteorológicos</b>	-0,020	-0,253	-10,023	0,993
<b>Fornecedores</b>	-0,017	-0,075	-2,969	0,980
<b>Problemas não classificados</b>	-0,006	-0,432	-16,741	0,951
<b>Semana</b>	Significância >10%			
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	Tolerância < $1-R^2$			
<b>log( Número de tarefas executadas)</b>	0,140	0,631	24,021	0,918
<b>R<sup>2</sup></b>	66,26%			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	65,69%			
<b>F</b>	116,327			
<b>N</b>	543			
<b>K</b>	9			
<b>Outliers</b>	3			

significância < 0,01 para todas as preditoras

Comparando o valor do  $R^2$  ajustado da tabela 31 com aquele obtido nas obras industriais ou comerciais para clientes privados (seção 5.4.5), percebe-se que a melhora foi muito reduzida. Por essa razão, pode-se concluir que a grande diversidade das obras produzidas pela empresa pode ser um dos fatores que impede que um modelo único explique adequadamente a variância do PPC semanal.

### 5.5.2 Empresa B

Nesta empresa a sistemática de PCP que está bastante incorporada à rotina da construtora é a realização de reuniões semanais para as definições das tarefas a serem executadas e a discussão das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho do período anterior. Quanto ao planejamento de médio prazo, a identificação e a remoção das restrições não havia sido aplicada nos empreendimentos utilizados nessa análise. Por fim, no planejamento de longo prazo, o cumprimento das grandes etapas da obra era avaliado semanalmente no software MS-Project, do qual era obtida a data de encerramento da obra para o cálculo do desvio de prazo.

Para as análises dessa seção consideraram-se 32 obras (31 delas obtidas com a empresa e uma proveniente do banco de dados inicial do NORIE/UFRGS), executadas entre abril de 2000 e abril de 2004. Desses empreendimentos, a distribuição entre os nichos é a seguinte:

- a) obras industriais e comerciais para clientes privados: 21 empreendimentos, a maior parte deles edificações em que os clientes contratantes eram universidades;
- b) incorporações residenciais ou comerciais: 1 obra de construção de um centro empresarial;
- c) habitação de interesse social: 5 empreendimentos destinadas ao Programa de Arrendamento Residencial (PAR).

Por fim, os 5 empreendimentos restantes integram o grupo das obras públicas diversas, sendo um deles a construção de uma escola municipal, duas edificações de prédios públicos e três montagens de subestações de energia elétrica.

Inicialmente, analisou-se a evolução do PPC médio para todas as obras. Assim, os valores foram ordenados de acordo com suas respectivas datas de início, conforme apresentado na figura 37.

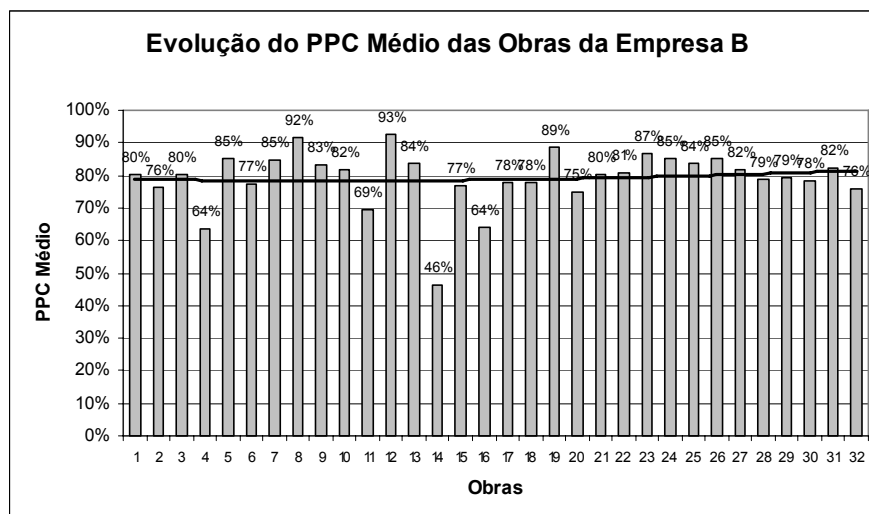


Figura 37: evolução do PPC médio das obras na Empresa B

Na figura 37, percebe-se uma tendência de estabilização do PPC, que fica um pouco mais evidente quando isoladas as obras do nicho mais numeroso, a dos empreendimentos industriais e comerciais para clientes privados, cujos dados estão apresentados na figura 38. Essa mesma tendência de estabilização não foi percebida quando se compara esta figura com aquela indicada na figura 34, para a empresa A.

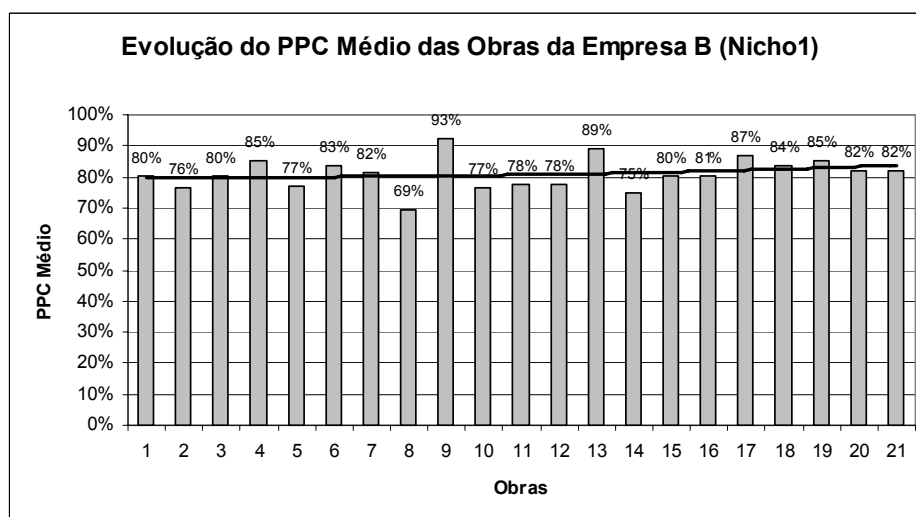


Figura 38: evolução do PPC médio das obras da empresa B no nicho das obras industriais ou comerciais para clientes privados

Foi aplicada a análise de regressão múltipla com os registros coletados semanalmente desses empreendimentos. As variáveis consideradas são as mesmas descritas na seção 5.4.1, acrescidas pelo desvio de prazo semanal, calculado com a seguinte fórmula:

$$DP = \frac{P_{real} - P_{previsto}}{P_{previsto}} \times 100 \quad (6)$$

Nesta fórmula, para o cálculo do prazo real de execução da obra ( $P_{real}$ ) é considerado o período entre a mobilização e a desmobilização dos trabalhadores no canteiro. O prazo previsto para a execução ( $P_{previsto}$ ), por sua vez, é aquele obtido do plano de longo prazo.

No primeiro modelo resultante dessa análise, a significância da preditora “projeto” excedeu o nível estabelecido de 10%, assim como aconteceu com a “semana”. Na variável “número de pacotes planejados” a tolerância ficou abaixo de  $1-R^2$ . O resultado está resumido na tabela 32. Nela, percebe-se que o desvio de prazo não está entre as variáveis mais significativas para a predição do PPC, conforme pode se observar quando se compara  $\beta$  e valor t com as demais preditoras.

Tabela 32: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC na amostra da empresa B

	<b>b</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	0,716		76,512	
<b>Mão-de-obra</b>	-0,020	-0,405	-15,419	0,883
<b>Materiais</b>	-0,036	-0,099	-3,970	0,976
<b>Equipamento</b>	-0,020	-0,153	-6,089	0,963
<b>Projeto</b>	Significância >10%			
<b>Planejamento</b>	-0,017	-0,223	-8,711	0,933
<b>Interferência dos Clientes</b>	-0,019	-0,098	-3,890	0,960
<b>Problemas Meteorológicos</b>	-0,027	-0,457	-18,370	0,987
<b>Fornecedores</b>	-0,031	-0,210	-8,450	0,991
<b>Problemas não classificados</b>	-0,035	-0,206	-8,297	0,985
<b>Semana</b>	Significância >10%			
<b>Número de Pacotes Planejados</b>	Tolerância <1- $R^2$			
<b>log( Número de tarefas executadas)</b>	0,167	0,566	21,566	0,885
<b>Desvio de Prazo Semanal</b>	18,011	0,056 <sup>b</sup>	2,201	0,938
<b>R<sup>2</sup></b>	63,11%			

Tabela 32 (cont.): Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC na amostra da empresa B

<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	62,50%
<b>F</b>	103,48
<b>N</b>	616
<b>K</b>	10
<b>Outliers</b>	6

Nível de significância: b=5%. Nos demais, a significância é <0,1%.

Em uma nova análise de regressão, utilizou-se como variável dependente o desvio de prazo e, como independentes, as demais regressoras do modelo anterior e o percentual dos pacotes concluídos. Nesse resultado final, o coeficiente de determinação foi menor, muitas regressoras excederam o nível de significância de 10% (por essa razão, não estão registradas na tabela 33) e, além disso, pode-se observar no gráfico dos resíduos da figura 39 que existe uma tendência à heterocedasticidade, com o decréscimo dos erros simultaneamente ao crescimento dos valores estimados.

Tabela 33: Resultados da análise de regressão para a explicação do DP na amostra da empresa B

	<b>B</b>	<b>β</b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	0,000		-1,787	
<b>Equipamento</b>	-4,76.10 <sup>-5</sup>	-0,118	-3,691	0,966
<b>Planejamento</b>	-1,46.10 <sup>-5</sup>	-0,061 <sup>c</sup>	-1,812	0,883
<b>Semana</b>	2,58.10 <sup>-5</sup>	0,667	19,722	0,864
<b>log( Número de tarefas executadas)</b>	0,000	-0,183	-4,889	0,707
<b>PPC</b>	0,000	0,083 <sup>b</sup>	2,312	0,774
<b>R<sup>2</sup></b>	39,73%			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	39,23%			
<b>F</b>	80,414			
<b>N</b>	616			
<b>K</b>	5			
<b>Outliers</b>	4			

Nível de significância: b=0,05 e c=0,10. Nos demais, a significância é <0,001.

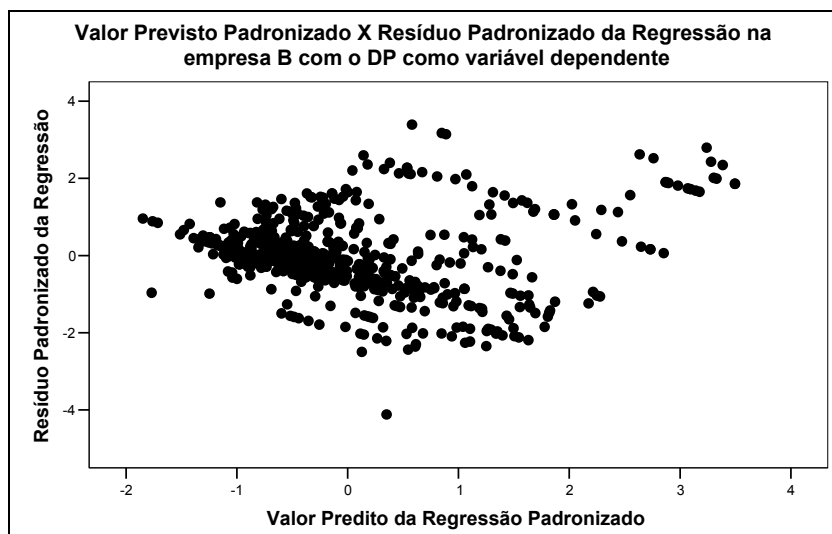


Figura 39: valor predito padronizado x resíduo padronizado na empresa B

No modelo descrito na tabela 33 esperava-se que eficácia do planejamento contribuísse mais para a explicação do desvio de prazo. Entretanto, os coeficientes  $\beta$  e os valores  $t$  indicam que essa é uma das preditoras que menos contribuem para o cálculo desta variável dependente. O resultado da pouca relação entre a eficácia do planejamento e cumprimento do prazo nessa empresa pode ser uma consequência do negligenciamento do planejamento de médio prazo, etapa responsável pela proteção da produção.

### 5.5.3 Empresa C

Os dados utilizados para essa análise pertencem ao nicho das incorporações residenciais e comerciais. Os mesmos foram extraídos de relatórios destinados a gerência, fornecidos pela própria empresa. A primeira avaliação verificou a evolução da média mensal de 8 empreendimentos, ordenados pela data de início (figura 40). Devido ao pequeno número de obras pode-se inferir, no máximo, uma tendência de estabilização, assim como foi percebida na empresa B.

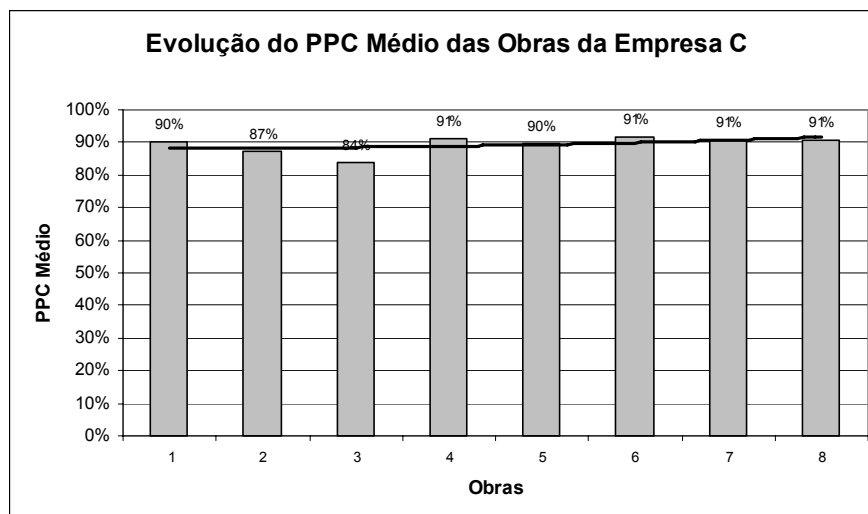


Figura 40: evolução do PPC médio das obras da Empresa C

Nesse conjunto de empreendimentos, buscaram-se relações entre as variáveis “avanço físico”, “desvio de custo”, “desvio de prazo” e “mês” comparado ao PPC mensal, novamente através de uma regressão múltipla. Os critérios para a coleta dessas medidas seguem as recomendações do Clube de *Benchmarking*.

As primeiras avaliações consideraram o PPC mensal como a média entre o Percentual dos Pacotes Concluídos semanal. No primeiro modelo, o “Avanço Físico” excedeu o nível de significância de 10%. Na avaliação seguinte, pelo mesmo motivo, foi retirada a preditora “desvio de prazo”. Assim, restaram apenas duas regressoras que resultaram em um modelo com um coeficiente de determinação um pouco maior que 10%. Os resultados estão apresentados na tabela 34.

Tabela 34: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC médio mensal na Empresa C

	b	$\beta$	t	Tolerância
CONSTANTE	91,337		101,843	
Mês	-0,196	-0,238 <sup>b</sup>	-2,392	0,956
Desvio de Custo	-3,237	-0,266 <sup>a</sup>	-2,671	0,956



Tabela 34 (cont.): Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC médio mensal na Empresa C

<b>R<sup>2</sup></b>	10,08%
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	8,19%
<b>F</b>	5,325
<b>N</b>	98
<b>K</b>	2
<b>Outliers</b>	0

Nível de significância:  $\alpha=0,01$  e  $\beta=0,05$ . Nos demais, a significância é  $<0,001$ .

Como o coeficiente de determinação foi muito baixo, a variável dependente foi modificada para o PPC acumulado do mês (razão entre a soma de todas tarefas executadas no mês por todas atividades planejadas nesse período). Entretanto, as preditoras “número de tarefas executadas” e “número de tarefas planejadas” estavam altamente correlacionadas ( $R=0,996$  com a significância  $<0,01$ ) e, por esse motivo, decidiu-se pela eliminação da segunda variável, que apresentava um menor valor t. Nesse conjunto, em sucessivas avaliações, as preditoras “desvio de prazo”, “número de tarefas executadas” e “mês” apresentaram o valor de significância acima do nível de 10% e foram retiradas da análise. O resultado final está na tabela 35.

Tabela 35: Resultados da análise de regressão para a explicação do PPC acumulado mensal na Empresa C

	<b>B</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>t</b>	<b>Tolerância</b>
<b>CONSTANTE</b>	85,472		45,050	
<b>Avanço Físico</b>	91,370	0,324 <sup>b</sup>	2,313	0,999
<b>Desvio de Custo</b>	-3,098	-0,313 <sup>b</sup>	-2,238	0,999
<b>R<sup>2</sup></b>	19,75%			
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	15,84%			
<b>F</b>	5,045			
<b>N</b>	44			
<b>K</b>	2			
<b>Outliers</b>	2			

Nível de significância:  $\beta=0,05$ . Nos demais, a significância é  $<0,001$ .

Nos modelos resultantes nas análises dessa empresa, o coeficiente de determinação foi muito baixo. Assim, a relação do cumprimento do prazo, do custo e do avanço físico quando comparado à eficácia do planejamento não apresentou uma relação bem definida para os valores presentes. As análises dessa construtora ocorreram em um banco de dados bastante reduzido e com os primeiros resultados da implementação do PCP, o que também pode ter influenciado os resultados.

## 5.6 CONTRIBUIÇÕES PARA A COLETA E A ANÁLISE DE DADOS DE PCP

As contribuições apresentadas neste item estão baseadas nas etapas de preparação e de análise do banco de dados, realizadas ao longo deste capítulo, e nas soluções adotadas para o Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking* (seção 4.3.2.2).

Essas contribuições estão organizadas em três tópicos. O primeiro deles é a **definição de um conjunto de medidas sobre as quais se deseja avaliar o impacto**. Neste trabalho, a pouca variedade das medidas de desempenho dos empreendimentos restringiu muito a análise do impacto do PCP. Essas avaliações foram possíveis nas obras de apenas duas empresas, nas quais se analisaram em conjunto os indicadores de prazo com a eficácia do planejamento.

Para análises futuras, o Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking* constituiu-se em um mecanismo que pode aumentar a disponibilidade de dados para este tipo de avaliação, permitindo análises cruzadas entre algumas medidas de desempenho. Além disso, o conjunto de indicadores definido pelo Clube buscou medir os processos críticos das construtoras – produção e segurança, clientes, vendas, fornecedores, qualidade e pessoas – que foram escolhidos pelas próprias empresas após diversas reuniões. Dessa forma, pode-se avaliar o impacto sobre os processos que mais interessam as construtoras.

O segundo tópico compreende a **coleta e armazenamento dos indicadores**. A padronização da coleta dessas medidas pode ser facilitada por procedimentos com o registro do objetivo e do roteiro de cálculo com os critérios explicitados. Por exemplo, para o “desvio de prazo” apresentado na seção 5.5.2, os critérios de “prazo real da execução” e “prazo previsto” foram definidos, o que permite a comparação dessa medida entre diferentes obras. Para o Clube de *Benchmarking*, todos os procedimentos de coleta dos indicadores foram padronizados e estão registrados no Manual de Indicadores (COSTA *et al.*, 2005), conforme mencionado na seção

4.3.2.2. Em muitas empresas, essas medidas já estavam padronizadas antes do Clube, devido aos procedimentos documentados do sistema de gestão da qualidade. Além disso, diversas construtoras já coletavam alguns dos indicadores definidos pelo Clube – como o PPC e as causas do não cumprimento das tarefas - devido, principalmente, ao apoio de pesquisadores do NORIE/UFRGS para a implementação do processo de planejamento e controle da produção. Entretanto, constataram-se alguns problemas no armazenamento dessas medidas.

Assim, durante a etapa de coleta dos indicadores para a formação do banco de dados com o PPC semanal e com as causas do não cumprimento das tarefas que apoiaram as análises ao longo desse capítulo observou-se que, na maioria das vezes, as medidas estavam presentes apenas nas obras. Geralmente no escritório da construtora havia apenas os registros de dados processados, muitos dos quais não coincidiam com os dados dos empreendimentos. Por essa razão, a criação de uma base de dados única pode evitar este tipo de inconsistência, consolidando-se como a origem a partir da qual as informações são extraídas para as análises, além de facilitar a rastreabilidade de dados espúrios e dos valores faltantes.

Durante o armazenamento de dados também é desejável que se disponha de alguns meios para evitar a ocorrência de falhas grosseiras - tais como erros de digitação ou do cálculo dos indicadores - e de registros incompletos. Na fase de preparação do banco de dados do PPC semanal e das causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho identificaram-se duas falhas recorrentes, possíveis de serem evitadas com um controle pró-ativo do ingresso de dados:

- a) atribuição de problemas em semanas nas quais o PPC era de 100%, observado em 20 dos 1792 casos;
- b) falta de identificação das causas do não cumprimento das tarefas nas atividades não concluídas, em 324 casos.

Quanto aos valores faltantes, foram identificadas duas situações principais:

- a) valores faltantes em variáveis importantes: verificado nos atributos “número de pacotes planejados” e “número de tarefas executadas”, em 73 registros;
- b) negligenciamento dos registros da última semana do empreendimento: observado nos registros do planejamento semanal, quando nem todas as tarefas do último período estão concluídas. Para um observador externo, por exemplo, esse fato indica a presença de algumas atividades pendentes. Esses valores

incompletos também prejudicam a etapa de análise, já que não está registrada a real situação da obra.

Na definição do Sistema de Indicadores *On-line* do clube de *Benchmarking* buscou-se identificar, o mais cedo possível, os valores espúrios e evitar os registros incompletos. Alguns mecanismos foram utilizados para auxiliar nessa etapa. Por exemplo, o sistema restringe o registro de pacotes não concluídos quando o PPC semanal declarado é 100%. Além disso, antes do armazenamento definitivo na base de dados desse sistema, os valores inseridos são conferidos por um funcionário designado como responsável na empresa e, posteriormente, ficam armazenados em uma base de dados temporária, até que sejam avaliados pelo administrador do sistema. Assim, é possível identificar, por exemplo, se todas as atividades não concluídas tiveram suas causas analisadas antes do registro definitivo no banco de dados. Ao término da obra também deve ser enviado ao administrador do sistema uma solicitação de encerramento, etapa em que é conferido se os últimos registros foram coletados.

Este sistema *web* do Clube de *Benchmarking* também contribui para a formação de um banco de dados único para a empresa, evitando que os valores fiquem restritos a bases de dados existentes em obras, as quais nem sempre são totalmente enviadas ao escritório central e, muitas vezes, acabam descartadas. Assim, todos os valores inseridos pelas construtoras neste sistema oferecem a opção de serem exportadas para uma planilha eletrônica, de onde gráficos e tabelas podem ser facilmente gerados para a análise.

Após o armazenamento do conjunto de indicadores, a última etapa compreende a **análise dos dados e a extração de conhecimento**. Embora a fase anterior almeje também a redução drástica dos valores faltantes e discrepantes, é necessário que se dedique a uma nova análise de dados espúrios, buscando os valores que ainda não se enquadram no comportamento esperado para o conjunto de variáveis considerado. Essa fase pode iniciar com a exploração dos limites de conteúdo das variáveis numéricas, o que auxilia na identificação de alguns erros grosseiros. A própria ferramenta da análise de regressão múltipla, utilizada nessa dissertação, fornece indícios para a identificação dos valores espúrios, através da medida do resíduo padronizado.

A extração de conhecimento, por sua vez, é a última etapa, com a interpretação dos resultados obtidos a partir da utilização de alguma ferramenta de análise. As análises do banco de dados dessa dissertação com a ferramenta de regressão múltipla não foram comparadas com outros

resultados porque não se encontraram estudos que avaliaram a explicação do PPC a partir de um conjunto de fatores. Entretanto, a análise gráfica entre o valor predito padronizado e o resíduo padronizado da regressão forneceu indícios de que atributos importantes para a análise não estão sendo coletados (seção 5.4.4). Por essa razão, sugeriram-se outras variáveis, muitas das quais já estão sendo coletados pelo Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking*. Dessa forma, em estudos futuros será possível comparar a melhoria da explicação com o conjunto de atributos sugeridos através da comparação do coeficiente de determinação ajustado. Por fim, também há a possibilidade do uso de ferramentas mais robustas para a predição da variável métrica PPC, como a árvore de regressão, citada na seção 3.4.1.2.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho buscou contribuir com as etapas de coleta e de análise de indicadores de PCP em empreendimentos de construção civil. Para tal, foi criada uma base de dados a partir de resultados de pesquisas anteriores, de medidas de desempenho coletadas em empresas e dos dados inseridos em um sistema de indicadores para *benchmarking* de empresas do setor. Foram realizadas diversas análises, principalmente dos indicadores PPC e causas do não cumprimento das tarefas, através de técnicas estatísticas. Este capítulo apresenta um resumo das conclusões obtidas e sugestões de futuros trabalhos para o aprofundamento do tema.

### 6.1 CONCLUSÕES

O objetivo principal desta dissertação foi propor **contribuir para a coleta e a análise de dados que permitam avaliar o impacto de sistemas de PCP no desempenho de empreendimentos de construção civil e identificar as dificuldades de implementação dos mesmos. O estudo foi focado em sistemas de PCP que incorporam boas práticas de planejamento, principalmente aquelas que compõem o sistema *Last Planner* de controle da produção.** Este objetivo, por sua vez, foi dividido em: (a) selecionar e testar métodos de análise para as variáveis coletadas de PCP; (b) identificar falhas na coleta e no armazenamento do PPC e das causas do não cumprimento das tarefas e (c) identificar dificuldades na implementação do PCP.

O cumprimento do objetivo de **selecionar e testar métodos de análise para as variáveis coletadas de PCP** iniciou com a escolha de algumas técnicas de classificação. As primeiras ferramentas avaliadas foram a Árvore de Decisão e a Rede Neural Artificial. As mesmas foram testadas em um banco de dados inicial montado ao longo da etapa de levantamento de dados (descrito na seção 4.3). Os resultados dessas aplicações não foram satisfatórios, já que a taxa de erro na classificação dos casos da amostra de teste para as duas ferramentas ficou ao

redor dos 50%. Além disso, a Árvore de Decisão resultante era muito extensa, ou seja, possuía um grande número de níveis, o que dificulta a interpretação dos resultados. Por essa razão, essas aplicações não foram descritas em detalhe na apresentação dos resultados (capítulo 5).

A principal ferramenta utilizada nas análises foi a regressão múltipla, principalmente com o objetivo explicar a variância do PPC a partir de variáveis disponíveis que eram coletadas em conjunto com essa medida. Quanto à comparação entre indicadores, conforme comentado na seção 5.6, a pouca disponibilidade de medidas de desempenho dos empreendimentos restringiu bastante a análise do impacto do PCP. Em apenas duas empresas foi possível comparar indicadores de prazo com a eficácia do planejamento. Em uma dessas, pôde-se analisar em uma regressão múltipla o quanto o desvio de prazo, o desvio de custo e o avanço físico contribuíam com o PPC. Entretanto, os resultados apresentaram um baixo coeficiente de determinação para essas análises - oscilando entre 10% e 20% - indicando que os mesmos contribuíram muito pouco para a explicação do PPC no conjunto de empreendimentos analisados.

A maior parte das análises ocorreu em um banco de dados em que as causas do não cumprimento das atividades foram divididas em nove categorias, a semana da obra, o número de pacotes planejados, o número de tarefas executadas e o PPC semanal. Entre os modelos resultantes para a amostra total, os resultados dos coeficientes de determinação ajustado ficaram entre 62,71% e 77,13%. Entre os resultados gráficos dos modelos gerados, a comparação do valor predito padronizado com o resíduo padronizado da regressão indicou que um ou mais atributos importantes para a explicação não estão sendo coletados. Por essa razão, algumas variáveis foram sugeridas na seção 5.4.6. Em estudos futuros, se forem obtidos modelos com um coeficiente de determinação mais elevado e sem ruptura aos pressupostos básicos da regressão (descritos na seção 3.4.2.2), as equações resultantes podem ser utilizadas como uma das validações para as medidas de PPC inseridas no Sistema de Indicadores *On-line* do Clube de *Benchmarking*.

Outro objetivo específico do trabalho foi **identificar falhas na coleta e no armazenamento do PPC e das causas do não cumprimento das tarefas**. Conforme descrito na seção 5.6, foram identificadas algumas falhas recorrentes na coleta dessas medidas, constatados principalmente através da etapa de limpeza inicial do banco de dados: (a) atribuição de problemas em semanas nas quais o PPC era de 100%; (b) falta de identificação de problemas

nas atividades não concluídas; (c) valores faltantes em variáveis importantes, como o número de pacotes planejados e o número de tarefas executadas; e (d) negligenciamento dos registros da última semana de planejamento. Quanto ao armazenamento dos indicadores, na maioria das vezes as planilhas que registram essas medidas estavam disponíveis em formato digital, o que facilitou o armazenamento dos dados. Entretanto, ao longo dessa pesquisa observou-se que, em diversos casos, os referidos registros ficavam restritos às obras e não eram enviados na íntegra ao escritório central, o que dificulta a construção de grandes bases de dados.

Por fim, o último objetivo específico foi **identificar algumas dificuldades na implementação do PCP**. Ao longo do levantamento dos dados e das análises do capítulo 5, concluiu-se que uma das principais dificuldades de implementação do PCP é a reduzida análise de restrições durante o planejamento de médio prazo:

- a) na etapa de levantamento dos dados (seção 4.3) as medidas para o monitoramento da eficácia da remoção das restrições (como o IRR) foram pouco utilizadas pelas obras;
- b) durante a implementação de uma ferramenta computacional (seção 5.5.1.1.2), não havia o registro da remoção de algumas restrições vinculadas a atividades que eram incluídas nos planos de curto prazo, não sendo seguida a prática de proteção da produção. A mesma falha foi observada em diversos estudos qualitativos, descritos nas seções 2.4.2 e 2.5;
- c) a grande concentração de problemas de planejamento (entre os quais destacam-se a modificação dos planos e o atraso da tarefa antecedente) e de mão-de-obra (principalmente devido a falta de comprometimento do empreiteiro e a superestimação da produtividade) podem ser minimizados com a análise consistente de restrições durante a avaliação do fluxo que integra as diferentes unidades de produção no planejamento de médio prazo.

Outra dificuldade da implementação do PCP foi identificada durante a etapa do planejamento de comprometimento, na definição das causas do não cumprimento das atividades. Assim, quando se compara os resultados da análise de regressão múltipla, o coeficiente de determinação ajustado foi maior na sub-amostra que analisou todas as causas do não cumprimento das atividades e na sub-amostra que contou com a presença de pesquisadores quando comparados a amostra total. Assim, há indícios de que as causas do não cumprimento das atividades não são analisadas em profundidade, o que limita a eficácia do planejamento.

Um fator que dificulta a análise das causas do não cumprimento das tarefas é o excesso de atividades planejadas. Conforme indicado na seção 5.4.3, quanto maior o número de pacotes



de trabalho planejados maior a tendência de que os problemas não sejam analisados. Assim, um planejamento nesses moldes tende a sobrecarregar o responsável por essa etapa sem retroalimentar adequadamente o processo.

## 6.2 SUGESTÕES DE FUTUROS TRABALHOS

Algumas sugestões para futuros trabalhos podem ser propostas:

- a) avaliar se o conjunto de variáveis sugeridas na seção 5.4.6 contribuem com a melhora da explicação do PPC semanal em uma análise de regressão múltipla;
- b) testar novas técnicas para a predição do PPC semanal - como a árvore de regressão - a partir do conjunto de variáveis que são coletadas em conjunto com essa medida, como as causas do não cumprimento das tarefas;
- c) comparar o PPC a algumas medidas relacionadas ao grau de implementação de boas práticas de planejamento e controle da produção, que pode ser obtido através da aplicação de uma lista de verificação desse processo;
- d) avaliar o impacto da eficácia do planejamento quando comparado ao custo, ao prazo, à satisfação do cliente e à qualidade;
- e) estabelecer critérios mais claros para a definição dos pacotes de trabalho na prática;

## REFERÊNCIAS

AKKARI, A.M.P. **Interligação entre o planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso do pacote computacional MSProject**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALARCÓN, L.F.; GRILLO, A.; FREIRE, J.; DIETHELM, J. Learning from collaborative benchmarking in the construction industry. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Cingapura. **Proceedings...** Cingapura: 2001. Disponível em: < <http://cic.vtt.fi/lean/singapore/Alarconet.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2004.

ALARCÓN, L.F.; DIETHELM, S.; ROJO, O. Collaborative implementation of lean planning systems in Chilean construction companies. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado, 2002. 1 CD.

ALARCÓN, L.F.; DIETHELM, S.; ROJO, O.; CALDERON, R. Assessing the impacts of implementing Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2005. 1 CD.

ALVES, T.C.L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudo de caso**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALVES, T.C.L; FORMOSO, C.T.; KERN, A.P. Preparação do Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empreendimento Habitacional de Interesse Social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. 1 CD.

ALWI, S. Training field personnel for small to medium construction companies: an alternative tool to increase productivity . In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen, 2004. 1 CD.

ANDRADE, F.R. **Proposta de um modelo de concepção e gestão da produção para empreendimentos habitacionais de baixa renda**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ANG, A.; TANG, W. **Probability Concepts in Engineering Planning and Design: basic principles**. Estados Unidos: John Willey and Sons, 1984.

BALLARD, G. “The Last Planner”. In: SPRING CONFERENCE OF THE NORTHERN CALIFORNIA CONSTRUCTION INSTITUTE, 1994, Monterey, CA. **Proceedings...** Monterey: 1994. Disponível em: < <http://www.leanconstruction.org/pdf/LastPlanner.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2005.

BALLARD, G. Lean Construction and EPC performance improvement. In: ALÁRCÓN, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997a. p.79-91.

BALLARD, G. Lookahead Planning: the missing link in production control. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 5, 1997, Gold Coast. **Proceedings...** Gold Coast: 1997b.

BALLARD, G. Improving Work Flow Reliability. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley: 1999.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering. University of Birmingham, Birmingham.

BALLARD, G.; CASTEN, M.; HOWELL, G. PARC: a case study. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 4., 1996, Birmingham. **Proceedings...** Birmingham: 1996.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean Construction: Improving Downstream Performance. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997a. p.111-125.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean Construction: Stabilizing work flow. In: ALÁRCÓN, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997b. p.101-110.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **Shielding Production**: an essential step in production control. California: Construction Engineering and Management Program, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, 1997c. (Technical Report 97-1)

BALLARD, G.; HOWELL, G.A. An update on last planner. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Blacksburg. **Proceedings...** Blacksburg: 2003. Disponível em: <<http://strobos.cce.vt.edu/IGLC11/PDF%20Files/08.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2004.

BARTEZZAGHI, E. The Evolution of Production Models: is a new paradigm emerging? **International Journal of Operations and Production Management**, v. 19, n. 2, p.229-249, 1999.

BERNARDES, M.M.S. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas de Construção**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERNARDES, M.M.S; FORMOSO, C.T. Contributions to the evaluation of production planning and control systems in building companies. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 10, 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado: 2002.

BIRREL, G. Construction Planning: beyond the critical path. **Journal of the Construction Division**, New York, v.106, n.3, p.389-407, set. 1980.

BORTOLAZZA, R.C.; COSTA, D.B.; FORMOSO, C.T. A quantitative analysis of the implementation of the Last Planner System in Brazil. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2005. 1 CD

BOTERO, L.F.; ALVAREZ, M.E. Last planner: an advance in planning and controlling construction projects. Case study in the city of Medellin. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005. 1 CD.

BULHÕES, I.R. **Rede QUALCON - Planejamento e Controle da Produção**: relatório final. 2004. Não publicado.

BULHÕES, I.R.; FORMOSO, C.T. Desenvolvimento e aplicação de ferramentas gráficas para obras de habitação de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. 1 CD.

CABENA, P.; HADJINIAN, P.; STADLER, R.; VERHEES, J.; ZANASI, A. **Discovering Data Mining**: from concept to implementation. Estados Unidos: Prentice Hall PTR, 1997.

CAMBRAIA, F. B. **Gestão Integrada de Segurança e Produção na Construção Civil: contribuições para o aperfeiçoamento de um modelo de planejamento e controle**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CARVALHO, M.S. **Método de intervenção no processo de programação de recursos de empresas construtoras de pequeno porte através do seu sistema de informação: proposta baseada em estudos de caso**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CHITLA, V.R.; ABDELHAMID, T.S. Comparing process improvement initiatives based on percent complete and labor utilization factors. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Blacksburg. **Proceedings...** Blacksburg, 2003. 1 CD.

CHOO, H.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. Work-plan: constraint-based database for work package scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n.3, p. 151-160, mai-jun, 1999.

CHOO, H.J.; TOMMELEIN, I.D. Requirements and barriers to adoption of Last Planner computer tools. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Cingapura. **Proceedings...** Cingapura, 2001. 1 CD.

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o planejamento e controle integrado dos processos de projeto e produção na construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COELHO, H.O. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). **CII Benchmarking & Metrics Data Report 2000**, CII, Texas, EUA, 2000.

CORPORACIÓN DE DESAROLLO TECNOLÓGICO (CDT). **Sistema nacional de benchmarking para el sector construcción**. Informe Sectorial. Santiago, 2002.

COSTA, D.B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COSTA, D.B.; SCHRAMM, F.K.; FORMOSO, C.T. A importância 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, 2004. 1 CD.

COSTA, D.B.; FORMOSO, C.T.; LIMA, H.M.R.; BARTH, K.B. **Sistema de Indicadores para Benchmarking na Construção Civil**: manual de utilização. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Não publicado.

COX, J.F.; SPENCER, M.S. **Manual da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DOWNING, D.; CLARK, J. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Editora Saraiva, 2005.

FIALLO, M.; REVELO, V.H. Applying the last planner control system to a construction project: a case study in Quito, Ecuador. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado, 2002. 1 CD.

FORMOSO, C.T.; BERNARDES, M.M.S.; OLIVEIRA, L.F.M.; OLIVEIRA, A.K. **Termo de Referência para o Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. 1999. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GONZÁLEZ, M.A.S. **Aplicação de técnicas de descobrimento de conhecimento em bases de dados e de inteligência artificial em avaliação de imóveis**. Novo Hamburgo: SGE, 2003a.

GONZALEZ, R.A.C. **Plan Control: Sistema de apoyo a la planificación y control de producción para la industria de la construcción**. 2003b. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Pontificia Universidade Católica do Chile, Santiago.

GUAJARATI, D.N. **Econometria Básica**. São Paulo: Makron, 2000.

GUTHEIL, K.O. **Desenvolvimento de sistemas de planejamento e controle da produção em micro empresas de construção civil, com foco no planejamento integrado de várias obras**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: ArtMed Editora S.A., 2005.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data Mining: concepts and techniques**. Estados Unidos: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

HAYKIN, S. **Redes Neurais – Princípios e Práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics: foundation of manufacturing management**. Boston: McGraw Hill, 1996.

HOWELL, G.; BALLARD, G. Factors affecting project success in piping function. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997a. p.161-185.

HOWELL, G.; BALLARD, G. Implementing Lean Construction: reducing inflow variation. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997b. p. 93-100.

HOWELL, G.A.; BALLARD, G.; HALL, J. Capacity Utilization and wait time: a primer for construction. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Cingapura. **Proceedings...** Cingapura, 2001.

JOHANSEN, E.; PORTER, G.; GREENWOOD, D. Implementing Lean: UK culture, and system change. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: 2004.

JORGENSEN, B.; EMITT, S.; BONKW, S. Revealing cultures and sub-cultures during the implementation of Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: 2004.

JUNNONEN, J.M.; SEPPANEN, O. Task planning as a part of production control. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: 2004.

KERN, A. P. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KEY PERFORMANCE INDICATORS WORKING GROUP, THE (KPI). **KPI Report for The Minister for Construction**. UK: Department of Environment, Transport and the Regions, 2000.

KIM, Y.W.; BALLARD, G. Is the earned value method an enemy of work flow? In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 9., 2000, Brighthton. **Proceedings...** Brighthton: 2000.

KIM, Y.W.; JANG, J.W. Case study: an application of last planner to heavy civil construction in Korea. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney. **Proceedings...** Sydney: 2005.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. Ph.D. Thesis – Technical Research Centre of Finland, Espoo.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Salford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992. (CIFE Technical Report, n. 72).

KRAWCZYK F., M. **Diretrizes para a programação de recursos em obras de curto prazo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LANTELME, E.M.V.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C.T. Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil. In: FORMOSO, C.T. (Org.). **Gestão de Qualidade na Construção Civil: estratégias e melhorias de processos em empresas de pequeno porte** (relatório de pesquisa). PITHAN, D. (Ed.). Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2001. v.2. 1 CD.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, EUA, v. 5, p. 243-266, 1987.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Competence and timing dilemma in construction planning. **Construction Management and Economics**, EUA, n. 6, p. 339-355, 1988.

LAUFER, A. Essentials of Project Planning: Owner's Perspective. **Journal of Management in Engineering**, EUA, v. 6, n. 2, p.162-176, abr. 1990.

LEECH, N.L.; BARRETT, K.C.; MORGAN, G.A. **SPSS for Intermediate Statistics: use and interpretation**. 2 ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2005.

LIMA, H.M.R. **Concepção e implementação de sistemas de indicadores de desempenho em empresas construtoras de empreendimentos habitacionais de baixa renda**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MADDALA, G.S. **Econometrics**. New York: McGraw Hill, 1977.

MADDALA, G.S. **Introdução à Econometria**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MALHOTRA, N. K. **Marketing Research**. Índia: Pearson Education, 2004.

MARCHESAN, P.R.C. **Módulo integrado de gestão de custos e controle da produção para obras civis**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MASON, C.H.; PERREAULT Jr., W.D. Collinerity, Power and Interpretation of Multiple Regression Analysis. **Journal of Marketing Research**, EUA, v. 28, p. 268-280, 1991.

MIRON, L.I.G. **Proposta de diretrizes para o gerenciamento de requisitos do cliente em empreendimentos da construção**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOURA, P. M. **Uma abordagem simultânea para a coordenação do processo de projeto em empreendimentos complexos de construção**. 2005. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NAVARRO, G. P. **Proposta de sistemas de indicadores de desempenho para a gestão da produção em empreendimentos de edificações residências**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NEVES, A.M; COELHO, H.O.; FORMOSO, C.T. Aprendizagem na implementação do PCP. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENEGEP, 2002.

OLIVEIRA F., J. N.; SOIBELMAN, L.; CHOO, J. Sequential analysis of reasons for non completion of activities: case study and future directions. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 12, 2004, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: 2004.  
Disponível em:  
<[http://www.iglc2004.dk/\\_root/media/13090%5F086%2Dnilton%2Dsoibelman%2Dchoo%2Dfinal.pdf](http://www.iglc2004.dk/_root/media/13090%5F086%2Dnilton%2Dsoibelman%2Dchoo%2Dfinal.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2004.

OLIVEIRA, K.A.Z.; LANTELME, E.M.V.; FORMOSO, C.T. **Sistema de indicadores de qualidade e produtividade na construção civil**: manual de utilização. Porto Alegre: SEBRAE, 1995.

OLIVEIRA, K.A.Z. **Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Indicadores no Processo de Planejamento e Controle da Produção**: proposta baseada em estudo de caso. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAEZ, O.; SALEM, S.; SOLOMON, J.; GENAIDY, A. Moving from Lean Manufacturing to Lean Construction: toward a common sociotechnological framework. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, EUA, v. 15, n. 2, p.233-245, 2005.

PYLE, D. Data Collection, Preparation, Quality and Visualization. In: Ye, Nong. **The Handbook of Data Mining**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

PYLE, D. **Data Preparation for Data Mining**. Estados Unidos: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.

QUINLAN, J.R. **C4.5 programs for machine learning**. San Mateo (CA): Morgan Kauffmann, 1993.

RAMANATHAN, R. **Introductory econometrics with applications**. 4.ed. Forth Worth (EUA): Dryden, 1998.

RODRIGUES, A.A. **O Projeto do Sistema de Produção no Contexto de Obras Complexas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROJO, O. **Manual de Referencia de Usuario – Project Plus Control**: versión Desktop 1.0.9. 2005. Não publicado.



RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. Tradução da 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2004.

SAURIN, T.; FORMOSO, C.T.; GUIMARÃES, L.B.M. Integrating safety into production planning and control process: an exploratory study. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 9, 2001, Cingapura. **Proceedings...** Cingapura: 2001.

SAURIN, T.A. **Segurança e produção**: um modelo para o planejamento e controle integrado. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SEYMOUR, D. Commitment Planning and Reasons analysis. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 8, 2000, Brighton. **Proceedings...** Brighton, 2000.

SHAFER, J.; AGRAWAL, R.; MEHTA, M. SPRINT: A scalable parallel classifier for data mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES, 22., 1996, Bombay. **Proceedings...** Disponível em: <  
<http://www.vldb.org/conf/1996/P544.PDF#search=%22%22A%20scalable%20parallel%20classifier%20for%20data%20mining%22%20pdf%22> >. Acesso em: 15 fev. 2006.

SHAPIRA, A.; LAUFER, A. Evolution of involvement and Effort in Construction Planning Throughout Project Life. **International Journal of Project Management**, New York, v.11, n.3, ago. 1993.

SMALLEY, A. **Achieving Basic Stability**. 2005. Disponível em: <  
[http://www.leanuk.org/articles/achieving\\_basic\\_stability.pdf#search=%22Achieving%20Basic%20Stability%22](http://www.leanuk.org/articles/achieving_basic_stability.pdf#search=%22Achieving%20Basic%20Stability%22)>. Acesso em: 5 jul. 2006.

SOARES, A.C.; BERNARDES, M.M.S.; FORMOSO, C.T. Improving the production planning and control system in a building company: contributions after stabilization. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado: 2002.

SOARES, A.C. **Diretrizes para a manutenção e o aperfeiçoamento do processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOIBELMAN, L.; KIM, H. Data preparation process for construction knowledge generation through knowledge discovery in databases. **Journal of Computing in Civil Engineering**, EUA, v. 16, n. 1, p.39-48, jan. 2002.

SOIBELMAN, L.; KIM, H.; WU, J. Knowledge Discovery for Project Delay Analysis. **Bauingenieur**, Springer VDI Verlag, 2005.

SOONG, T.T. **Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers**. Estados Unidos: John Wiley and Sons, 2004.

SPEAR, S.; BOWEN, H.K. Decoding the DNA of the Toyota Production System. **Harvard Business Review**, EUA, setembro-outubro, 1999.

SUKSTER, R. **A Integração entre o sistema de gestão da qualidade e o planejamento e o controle da produção em empresas construtoras**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SYAL *et al.* Construction Project Planning Process Model For small-Medium Builders. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v.118, n.4, p. 651-666, 1992.

TOMASSEN, M.A.; SANDER, D.; BARNES, K.A.; NIELSEN, A. Experience and Results from implementing Lean Construction in a large Danish Contracting firm. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Blacksburg. **Proceedings...** Blacksburg: 2003.

TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. Lookahead Planning: screening and pulling. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 2., 1997, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: 1997.

TRESCASTRO, M.G. **Diretrizes para a segmentação e seqüenciamento das atividades no processo de projeto na construção**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WEISS, S.M.; INDURKHYA, N. **Predictive Data Mining: a practical guide**. Estados Unidos: Morgan Kaufmann Publishers, 1998.

WITTEN, I.H.; FRANK, E. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations**. Nova Zelândia: Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WU, J.; SOIBELMAN, L. Graphical analysis of non-conformances of construction production processes: ongoing research and case study. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 14., 2006, Santiago. **Proceedings...** Santiago, 2006. 1 CD

YIN, R.K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

## **ANEXO A – FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO**

## FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Nome da Empresa:			
Endereço:		Cidade:	
Estado:	CEP:	Fax:	Fone:
Responsável:	Cargo:	E-mail:	

<b>Metragem quadrada construída nos últimos 5 anos:</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Faturamento aproximado no último ano:</b>	<b>R\$</b>

### Distribuição aproximada das atividades da empresa em termos de faturamento nos últimos 2 anos

1. Incorporação e construção de edificações residenciais	
2. Incorporação e construção de edificações comerciais	
3. Obras residenciais para clientes privados	
4. Obras industriais para clientes privados	
5. Obras comerciais para clientes privados	
6. Obras públicas (Edificações)	
7. Obras públicas (Infra-estrutura)	
8. Obras públicas (Habitação de interesse social)	
9. Outros tipos de Obra	

#### A empresa já participou de algum programa institucional de treinamento para qualidade?

Sim Não

#### Quais?

Convênio com a universidade	Alfabetização
Empresa consultora	ISO 9001
PGQP	Padronização de processos
Sebrae	Práticas <i>lean</i> no canteiro de obra
Senai	Programa 5 S
Sinduscon	Segurança no trabalho
Outros	Outros

#### Marque os projetos de melhoria já desenvolvidos na empresa

Implementação da norma ISO 9000
Desde quando:
PBQP-H
Desde quando:

## FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Nome da Obra:			
Nicho de Mercado:			
Endereço:		Cidade:	
Estado:	CEP:	Fax:	Fone:
Engenheiro Responsável:			E-mail:
Data de início prevista:	Data de fim prevista:	Custo orçado (R\$)	

### Característica da Obra

Escolha a categoria que melhor representa

#### NATUREZA DO EMPREENDIMENTO

Se o seu empreendimento é uma combinação de naturezas, escolha a categoria que você gostaria que seu empreendimento fosse comparado

<input type="checkbox"/> Ampliação	<input type="checkbox"/> Construção Nova	<input type="checkbox"/> Manutenção
<input type="checkbox"/> Reforma	<input type="checkbox"/> Outros	

### FAIXA DE VALOR

Selecione a faixa de valor do seu empreendimento

<input type="checkbox"/> Abaixo de 90 CUBs	<input type="checkbox"/> Entre 90 e 130 CUBs	<input type="checkbox"/> Entre 131 e 220 CUBs
<input type="checkbox"/> Entre 221 e 330 CUBs	<input type="checkbox"/> Entre 331 e 430 CUBs	<input type="checkbox"/> Entre 431 e 780 CUBs
<input type="checkbox"/> Mais que 780 CUBs		

### TIPO DE EDIFICAÇÃO

Marque a alternativa que melhor representa seu imóvel

<input type="checkbox"/> Edificação Vertical	<input type="checkbox"/> Casa	<input type="checkbox"/> Comercial
<input type="checkbox"/> Loteamento de casas	<input type="checkbox"/> Loteamento de prédios	

### TIPOLOGIA

Marque a tipologia que melhor representa seu imóvel

<input type="checkbox"/> 1 Dormitório	<input type="checkbox"/> 2 Dormitórios	<input type="checkbox"/> 3 Dormitórios
<input type="checkbox"/> Kitnet (JK)	<input type="checkbox"/> Loft	<input type="checkbox"/> Casa
<input type="checkbox"/> Sala	<input type="checkbox"/> Loja	<input type="checkbox"/> Outros

### COMPLEMENTOS

Marque os complementos que existem no seu imóvel

<input type="checkbox"/> Cobertura	<input type="checkbox"/> Garagem	<input type="checkbox"/> Dependência
<input type="checkbox"/> Não se aplica	<input type="checkbox"/> Outro:	

### ÁREA DE USO COMUM

Marque os itens existentes na área de uso comum

<input type="checkbox"/> Piscina	<input type="checkbox"/> Web space	<input type="checkbox"/> Salão de festas
<input type="checkbox"/> Sala de ginástica	<input type="checkbox"/> Sauna	<input type="checkbox"/> Churrasqueira
<input type="checkbox"/> Quadras esportivas	<input type="checkbox"/> Praça de recreação	<input type="checkbox"/> Outros:

**PAREDES EXTERNAS**

Marque a opção que melhor representa a alvenaria do seu empreendimento

<input type="checkbox"/>	Alvenaria Estrutural Armada	<input type="checkbox"/>	Alvenaria Estrutural Não Armada
<input type="checkbox"/>	Alvenaria de Vedação	<input type="checkbox"/>	Painéis de Pré-fabricados
<input type="checkbox"/>	Outros: _____ especifique		

**PAREDES INTERNAS**

Marque a opção que melhor representa as divisórias internas do seu empreendimento

<input type="checkbox"/>	Alvenaria Estrutural Armada	<input type="checkbox"/>	Alvenaria Estrutural Não Armada
<input type="checkbox"/>	Alvenaria de Vedação	<input type="checkbox"/>	Painéis de Pré-fabricados
<input type="checkbox"/>	Gesso Acartonado	<input type="checkbox"/>	Outros: _____ especifique

**PILARES**

Marque a opção que melhor representa os pilares do seu empreendimento

<input type="checkbox"/>	Concreto armado moldado no local	<input type="checkbox"/>	Concreto pré-moldado	<input type="checkbox"/>	Outros:
--------------------------	----------------------------------	--------------------------	----------------------	--------------------------	---------

**VIGAS**

Marque a opção que melhor representa as vigas do seu empreendimento

<input type="checkbox"/>	Concreto armado moldado no local	<input type="checkbox"/>	Concreto pré-moldado	<input type="checkbox"/>	Outros:
--------------------------	----------------------------------	--------------------------	----------------------	--------------------------	---------

**LAJES**

Marque a opção que melhor representa as lajes do seu empreendimento

<input type="checkbox"/>	Concreto armado moldado no local	<input type="checkbox"/>	Concreto pré-moldado	<input type="checkbox"/>	Outros:
--------------------------	----------------------------------	--------------------------	----------------------	--------------------------	---------

**FORMAS DE CONTRATAÇÃO**

Marque a opção que melhor representa a forma de contratação

<input type="checkbox"/>	Administração com montante fixo	<input type="checkbox"/>	Administração com percentual	<input type="checkbox"/>	Empreitada com preço global
<input type="checkbox"/>	Empreitada com preço unitário	<input type="checkbox"/>	Incorporação	<input type="checkbox"/>	Outros:

**Detalhes da Obra**

Nº de blocos ou prédios	
Nº de pavimentos por bloco	
Nº de unidades autônomas por pavimento – no subsolo	
Nº de unidades autônomas por pavimento – no térreo	
Nº de unidades autônomas por pavimento – no pavimento tipo	
Nº de unidades autônomas por pavimento – na cobertura	
Área real privativa da unidade autônoma – tipologia 1	m <sup>2</sup>
Área real privativa da unidade autônoma – tipologia 2	m <sup>2</sup>
Área condominial de uso comum	m <sup>2</sup>
Área real de uso comum global	m <sup>2</sup>

(Nomenclatura conforme NBR 12721/92)



**ANEXO B – ANÁLISE GRÁFICA BIVARIADA DO PPC SEMANAL  
COM CADA UMA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES**



