

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Luci Mercedes De Mori

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GERENCIAL PARA PREVISÃO DE
PRODUTIVIDADE DO TRABALHO NA ALVENARIA DE ELEVAÇÃO**

Florianópolis

2008

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

**Sistema de informação gerencial para previsão de produtividade do
trabalho na alvenaria de elevação**

Luci Mercedes De Mori

Tese apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Antônio Edésio Jungles

Florianópolis

2008

Luci Mercedes De Mori

Sistema de informação gerencial para previsão de produtividade do trabalho na alvenaria de elevação

Tese apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Antônio Edésio Jungles, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador

Prof. Ricardo Mendes Junior, Dr.
Universidade Federal do Paraná

Prof^a. Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Norberto Hochheim, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Maria Madalena Dias, Dr.
Universidade Estadual de Maringá

Dedico este trabalho
a Elis, minha amada filha e minha
melhor criação;
a Ives e João, meus pais;
aos meus irmãos: Miriam, Flavio, Marta
e Cláudia; e
aos meus sobrinhos Manu e Vitor.
Família maravilhosa, que possibilitou
acontecer muitas coisas em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas, empresas e instituições que, de alguma forma, contribuíram para concretizar este trabalho, de modo especial:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho, pelo incentivo, pelo otimismo e pela amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, seus professores e funcionários, que me acolheram.

À Universidade Estadual de Maringá e ao seu Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Às Empresas construtoras que gentilmente permitiram a coleta de dados em seus canteiros de obras e aos seus funcionários pela colaboração.

Aos Professores Ph.D. Luís Fernando M. Heineck, Dr. Maurício Figueiredo, Dr^a Maria Madalena Dias e Dr. Ubiraci E. L. de Souza, pelas valorosas contribuições dadas.

À minha filha Elis, por muitas vezes ter lidado com a ausência de sua mãe e não ter se conformado com isso (Mãe, quem você ama mais, eu ou a sua tese?).

Aos meus pais, Ives e João, que sempre nos proporcionaram, a mim e aos meus irmãos, oportunidades que eles nunca tiveram, por meio do incentivo e da valorização de nossa formação acadêmica.

Às minhas irmãs, Miriam, Marta e Cláudia, pelo incansável apoio e auxílio direto ou indireto.

Ao meu irmão Flavio e à minha cunhada Jacque, por compartilharem a sua casa e as suas vidas durante a realização deste trabalho, e por sempre estarem disponíveis a me auxiliar nos momentos necessários.

Ao Armando e a Hilda, pelo auxílio dado por meio da execução das revisões.

Ao Hermes, pela ajuda e pelo carinho.

Aos meus amigos, pelo constante incentivo.

Não venha com esta gabarolice que *peões são como crianças grandes...* Peão de obra não é criança e nem tão crescido assim. Está mais é para o sertanejo, de Euclides da Cunha, também construtor, *é antes de tudo um forte*. E pode ser, como aquele, *bruto e meigo e, apesar da coragem, acreditar em assombração*.

Mesmo subalimentado é alegre, cordial e respeitador, e sem dinheiro no bolso é bom companheiro, amigo e humilde. (...)

Ouçá-o e oriente-se com suas críticas. Não há mais sinceras e precisas. Principalmente se direcionadas à sua própria administração. Mais que qualquer outro funcionário da empresa estará ele sabendo sobre a produtividade da obra, que lhe é filtrada do próprio suor.

Os resultados da obra, aliás, não só dependem, mas são méritos dele. Faça-o enxergar isto. (...)

Engº Amado Gabriel da Silva

RESUMO

De Mori, Luci Mercedes. Sistema de informação gerencial para indicador de produtividade do trabalho na alvenaria de elevação, 2008, 278 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Os indicadores de produtividade de mão-de-obra são elementos importantes para o sistema de produção da construção civil, no fornecimento de informações para a elaboração de planejamento financeiro do empreendimento, da programação físico-financeira e para o controle do processo produtivo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de informação gerencial, para fazer predição dos níveis de produtividade que devem ocorrer frente a condições ambientais predeterminadas, considerando o conjunto de fatores mais influentes na produtividade do trabalho do serviço de alvenaria de elevação. A metodologia se baseou na seleção de atributos, mineração de dados e redes neurais. Foram coletados indicadores diários de produtividade, cada um deles associados a 24 fatores passíveis de afetá-los, nas cidades de Florianópolis-SC e Maringá-PR. Esses dados, após serem tratados e normalizados, foram selecionados pelas ferramentas de seleção de atributos *information gain*, Qui-quadrado e heurística *Correlation-based Feature Selection (CFS)*. Para se identificar os fatores de maior influência, os dados passaram por processo de mineração de dados, com o uso de um algoritmo de classificação. O sistema de informação desenvolvido foi baseado em redes neurais de múltiplas camadas alimentadas adiante, treinadas com o algoritmo de retropropagação do erro (*error back-propagation*), sendo sua capacidade de generalização analisada em experimentos mediante matriz de confusão e coeficiente Kappa. Os métodos de seleção de atributos associados à mineração de dados permitiram reduzir o número de fatores a serem analisados, bem como selecionar aqueles de maior impacto nos indicadores de produtividade, sem a presença de considerações subjetivas. A partir da mineração de dados, constatou-se diferentes níveis de influência dos atributos na produtividade, entretanto ficou evidente a influência da forma de pagamento da mão-de-obra nos níveis de produtividade. O sistema de informações desenvolvido é capaz de fazer a predição de índices de produtividade e selecionar o conjunto de atributos que proporcionam maior acurácia de generalização. Nos resultados das experimentações, as predições atingiram uma mediana acurácia, em torno de 70% de acerto para o conjunto de teste.

Palavras-chave: Sistema de informações gerenciais. Produtividade da mão-de-obra. Alvenaria. Redes neurais artificiais. Mineração de dados.

ABSTRACT

De Mori, Luci Mercedes. Sistema de informação gerencial para indicador de produtividade do trabalho na alvenaria de elevação, 2008, 278 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Indicators of labour productivity are important factors for the system of production of civil construction, in the information delivery of the project's financial planning, and for the physical-financial programming, and control of the production process. On the basis of these considerations, the purpose of this research is to develop a management information system to predict the levels of productivity that should occur due to the predetermined environmental conditions, considering the factors that significantly affect masonry productivity. The methodology was based on the selection of attributes, data mining and neural networks. Daily indicators of productivity were collected, each one of them was associated to 24 factors that could affect them in the cities of Florianópolis-SC and Maringá-PR. These data, after being treated and standardized, were selected by the tools of attributes selection information gain, chi-square and heuristic-based Correlation Feature Selection (CFS). To identify the factors that have the most influence, the data went through a data mining, with the use of decision tree algorithm. The developed information system was based on neural networks of multiple layers fed ahead, trained with the algorithm of error back-propagation. Its ability of generation was analyzed in experiments by matrix of confusion and Kappa coefficient. The attribute selection methods associated with data mining allowed to reduce the number of factors to be analyzed as well select the ones with greater impact on indicators of productivity, without the presence of subjective considerations. From the data mining it was verified different levels of influence of the attributes of productivity, however the influence of the labour form of payment was evident. The information system developed is capable of generating prediction of the productivity rates and selects the group of attributes that provide greater generalization accuracy. In the results of experiments, the predictions reached a median accuracy, around 70% of hit for the whole test.

Key words: Management information system. Masonry. Labour productivity. Artificial neural networks. Data mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores que influenciam a produtividade na construção civil	48
Figura 2 - Modelo dos fatores para produtividade na construção.....	50
Figura 3 - Fatores que influenciam a produtividade	52
Figura 4 - Fatores de contexto e conteúdo que influenciam a produtividade	53
Figura 5 - Modelo Ação-resposta para a perda de produtividade.....	54
Figura 6 - Esquematização de um sistema	61
Figura 7 - Principais áreas de aplicação da Inteligência Artificial.....	64
Figura 8 - Neurônio natural	67
Figura 9 - Modelo de um neurônio artificial	68
Figura 10 - Função de limiar.....	70
Figura 11 - Função linear por partes	70
Figura 12 - Função sigmóide para parâmetro de inclinação a variável	71
Figura 13 - Rede alimentada adiante com camada única	73
Figura 14 - Redes alimentadas adiante com múltiplas camadas	73
Figura 15 - Rede recorrente	74
Figura 16 - Esquema genérico do EP j	79
Figura 17 - Multidisciplinaridade do <i>KDD</i>	91
Figura 18 - Etapas do processo de descoberta de conhecimento.....	92
Figura 19 - Componentes de uma árvore de decisão	99
Figura 20 - Conjunto de dados e a respectiva árvore de decisão	99
Figura 21 - Estrutura de arquivo <i>arff</i>	105
Figura 22 - Arquivo de dados de produtividade <i>arff</i>	145
Figura 23 - Árvore de decisão para dados de Florianópolis	155
Figura 24 - Árvore de decisão para dados de Maringá	156
Figura 25 - Árvore de decisão - 11 atributos	158
Figura 26 - Janela inicial SisRN	161
Figura 27 - Janela ENTRADA DE DADOS.....	162
Figura 28 - Janela de entrada de parâmetros da RN	162
Figura 29 - Janela TREINAMENTO	163
Figura 30 - Janela TESTE	164
Figura 31 - Janela TESTE: resultados	164
Figura 32 - Janela PODA: entrada de dados.....	165
Figura 33 - Janela PODA: resultados.....	166

Figura 34 - Janela GRÁFICO EQM.....	166
Figura 35 - Síntese da aplicação do SisRN.....	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores que afetam a produtividade (décadas de 60 e 70).....	46
Quadro 2 - Modelo Hierárquico	47
Quadro 3 - Síntese de fatores considerados pelos modelos de produtividade	56
Quadro 4 - Tarefas realizadas por técnicas de mineração de dados	98
Quadro 5 - Conjunto de atributos selecionados pela heurística CFS – Florianópolis.....	146
Quadro 6 - Conjunto de atributos selecionados pela heurística CFS - Maringá..	149
Quadro 7 - Conjunto de atributos selecionados pela heurística CFS - Global	151
Quadro 8 - Classificação dos atributos selecionados.....	153
Quadro 9 - Poda de rede para redução do número de fatores – Florianópolis ...	172
Quadro 10 - Poda de rede para redução do número de fatores - Maringá.....	177
Quadro 11 - Poda de rede para redução do número de fatores – Global	183
Quadro 12 - Conjunto de fatores selecionados	186

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da RUP potencial de elevação x fatores influenciadores	59
Tabela 2 - Parâmetros de treinamento testados	120
Tabela 3 - Características das obras de Florianópolis	140
Tabela 4 - Características obras de Maringá.....	141
Tabela 5 - Classes de RUP	144
Tabela 6 - Distribuição das RUPs por classe	144
Tabela 7 - Ranque dos atributos pela medida <i>Information Gain</i> - Florianópolis..	147
Tabela 8 - Ranque dos atributos pela medida Qui-quadrado - Florianópolis	148
Tabela 9 - Ranque dos atributos pela medida <i>Information Gain</i> - Maringá	149
Tabela 10 - Ranque dos atributos pela medida Qui-quadrado - Maringá.....	150
Tabela 11 - Ranque dos atributos pela medida <i>Information Gain</i> - Global.....	151
Tabela 12 - Ranque dos atributos pela medida Qui-quadrado - Global	152
Tabela 13 - Avaliação da classificação - Florianópolis	156
Tabela 14 - Avaliação da classificação - Maringá	157
Tabela 15 - Avaliação da classificação - Global	159
Tabela 16 - Distribuição dos exemplos por classe - Florianópolis.....	169
Tabela 17 - Classes de RUP - Florianópolis.....	170
Tabela 18 - Resultado dos testes de topologia da RN – Florianópolis	170
Tabela 19 - Resultados RN 24 atributos e 6 atributos excluídos - Florianópolis .	171
Tabela 20 - Teste de poda - Florianópolis.....	173
Tabela 21 - Melhores desempenhos - Florianópolis.....	174
Tabela 22 - Matriz de confusão da rede neural artificial F15302.....	174
Tabela 23 - Resultado dos testes de parâmetros de treinamento - Florianópolis	175
Tabela 24 - Distribuição dos exemplos por classes - Maringá	175
Tabela 25 - Classes de RUP - Maringá.....	175
Tabela 26 - Resultado dos testes de topologia da RN – Maringá	176
Tabela 27 - Resultados RN 22 atributos e 6 atributos excluídos - Maringá.....	176
Tabela 28 - Teste de poda – Maringá	178
Tabela 29 - Melhores desempenhos - Maringá.....	179
Tabela 30 - Matriz de confusão da rede neural artificial M5152.....	179
Tabela 31 - Resultado dos testes de parâmetros de treinamento - Maringá.....	180
Tabela 32 - Distribuição dos exemplos por classe	181
Tabela 33 - Resultado dos testes de topologia da RN - Global.....	181

Tabela 34 - Resultados RN 24 atributos e 8 atributos excluídos – Global	182
Tabela 35 - Teste de poda - Global.....	184
Tabela 36 - Melhores desempenhos - Global.....	185
Tabela 37 - Matriz de confusão da rede neural artificial G8154	185
Tabela 38 - Resultado dos testes de parâmetros de treinamento – Global.....	186
Tabela 39 - Resumo de desempenho nas experimentações	187
Tabela 40 - RUP's de obras com blocos cerâmicos (20x20) cm e (19x14) cm ...	223

LISTA DE SIGLAS

arff	Arquivo de texto puro para entrada de dados no WEKA
BP	<i>Backpropagation</i>
CFS	<i>Correlation-based Feature Selection</i>
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
EP	Elemento de processamento
EQM	Erro quadrático médio
IA	Inteligência artificial
IPP	Índice de produtividade parcial
<i>KDD</i>	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
LVQ	<i>Learning vector quantization</i>
MD	Mineração de dados
MLP	Perceptron de múltiplas camadas
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PINN	<i>Probability Inference Neural Network</i>
PTF	Produtividade total dos fatores
RH	Recursos humanos
RNA	Rede neural artificial
RUP	Razão unitária de produção
SI	Sistema de informações
SIG	Sistema de informações gerenciais
SisRN	Nome do sistema de informação desenvolvido
WEKA	<i>Waikato Environment for Knowledge Analysis</i>

SUMÁRIO

1	Introdução.....	18
1.1	Contextualização do tema e definição do problema de pesquisa	18
1.2	Objetivos	24
1.3	Delimitação do estudo.....	25
1.4	Justificativa e relevância da pesquisa	25
1.5	Estrutura do trabalho.....	27
2	Fundamentação teórica	29
2.1	Produtividade	29
2.1.1	Conceituação de produtividade	29
2.1.2	Medidas de produtividade	31
2.1.2.1	Medida de produtividade total	32
2.1.2.2	Medida de produtividade parcial	32
2.1.3	Produtividade dos recursos humanos	34
2.1.4	Fatores que afetam a produtividade do trabalho.....	35
2.1.4.1	Projeto	36
2.1.4.2	Gerenciamento	37
2.1.4.3	Forma de pagamento.....	39
2.1.4.4	Materiais	39
2.1.4.5	Treinamento.....	40
2.1.4.6	Motivação e valorização do trabalho.....	42
2.1.4.7	Temperatura, umidade e eventos climáticos	42
2.1.4.8	Efeito aprendizagem	43
2.1.4.9	Interrupções	45
2.1.4.10	Conjunto de fatores.....	45
2.1.5	Modelagem dos fatores que afetam a produtividade	45
2.1.5.1	Modelo Hierárquico (Kellogg <i>et al.</i>).....	46
2.1.5.2	Arditi.....	48
2.1.5.3	Modelo dos Fatores (Thomas e Yiakoumis)	49
2.1.5.4	Lemon <i>et al.</i>	51
2.1.5.5	Herbzman e Ellis.....	51
2.1.5.6	Thomas e Smith.....	53
2.1.5.7	Modelo Ação-resposta (Halligan <i>et al.</i>).....	53
2.1.5.8	Análise dos modelos.....	55
2.1.6	Produtividade do serviço de alvenaria.....	57
2.1.7	Considerações	58
2.2	Sistema de informação	59
2.2.1	Sistema de informações gerenciais (SIG).....	62
2.2.2	Tecnologia de inteligência artificial.....	64
2.3	Redes neurais artificiais	65
2.3.1	Histórico.....	65
2.3.2	Redes neurais artificiais	65
2.3.3	O neurônio artificial	68
2.3.4	Arquiteturas de redes neurais artificiais	72
2.3.4.1	Redes alimentadas adiante com camada única	72
2.3.4.2	Redes alimentadas adiante com múltiplas camadas	72

2.3.4.3	Redes recorrentes	74
2.3.5	Processos de aprendizagem.....	74
2.3.5.1	Algoritmos de aprendizagem	75
2.3.5.2	Paradigmas de aprendizagem	76
2.3.6	Retropropagação (BP - <i>Backpropagation</i>)	77
2.3.6.1	Passo adiante	80
2.3.6.2	Passo para trás.....	81
2.3.6.3	Taxa de aprendizagem	83
2.3.6.4	Coeficiente de momento	83
2.3.7	Conjunto de dados - tratamento.....	84
2.3.7.1	Normalização (pré e pós-processamentos)	84
2.3.8	Precisão da classificação	85
2.3.8.1	Matriz de confusão.....	85
2.3.8.2	Coeficiente Kappa.....	86
2.3.9	Técnica de poda de rede.....	87
2.3.10	Aplicação das RNAs à produtividade da construção civil.....	87
2.4	Descoberta de conhecimento em banco de dados	90
2.4.1	Processo de descoberta de conhecimento	91
2.4.2	Mineração de dados.....	94
2.4.2.1	Tarefas e técnicas de mineração de dados	95
2.4.2.2	Seleção de atributos	101
2.4.2.3	<i>Waikato Environment for Knowledge Analysis - WEKA</i>	104
2.5	Considerações sobre a pesquisa bibliográfica.....	105
3	Procedimentos metodológicos.....	107
3.1	Classificação da pesquisa.....	107
3.2	Delineamento da pesquisa.....	108
3.2.1	Amostra.....	108
3.2.2	Coleta de dados	109
3.2.2.1	Contato inicial e apresentação da pesquisa	110
3.2.2.2	Coleta de dados por observação direta	110
3.2.2.3	Coleta de dados sobre a obra e o processo	112
3.2.2.4	Coleta de dados sobre os trabalhadores	113
3.2.2.5	Dados climatológicos	113
3.2.3	Tratamento preliminar dos dados.....	113
3.2.4	Fator de conversão	115
3.2.5	Seleção de atributos.....	118
3.2.6	Mineração de dados.....	118
3.2.7	Desenvolvimento do sistema de informações gerenciais.....	118
3.3	Considerações sobre o capítulo 3.....	121
4	Apresentação, experimentação e análise dos resultados.....	122
4.1	Obras.....	122
4.1.1	Obra F1.....	122
4.1.2	Obra F2.....	124
4.1.3	Obra F3.....	126
4.1.4	Obra F4.....	128
4.1.5	Obra F5.....	130
4.1.6	Obra M1.....	132
4.1.7	Obra M2.....	134

4.1.8	Obra M3.....	136
4.1.9	Obra M4.....	137
4.1.10	Resumo das obras.....	139
4.2	Dados, categorização e normalização de atributos.....	142
4.3	Seleção de atributos.....	145
4.3.1	Florianópolis.....	146
4.3.2	Maringá.....	148
4.3.3	Dados globais.....	150
4.3.4	Análise.....	153
4.4	Mineração de dados.....	154
4.4.1	Florianópolis.....	154
4.4.2	Maringá.....	156
4.4.3	Dados globais.....	157
4.5	Sistema de informação - SisRN.....	160
4.6	Experimentação.....	169
4.6.1	Florianópolis.....	169
4.6.1.1	Topologia da rede neural artificial.....	170
4.6.1.2	Poda da rede.....	171
4.6.1.3	Parâmetros de treinamento.....	174
4.6.2	Maringá.....	175
4.6.2.1	Topologia da rede neural artificial.....	176
4.6.2.2	Poda da rede.....	176
4.6.2.3	Parâmetros de treinamento.....	180
4.6.3	Dados globais.....	180
4.6.3.1	Topologia da rede neural artificial.....	181
4.6.3.2	Poda da rede.....	182
4.6.3.3	Parâmetros de treinamento.....	185
4.6.4	Análise conjunta.....	186
5	Conclusões.....	188
6	Referências Bibliográficas.....	193
	Apêndice A Apropriação de homens-hora e ocorrências diárias.....	203
	Apêndice B Dados sobre a obra e o serviço de alvenaria.....	205
	Apêndice C Caracterização dos trabalhadores.....	214
	Apêndice D Nível de satisfação.....	216
	Apêndice E Fator de conversão.....	222
	Anexo A Caracterização das condições do meio ambiente de trabalho.....	225

1 Introdução

Este capítulo caracteriza a pesquisa desenvolvida na presente tese. Com este propósito, inicialmente contextualiza-se o tema e define-se o problema que norteia o desenvolvimento da tese. Os objetivos gerais e específicos são apresentados a seguir, juntamente com as justificativas teóricas e práticas. O capítulo é finalizado com a descrição da estrutura do projeto de tese.

1.1 Contextualização do tema e definição do problema de pesquisa

Ao ser concebida, no momento em que consiste de somente uma idéia, uma empresa é idealizada como um empreendimento que será competitivo frente aos demais já estabelecidos e, por isso, ocupará determinado espaço no mercado no qual ela será inserida. As empresas são criadas para que ao longo do tempo se fortaleçam e se mantenham ativas, gerando benefícios financeiros e sociais. Estes são os fundamentos básicos na sua concepção. A conquista de espaço no mercado será resultado da competência da empresa, a qual será obtida a partir da atuação sincronizada e eficiente de suas várias funções.

Slack *et al.* (1997), ao focarem a atenção na função produção da empresa, deixam clara a importância desta para a competitividade. Eles citam que, além das responsabilidades e tarefas óbvias dentro da empresa, a função produção pode desempenhar três papéis nos planos estratégicos da empresa: (1) desenvolver seus recursos para que forneçam as condições necessárias para permitir que a empresa atinja os seus objetivos estratégicos; (2) transformar decisões estratégicas em realidade operacional; (3) impulsionar a estratégia, dando à empresa vantagem competitiva a longo prazo. Na visão de tais autores, o essencial é que todos os fatores que promovem sucesso a longo prazo decorrem direta ou indiretamente da função produção. É a parte produção da empresa que representa a guardiã da competitividade.

Com um fraco desempenho da produção, a empresa perde a competitividade a longo prazo. Qualquer empresa que faz produtos e/ou presta serviços melhores, mais rápido, em tempo hábil, em maior variedade e mais baratos do que seus

concorrentes e esteja preparada para mudanças possui a melhor vantagem, a longo prazo, que qualquer empresa poderia desejar (SLACK *et al.*, 1997).

Picchi (1993) confirma esta visão, uma vez que, segundo ele, no âmbito da construção civil, as empresas que durante anos sobreviveram utilizando a cultura do repasse de custo, ou seja, transferindo aos compradores suas ineficiências operacionais, ao invés de diminuí-las, são expulsas do mercado.

O bom desempenho é consequência da eficiência produtiva. A busca por maior eficiência é considerada por Bornia (1995) como uma das principais preocupações da empresa moderna, uma vez que o mercado não se encontra disposto a absorver as suas ineficiências.

Dado este contexto, a eficiência nos processos produtivos deve ser uma meta a ser atingida pelas empresas, a fim de assegurar a lucratividade e garantir sua permanência no mercado. Portanto, confirma-se a necessidade de se primar pela redução dos desperdícios existentes, já que uma indústria eficiente se caracteriza por um reduzido volume de desperdício dos recursos de toda ordem: materiais, humanos, energéticos, financeiros e temporais (SABBATINI, 1989).

O controle do consumo real dos recursos é importante por possibilitar a compreensão dos fatores que induzem a tais consumos durante a execução da atividade, favorecendo a eliminação ou manutenção de sua prática, direcionando o processo para atingir a eficiência. De acordo com Araújo (2000), determinar a eficiência na transformação dos recursos envolvidos, detectar e quantificar a influência de fatores que possam ser relacionados a perdas dessa eficiência, caracteriza-se como um importante aspecto para balizar a busca da melhoria do processo de produção.

Quando o foco é nos recursos humanos, a forma de controle mais difundida na construção civil é a medida de produtividade do trabalho. De acordo com Henzel e Oliveira (2001), as medidas de produtividade são importantes para o gerenciamento dos processos da construção, pois elas podem fornecer informações quanto ao desempenho atual da empresa e orientar estratégias para a melhoria do desempenho global e das atividades em particular.

As medidas de produtividade também são importantes para a gestão de pessoas dentro da organização, uma vez que elas integram o processo de aplicar pessoas, por meio da avaliação de desempenho, e proporcionam informações para os demais processos básicos da gestão de pessoas: de recompensar pessoas, de desenvolver pessoas, de manter pessoas e de monitorá-las (CHIAVENATO, 2005).

A indústria da construção apresenta particularidades que a caracterizam como complexa e heterogênea. Esse fato implica numa grande diversidade de agentes que intervêm direta ou indiretamente em seus processos de produção e que podem afetar a qualidade do produto final e a produtividade.

De acordo com Oglesby *et al.* (1989), a construção pode ser visualizada como um empreendimento que envolve quatro grandes grupos: (1) proprietário(s); (2) projetistas; (3) empresas construtoras e (4) força de trabalho. Os autores afirmam que os esforços de todos eles são essenciais para que um projeto se torne realidade, mas a conclusão final depende do desempenho do encarregado e das equipes de trabalho. No entanto, o custo, a qualidade e o tempo necessário para produzir não dependem somente de suas habilidades e seus esforços, mas também do desempenho dos outros três grupos que controlam os elementos necessários para a produtividade na frente de trabalho. Isso demonstra a importância que a força de trabalho possui dentro do processo construtivo.

A preocupação particular com as questões relativas à mão-de-obra advém da natureza intensiva desse recurso presente na Construção Civil e do importante papel social que este setor desempenha ao absorver um grande contingente de trabalhadores. O uso intensivo de mão-de-obra pela indústria da construção se reflete no custo. Solano (2003), ao estudar curva ABC de fornecedores, conclui que o custo de mão-de-obra figura entre os itens de maior importância no custo da construção.

Laufer (1985) apresenta os motivos para que, no canteiro de obras, o foco principal de qualquer programa para a melhoria da produtividade recaia sobre a mão-de-obra. Segundo ele, as razões eram:

- 1) Custo: a mão-de-obra, que constitui 25-40% do custo total de construção, está quase que totalmente sob o controle do gerente de produção e, portanto, guarda

o maior potencial para redução de custos. Apesar de os custos de materiais serem comparativamente maiores, o potencial para economias é relativamente pequeno, já que a maioria das decisões é feita ou por pessoas de fora (projetistas) ou pelo escritório da empresa (compradores). Mais ainda, a melhoria na produtividade da mão-de-obra traz consigo a redução do tempo de construção que, por sua vez, afeta os custos dependentes do tempo (por exemplo, custos de administração do canteiro), que correspondem a 10-15% dos custos de construção.

- 2) Facilidade e velocidade do estudo do desempenho da mão-de-obra: a identificação de problemas e a aquisição de dados junto aos operários podem ser realizadas em um tempo bem mais curto do que o necessário para realizar um estudo em nível da gerência. O tempo necessário para que indicadores eficientes possam mostrar o desempenho de uma pessoa varia fortemente de acordo com o cargo ocupado. Nos níveis mais baixos, em uma organização, bastam algumas horas ou dias, enquanto que nos cargos mais altos podem ser necessários meses ou anos.
- 3) Facilidade e velocidade da implementação de mudanças: o grau de autonomia que um gerente de produção em um projeto de tamanho médio dispõe em relação à mão-de-obra é quase total. Com respeito a sua própria função e habilidade em introduzir mudanças, contudo, a independência do gerente de produção é mais restrita. Mudanças nos procedimentos de trabalho com subcontratados, por exemplo, podem requerer ajustes correspondentes por parte do escritório central, por causa de possíveis efeitos em outros canteiros. Será dada preferência, portanto, a mudanças que afetem a mão-de-obra e possam ser alcançadas com facilidade e velocidade.

Portanto, a partir do monitoramento dos índices de produtividade que fazem parte de um processo contínuo de *feedback* - medição do desempenho, diagnóstico, decisão, implementação e, novamente, medição - é possível que o processo seja melhorado continuamente, a fim de se obter uma redução do uso deste fator, empregando-o de forma mais otimizada e, aumentando assim, a competitividade da empresa.

Muitos autores descrevem, na maioria dos casos, como um determinado fator interfere na produtividade (MALONEY (1983), MALONEY e MACFILLEN (1985), MALONEY (1986), SILVA (1986), OLOMOLAIYE e OGUNLANA (1988), SANVIDO

(1988), OGLESBY et al. (1989), THOMAS *et al.* (1989), HERBSMAN e ELLIS (1990), HEINECK (1991), THOMAS *et al.* (1992), PICCHI (1993), SOILBELMAN (1993), CTE (1994), MAIA (1994), SCARDOELLI et al. (1994), MUTTI (1995), SANTOS (1995), MOSELHI et al. (1997), MARCHIORI (1998), CORREA (2000), SRINAVIN e MOHAMED (2003), NORFLEET (2004)). De tais estudos, pode-se criar uma lista de fatores que afetam a produtividade do trabalho no canteiro de obras. Dentre esses, pode-se citar: condições climáticas, nível de repetição (efeito aprendizagem), horas-extras, tamanho da equipe, qualidade da equipe, aspectos relativos ao projeto do produto e a tecnologia de execução, interrupções, motivação, nível de planejamento/gerenciamento e benefícios (recompensas).

Pode haver o caso em que o ganho de produtividade pode ser justificado por um fator em específico, mas acredita-se que, muito provavelmente, a produtividade alcançada seja a resposta dos trabalhadores ao conjunto de fatores presentes, os quais agem simultaneamente no processo produtivo. Como a produtividade do trabalho na construção é afetada por vários fatores, a sua modelagem se torna um desafio pelo fato de que múltiplos fatores devem ser considerados simultaneamente.

Thomas e Smith (1990) *apud* Souza (1996), em um trabalho bastante abrangente sobre os fatores que afetam a produtividade dos recursos humanos, afirmam que um problema significativo quanto ao estudo da produtividade é que há muitos fatores potenciais e as interações entre eles não são quantitativamente conhecidas. Essa complexidade é clara na visão de Amorim (1995). Segundo o autor, a conjugação da grande variação dos fatores de produção com as dificuldades de apropriação do saber operário pela gerência conduz a uma situação na qual não é possível identificar as produções similares, os fatores de produção comparáveis, nem tampouco isolar a contribuição específica de cada aspecto nos ganhos de produtividade.

Henzel e Oliveira (2001) levantam a necessidade de se desenvolver pesquisas que tenham a função de detectar fatores que afetam a produtividade na execução de obras, além de quantificar sua influência. Segundo tais autores, a apropriação desse conhecimento tornará possível o planejamento de ações que minimizem os efeitos dos fatores controláveis que afetam a produtividade. Por outro lado, o entendimento das razões que fazem a produtividade variar leva à possibilidade de estimá-la, a

partir de alguns parâmetros pré-determinados. Se alcançado tal intento, será possível determinar, com relativa precisão, índices esperados de desempenho e, a partir daí, passar a influenciar a produtividade.

O conhecimento de índices esperados de produtividade, dentro do sistema de produção da construção civil, tem grande importância, pois deles dependem:

- orçamento do empreendimento;
- planejamento do consumo de mão-de-obra ao longo do tempo;
- planejamento físico da obra;
- controle e avaliação dos índices reais obtidos.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, optou-se por estudar particularmente a atividade de alvenaria de elevação, uma vez que o estudo dessa atividade consiste em uma lacuna em termos de pesquisa, como será demonstrado no Capítulo 2.

O custo das vedações verticais convencionalmente usadas na construção civil representam de 3,5% a 8% do custo total da construção de edifícios habitacionais e comerciais e atinge 11% para edifícios populares (REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO, 2005). Para esse serviço, os custos com a mão-de-obra representam algo em torno de 50% dos custos totais.

Além da importância financeira, há de se ressaltar, dentro da nomenclatura adotada pelo sistema da qualidade, que os executores da estrutura e da alvenaria são fornecedores internos de inúmeros clientes internos relativos aos demais serviços que compõem uma obra de construção de edifícios, ou seja, de sua finalização e qualidade dependem as demais atividades. Dentro desse espírito, o domínio do processo produtivo da estrutura e alvenaria se constitui ponto fundamental para se obter qualidade do produto, e o estudo de produtividade de tais serviços contribuem para sua gestão de melhoria contínua.

Portanto, a importância financeira, somada à importância técnica das alvenarias, justifica o interesse em se estudar a produtividade da mão-de-obra que os executa. A partir do reconhecimento da importância que indicadores de produtividade possuem para o sistema de produção da construção civil, seja fornecendo informações para a elaboração do planejamento financeiro do empreendimento,

programação físico-financeira ou para o controle do processo produtivo, a questão de pesquisa formulada para esta tese é:

Como melhorar o processo de predição de índices de produtividade para a atividade de alvenaria de elevação, frente a condições ambientais predeterminadas?

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa consiste em desenvolver um sistema de informações gerenciais (SIG) para determinar qual é o conjunto de fatores mais influentes na produtividade do trabalho do serviço de alvenaria de elevação e, por meio dele, prever os índices de produtividade que podem ocorrer em determinado ambiente.

Em termos específicos, destacam-se os seguintes objetivos:

- 1) Identificar, na bibliografia da área, os fatores que afetam a produtividade do trabalho na construção civil, os modelos de análise de produtividade e os estudos relacionados à produtividade no processo de elevação de alvenaria;
- 2) Estruturar um banco de dados de índices de produtividade do serviço de alvenaria de elevação que contenha informações acerca do trabalho realizado e das condições em que este foi executado;
- 3) Identificar, na base de dados, os fatores de maior influência na produtividade da mão-de-obra na execução de alvenaria de elevação;
- 4) Comparar o desempenho de redes neurais artificiais, que variam em número de elementos de processamento e parâmetros de treinamento, na tarefa de predição de índices de produtividade do trabalho do serviço de alvenaria de elevação;
- 5) Distinguir, por meio de implementação de redes neurais artificiais de múltiplas camadas, não-recorrentes, treinadas por algoritmos de retropropagação de erro, o menor conjunto de fatores que promovem a melhor acuidade de generalização da rede neural artificial;
- 6) Disponibilizar para pesquisadores e empresas do setor da construção civil um sistema de informações gerenciais relacionado à produtividade do trabalho.

1.3 Delimitação do estudo

Esta pesquisa se delimita ao estudo relativo à produtividade do trabalho em construção civil, relacionada à atividade de execução de alvenaria de elevação, para edificações verticais, pavimento-tipo, internas e externas, focando o desenvolvimento de um sistema de informações para suporte gerencial.

Em termos espaciais, a pesquisa está limitada a duas cidades da Região Sul, Florianópolis e Maringá, por causa da conveniência espacial e a existência de contatos que possibilitaram a obtenção de dados necessários à implementação da rede neural artificial. No entanto, este fato não limita a aplicação do resultado da pesquisa a outras regiões geográficas.

Uma vez criada e treinada, a rede neural artificial, base do Sistema de Informações Gerenciais a ser desenvolvido, poderá ser continuamente atualizada a partir da inserção de novos índices de produtividades associados às respectivas condições sob as quais foram obtidos. Este procedimento faz com que o resultado da pesquisa possa se manter sempre atualizado. Portanto, o prazo no qual a pesquisa terá validade não é limitado.

1.4 Justificativa e relevância da pesquisa

A aplicação de redes neurais artificiais na previsão de índices de produtividade na construção civil foi proposta inicialmente por Moselhi *et al.* (1991). Estes autores apresentaram as vantagens e a aplicabilidade das redes neurais artificiais na construção civil e citaram que a previsão do índice de produtividade poderia ser modelada com redes neurais artificiais. No entanto, não apresentaram aplicação para a modelagem de produtividade.

A partir de então, alguns pesquisadores no âmbito internacional se dedicaram a testar sua aplicabilidade. Tem-se, por exemplo, os estudos de Karshenas e Feng (1992) que analisaram a produtividade de equipamentos de movimentação de terra; AbouRizk e Wales (1993) que usaram redes neurais artificiais como um meio de aplicar os efeitos das condições ambientais locais ao índice de produtividade de uma atividade; Chao e Skibniewski (1994) executaram um estudo de caso no qual uma rede neural artificial foi usada para prever a produtividade de uma escavadeira; Portas e AbouRizk (1997) desenvolveram um modelo para predição de índices de

produtividade, baseado em redes neurais artificiais, para a atividade de formas para paredes de fundação; Knowles (1997) desenvolveu redes neurais artificiais para a predição de índices de produtividade relativos a operações de instalações de tubulações industriais e fôrmas para paredes e lajes em concreto; Sonmez e Rowings (1998) se dedicaram ao estudo da avaliação quantitativa de múltiplos fatores na produtividade das atividades de fôrmas, lançamento e acabamento do concreto; AbouRizk *et al.* (2001) apresentaram um modelo de rede neural artificial para prever produtividade de trabalho de instalação de tubulações; AbouRizk *et al.* (2001) desenvolveram um modelo composto por uma rede neural artificial para prever índices de produtividade para as atividades de soldagem e instalações de tubulações industriais; e Tam *et al.* (2002) desenvolveram um modelo quantitativo para predição de produtividade de escavadoras, o qual foi comparado a um modelo de regressão múltipla.

Observa-se, portanto, que as pesquisas desenvolvidas, relacionando os temas produtividade e redes neurais artificiais, limitaram-se às atividades de instalação de tubulações industriais, escavação, fôrmas e concretagem. Dentre as pesquisas desenvolvidas, não se constata a presença de estudos relativos à alvenaria, atividade de interesse deste trabalho de pesquisa. No Brasil, dentro da área da engenharia civil, nenhuma aplicação de redes neurais artificiais à produtividade foi localizada.

O presente estudo encontra relevância tanto no aspecto teórico quanto no aspecto prático. Na questão teórica, ao propor identificar os fatores que afetam com maior intensidade a produtividade do trabalho na atividade estudada, considerando a interdependência entre eles, a pesquisa trará informações que serão de suma importância para fundamentar ações de melhoria da produtividade do trabalho, seja na área de projetos, recursos humanos (RH) ou de gerência do empreendimento. Sob ponto de vista prático, o estudo contribui de forma aplicada com os gestores dos empreendimentos, uma vez que o sistema de informação gerencial resultante poderá ser utilizado por qualquer empresa de construção civil que atue no subsetor edificações. À empresa usuária caberá fazer a inclusão de seu banco de dados de produtividade, associando aos índices as condições sob as quais eles foram obtidos, para que seja possível realizar um novo treinamento da rede neural artificial e, deste

modo, o sistema responderá de forma mais adequada, uma vez que ele contemplará a realidade e a cultura gerencial da empresa.

Quando se possui a clareza sobre quais fatores que, agindo conjuntamente, proporcionam a obtenção de índices de produtividades mais elevados, torna-se possível a realização de intervenção efetiva para melhorar a eficiência do processo produtivo. O conhecimento do índice de produtividade do trabalho esperado frente a uma dada condição gera informações úteis para o processo de orçamentação, planejamento de recursos humanos e para o controle do processo produtivo. Neste sentido, espera-se que os resultados deste presente trabalho possam contribuir para um gerenciamento eficaz e eficiente na construção civil.

1.5 Estrutura do trabalho

O conteúdo deste trabalho é subdividido em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, é apresentada uma introdução onde constam os objetivos do trabalho, sua importância sob diversos enfoques, suas delimitações e estrutura.

A seguir, no Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica, com a qual se busca resgatar conceitos relativos à produtividade, sistemas de informações gerenciais, redes neurais artificiais e descoberta de conhecimento em banco de dados. No tópico de produtividade, apresentam-se os conceitos fundamentais, discute-se a produtividade aplicada ao ambiente da construção civil e se discorrem sobre alguns modelos apresentados, para explicar a produtividade nesse ambiente. Sobre redes neurais artificiais, explanam-se os princípios básicos e tipologias e centra-se maior atenção ao algoritmo retropropagação de erro, utilizado no desenvolvimento da pesquisa. Finalizando esse tópico, apresentam-se os estudos já realizados que abordam, simultaneamente, redes neurais artificiais e produtividade na construção civil.

No terceiro Capítulo, descreve-se a proposta metodológica utilizada para a execução do trabalho a que se propõe esta tese.

No Capítulo 4, apresentam-se as características das obras acompanhadas, seguido da exposição dos dados de produtividade e da forma original de categorização dos atributos, explica-se o tratamento dos dados para uso em redes neurais artificiais e em mineração de dados, com a respectiva seleção de atributos. Posteriormente,

apresenta-se a mineração de dados e o sistema de informações gerenciais desenvolvido, com as respectivas experimentações e a análise de resultados. Em seguida, apresenta-se a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas, os apêndices e o anexo.

2 Fundamentação teórica

O presente capítulo apresenta um conjunto de elementos relacionados a resultados de estudos vinculados ao problema de pesquisa e aos objetivos propostos neste trabalho.

A fundamentação teórica tem início com a apresentação de revisão sobre produtividade, focando a atenção maior sobre a produtividade do trabalho na construção civil. Na seqüência, são apresentados conceitos relacionados a sistemas de informação, à revisão sobre redes neurais artificiais, base para composição do sistema de informações para indicador de produtividade do trabalho na alvenaria de elevação desenvolvido no presente trabalho, e, por fim, procede-se a apresentação de conceitos relativos à descoberta de conhecimento em banco de dados.

2.1 Produtividade

A partir de uma visão bastante ampla e conceitual da produtividade, este item se encontra estruturado de modo a introduzir gradualmente um nível maior de detalhe em tópicos específicos. Inicia-se com a exposição dos conceitos de produtividade e, posteriormente, apresentam-se: os fatores que são divulgados como tendo interferência sobre o nível de produtividade dos recursos humanos do canteiro de obras; os modelos de produtividade desenvolvidos especificamente para o ambiente da construção civil e os estudos realizados no Brasil sobre a produtividade dos recursos humanos no serviço alvenaria.

2.1.1 Conceituação de produtividade

Nueno (1977), em uma abordagem bastante ampla, conceitua a produtividade como uma relação entre os resultados e os consumos de um processo. Define saídas como os produtos, bens e serviços que se obtém de um processo e entradas como todos os elementos que durante as diferentes fases do processo passa a integrar-se aos produtos, bens e serviços, ou são consumidos na sua obtenção. É possível representar, de forma simbólica, este conceito pela Equação (1), a seguir:

$$Produtividade = \frac{Saídas}{Entradas} \quad (1)$$

Dessa fórmula, decorre que a produtividade melhora sempre que aumenta a relação entre os resultados e os consumos do processo.

Bonelli *et al.* (1994) definem a produtividade como sendo a relação entre produtos e insumo(s) necessário(s) à produção. Moreira (1991) afirma que, dado um determinado sistema de produção, a produtividade desse sistema é definida como sendo a relação entre o que foi produzido e os insumos utilizados num certo período de tempo. O autor considera que um sistema de produção é um sistema de conversão de insumos em serviços ou produtos. Este autor deixa explícito no conceito de produtividade a sua dimensão temporal.

Silva (1986, p. 111) apresenta uma definição de produtividade que associa a eficiência no uso dos fatores de produção. Segundo a autora, a produtividade pode ser representada como sendo a "... razão entre produto e insumo medidos do ponto de vista de volume físico ou de valor, a fim de traduzir a eficiência com que são utilizados os recursos".

Segundo Ribas (1991), a eficiência está orientada para a otimização da relação insumo e produto. Este autor considera que a noção central da eficiência é a da produtividade, ou seja, a capacidade de gerar maior quantidade de produtos com o mesmo valor de insumos.

Segundo Severiano Filho (1999), a eficiência pode ser obtida por três vias: (1) reduzindo-se a quantidade de entradas necessárias à produção de um determinado volume de saídas, (2) aumentando-se a quantidade produzida a partir de um mesmo volume de entradas e (3) combinando-se os dois fenômenos anteriores.

A forma de medição dos insumos e dos produtos, em geral, pode ser em termos de volumes físicos ou de valores econômicos. Silva (1986) declara que a utilização de volume físico encontra dificuldades de medição por causa da heterogeneidade da produção e dos fatores de produção. Por outro lado, o uso de valor depende essencialmente de índices de preços, os quais podem introduzir distorções na medida de produtividade.

Enquanto na Economia a medida de produção é usualmente transformada em valor da produção, na Engenharia, essa prática não tem sido aceita, é preferível que ela seja estabelecida em termos físicos (AMORIM, 1995).

A enunciação simplificada do índice de produtividade, às vezes, leva as empresas a terem a ilusão imediatista de buscar a produtividade na supressão ou diminuição dos fatores. No entanto, a produção nada mais é que uma função dos fatores de produção e, dada uma alteração no denominador do índice (fatores), a tendência é de modificação de igual sentido e intensidade no numerador (produção), anulando a operação. Considerando que a função de produção é mais que o simples somatório dos fatores, uma vez que inclui também a forma como tais fatores são combinados para se transformarem, é possível, por meio da atuação conjunta sobre os fatores, na organização da produção, incrementar a produtividade total (THIRY-CHERQUES, 1991).

Enfim, a produtividade pode ser definida de várias formas, no entanto, em todas, ela é representada por uma relação entre a(s) saída(s) resultante(s) de um processo e o(s) recurso(s) que entra(m) nele.

2.1.2 Medidas de produtividade

Considerando que um sistema de produção envolve uma série de fatores de produção, segundo Severiano Filho (1999), pode-se individualizar outras três definições de produtividade, ou categorias de medidas de produtividade, como são mais conhecidas: parcial, total e múltipla.

As medidas parciais são índices que expressam o rendimento de um único fator de cada vez. Esses índices são obtidos por meio da relação entre a produção e a quantidade do insumo utilizado (BONELLI *et al.*, 1994). Esta medida, portanto, indica a quantidade média do produto gerado por cada unidade de insumo utilizado, o que propicia uma visão mais detalhada do nível de desempenho por tipo de recurso consumido.

As medidas de produtividade total procuram considerar todos os fatores de produção utilizados (capital, trabalho, matérias-primas, energia), por meio de algum sistema de ponderação. Trata-se, também, de uma relação entre a produção e a quantidade de

insumos utilizados. Neste caso, os insumos são medidos como um conjunto (BONELLI *et al.*, 1994).

De acordo com Bonelli *et al.* (1994), as medidas parciais são mais indicadas para o controle operacional, enquanto que as totais são mais utilizadas para o controle gerencial; é uma forma de avaliar o desempenho estratégico de empresas.

De acordo com Honorio (2002), a determinação da produtividade parcial é uma importante ferramenta para detectar problemas pontuais, no entanto, o foco sempre deve ser a maximização da produtividade total. O uso de cada um dos recursos deve ser otimizado, porém não se pode negligenciar o conjunto dos fatores e os reflexos da otimização de cada um deles (produtividade parcial) sobre os demais, pois a produtividade total é fruto da agregação de todos.

2.1.2.1 Medida de produtividade total

Na área de Economia, a medida de produtividade total é denominada produtividade total dos fatores (PTF). É baseada na teoria de que o crescimento da produção pode ser obtido pela expansão dos recursos produtivos e pelo aumento da eficiência com que esses recursos são usados (BONELLI *et al.*, 1994).

De acordo com Amorim (1995), por meio da produtividade total, é possível avaliar os efeitos de todos os insumos, evitando-se uma visão distorcida que apenas um deles poderia fornecer. Quando se adota um indicador parcial, corre-se o risco de confundir crescimento da produtividade com substituição de um fator de produção por outro.

Na elaboração de índices de produtividade total, utilizam-se de recursos matemáticos bem mais sofisticados do que os utilizados na construção de índices parciais. Esse aumento da complexidade matemática se deve principalmente às dificuldades encontradas para poder tratar em uma só formulação os insumos que são medidos em dimensões diferentes.

2.1.2.2 Medida de produtividade parcial

Quando as medidas físicas (unidades, metragens e volumes) são conhecidas, pode-se facilmente calcular a produtividade parcial de cada um dos principais fatores de

produção (trabalho, capital, matéria-prima e energia) que são empregados na fabricação de produtos.

O cálculo do índice de produtividade parcial (IPP) pode ser realizado por meio da Equação (2):

$$\text{IPP} = \text{Quantidade produzida} / \text{Quantidade do fator de produção usado} \quad (2)$$

Esta expressão matemática representa a quantidade média do produto gerada por cada unidade do fator de produção investido (SEVERIANO FILHO, 1999).

O indicador mais difundido nesta categoria é o índice de produtividade dos recursos humanos, a produtividade do trabalho. Este indicador é obtido pela relação entre a quantidade produzida e a quantidade de horas/ homem de trabalho necessárias para essa produção. A quantidade produzida pode ser medida em termos físicos, no caso de um produto único, ou em valores constantes, quando há múltiplos produtos. Neste caso, existe um complicador relativo às questões relacionadas à construção de números-índices necessários para transformar valores correntes em valores constantes (BONELLI *et al.*, 1994).

Bonelli *et al.* (1994) deixam claro que existem diversos outros indicadores parciais, os quais podem ser bastante adequados para avaliarem determinados processos produtivos, como, por exemplo, produtividade de energia e produtividade de matéria-prima relevante para o processo.

Segundo Moreira (1991), nenhuma medida parcial de produtividade pode ser usada como um indicador de eficácia no uso do insumo que aparece no denominador, isto pelo fato de o índice de produtividade parcial incorporar também os efeitos de substituição do insumo a que se refere por outros insumos utilizados na produção.

Segundo Chew (1988), o problema com os fatores de medição da produtividade parcial (produção por homem-hora, produção por máquina, produção por volume de matéria-prima, entre outros) advém do fato de ser fácil aumentar a produtividade de um fator substituindo-o por outro. Trabalho, capital e matéria-prima são todos potenciais substitutos entre si. Uma medição efetiva de produtividade requer um índice que seja capaz de identificar cada uma das contribuições individuais para a produtividade e depois rastreá-las e combiná-las para, por fim, demonstrar a produtividade do processo de um modo global.

Ainda, segundo o mesmo autor, o ideal de um fator múltiplo de produtividade é muito importante, porém é demasiadamente difícil para um único índice englobar toda a produção e todos os fatores de produção necessários. Uma forma de contornar essa dificuldade consiste na utilização de diferentes fatores de medição da produtividade parcial que, em conjunto, podem fornecer uma perspectiva próxima à produtividade total. Mesmo que uma empresa utilize multifatores para a avaliação da produtividade, ainda faz sentido medir a produtividade parcial, pois tais fatores ajudam a identificar as origens das alterações nas tendências da produtividade total.

2.1.3 Produtividade dos recursos humanos

De acordo com Moreira (1991), a produtividade dos recursos humanos tem sido o índice de maior popularidade há várias décadas, de modo que é considerado praticamente um sinônimo da palavra produtividade.

Até a Segunda Guerra Mundial, o conceito de produtividade se limitava à razão entre o produto e a hora trabalhada (produtividade do trabalho) e, somente a partir da década de 50, a produtividade total dos fatores passou a ser efetivamente estudada. A diferença entre estes dois indicadores não é pequena. No caso da produtividade do trabalho, ela mede estritamente a relação entre o produto e o trabalho e a produtividade total, muito mais complexa, mede além do trabalho, todos os demais fatores (capital financeiro, capital tangível, matérias-primas, transporte e energia), evitando-se, neste caso, distorções na análise dos resultados, já que os ganhos em uma relação podem ser anulados por perdas em outras (THIRY-CHERQUES, 1991).

As observações de Moreira (1991) vêm enfatizar tal fato, quando ele afirma que nem sempre se pode interpretar a produtividade da mão-de-obra como uma medida direta de eficiência. O índice refletirá, além da eficiência da mão-de-obra, os efeitos de substituição dos recursos humanos por outros fatores, principalmente capital. Ou seja, se a quantidade de capital disponível por trabalhador aumentou, isso irá artificialmente aumentar a produtividade dos recursos humanos.

Portanto, vale ressaltar que o indicador de produtividade do trabalho não é representativo da produtividade de todo processo produtivo, mas, sim, da produtividade ou da eficiência do uso dos recursos humanos dentro do processo produtivo.

A indústria da construção civil se caracteriza por ser uma indústria intensiva em recursos humanos, e, segundo Maloney (1990), esta natureza apresentada pela construção civil, justifica que seja dispensado ao fator humano um tratamento em separado.

Aplicando a definição de índice de produtividade aos recursos humanos, é possível definir, para uma dada atividade, um índice de produção por homem-hora, tal qual apresentado na Equação (3).

$$\text{Produtividade do Trabalhador} = \frac{\text{produção}}{\text{trabalho}} = \frac{\text{unidades produzidas}}{\text{quantidade de Homem-hora}} \quad (3)$$

Segundo Kendrick (1968) *apud* Silva (1986), os índices que relacionam a produção às horas-homem utilizadas, revelam apenas a economia da mão-de-obra alcançada no período de tempo analisado e isto seria melhor representado pela inversão do índice para homens-hora por unidade de produto.

Portanto, outra forma de representar a produtividade do trabalhador é o estabelecimento de uma relação entre o tempo gasto na produção e a quantidade produzida. Essa medida é conhecida como taxa unitária de produção e mostra o tempo gasto para executar uma unidade da tarefa em estudo (THOMAS, 2000). Ela representa o inverso da produtividade, como pode-se observar na Equação (4).

$$\text{Taxa unitária} = \frac{\text{Tempo trabalhado}}{\text{Unidades produzidas}} \quad (4)$$

Segundo Amorim (1995), para o índice de produtividade de trabalho ter um significado relevante, este deve ser relacionado com o tempo despendido, as condições de trabalho e a qualificação dos trabalhadores, ou seja, deve estar contextualizado.

2.1.4 Fatores que afetam a produtividade do trabalho

Fontes *et al.* (1982) afirmam que o aumento da produtividade do trabalho resulta dos efeitos combinados de um grande número de fatores distintos, mas interdependentes, tais como equipamento empregado, melhoramentos técnicos, ambiente físico, circulação da matéria-prima, eficácia da direção, utilização eficaz das unidades de produção, utilização adequada de recursos humanos qualificados.

Existem muitos fatores que influenciam o nível de produtividade do trabalho na construção civil. Neste item, é apresentado o conjunto de fatores identificados na literatura como sendo intervenientes e determinantes do nível de produtividade do trabalho. Alguns autores apresentam, discutem ou ressaltam em seus estudos a influência de um fator isoladamente, outros os sistematizam em modelos que tentam representar o universo de fatores que interferem na produtividade do trabalho.

A seguir, faz-se uma síntese dos fatores que afetam a produtividade do trabalho na construção civil, abordando-se os seguintes fatores considerados isoladamente: projeto, gerenciamento, forma de pagamento, materiais, motivação e valorização do trabalho, fatores climatológicos, efeito de aprendizagem e interrupções.

2.1.4.1 Projeto

Experiências na construção civil têm mostrado que a grande variação da taxa de produtividade para alguns itens da construção pode ser atribuída aos efeitos das condições de projeto (HERBSMAN e ELLIS, 1990).

Silva e Souza (2003) afirmam que o projeto desempenha a função de elemento definidor de uma série de aspectos que delimitam os níveis de qualidade e produtividade da construção civil. Para os autores, as decisões de projeto determinam os seguintes fatores essenciais da produtividade: (1) tipos, número e relações de dependência entre as operações, (2) quantidade e habilidades requeridas da força de trabalho, (3) complexidade de execução, (4) continuidade entre operações e (5) repetição de operações.

Segundo Maloney (1983), o projeto dos diversos sistemas da edificação determina a sua complexidade, a qual, por sua vez, influencia na produtividade do trabalho. Padronizações no projeto permitem operações repetitivas que promovem um aumento em produtividade e as especificações de projeto também influenciam na produtividade do trabalho.

A melhoria da interrelação entre o projeto e a administração pode ser obtida por meio da construtibilidade. Pode-se definir construtibilidade como a habilidade ou facilidade de algo (edificação ou qualquer produto da construção civil) em ser construído (SABBATINI, 1989). Ela é resultado do envolvimento dos profissionais de

execução de obras na definição do projeto do produto, de modo a resultar em um projeto de fácil materialização.

Ao se incorporar o conceito de construtibilidade na fase de concepção de um empreendimento, busca-se a qualidade e a facilidade de construção, com a adoção de ações de racionalização, visando à otimização dos recursos durante as fases de execução, diminuindo as dificuldades encontradas mediante soluções alternativas e integração entre os envolvidos.

Silva (1986) afirma que o grau de complexidade de execução, ou seja, a construtibilidade influi na produtividade, em última análise, pela intensidade com que altera as operações afetando a continuidade do processo. De acordo com Thomas e Smith (1990) *apud* Carraro (1998), é consenso que a construtibilidade influencia expressivamente o esforço requerido para se completar uma tarefa.

A incorporação de compatibilização de projetos colabora com a melhoria da produtividade, uma vez que ela trata da antecipação dos problemas e da diminuição de paradas no processo para tomada de decisão, fatos que em obra geram interrupções no processo produtivo e alteram o ritmo de trabalho. CTE (1994) considera a coordenação de projetos uma função gerencial, desempenhada com o objetivo de garantir que as soluções adotadas nos projetos tenham sido suficientemente abrangentes, integradas e detalhadas e que, depois de terminado o projeto, a execução ocorra de forma contínua sem interrupções e improvisos.

2.1.4.2 Gerenciamento

Segundo Correia (2000), a gerência é uma variável de forte impacto no clima ambiental e no aumento da produtividade, advindo de um melhor aproveitamento da força de trabalho, pois, dependendo do relacionamento entre a gerência e seus subordinados, o desempenho destes poderá ser ou não de qualidade. O gerenciamento tem grande influência na produtividade do trabalho, uma vez que cabe a este disponibilizar aos operários as ferramentas, os equipamentos, os materiais e as informações necessárias para realizar o trabalho de uma maneira satisfatória (MALONEY, 1983). Isto leva a crer que a produtividade está fortemente ligada ao grau e ao nível das ações gerenciais.

Suíte (1987) *apud* Panzeter (1988) afirma que a produtividade também depende do gerenciamento. Para ele, este gerenciamento deve retroagir aos níveis mais baixos da escala hierárquica, influenciando na habilidade do trabalhador e na motivação, além de ser capaz de selecionar e aplicar a tecnologia.

Sanvido (1988) acredita que as ineficiências do gerenciamento são as principais causas de produtividade insatisfatória e não a desmotivação ou falta de conhecimento dos trabalhadores.

De acordo com Silva (1986), a atuação da gerência de canteiro para melhorar a produtividade é resultante de uma série de medidas, como:

- a) adoção de técnicas de planejamento que possibilitem o estabelecimento da lógica de execução com as relações de dependência entre as operações;
- b) definição de operações, atividades e serviços em função das características do projeto, das práticas da empresa e da mão-de-obra;
- c) previsão dos insumos necessários em cada etapa e estabelecimento das datas em que devem estar disponíveis;
- d) alocação de mão-de-obra ao longo do prazo de execução com a verificação dos picos de presença em obra e suas possíveis conseqüências em termos de interferências entre as equipes;
- e) correção de situações de interferência excessiva, mediante a agregação de operações que podem ser desenvolvidas seqüencialmente por uma mesma equipe;
- f) medição do desempenho em termos de custo, de tempo e de consumo de mão-de-obra, por meio de técnicas específicas empregadas por operadores treinados;
- g) processamento e análise dos dados de desempenho com revisão e atualização do planejamento;
- h) manutenção da coesão entre as equipes e no interior de uma equipe, principalmente, ao longo de atividades idênticas ou com alto grau de semelhança;
- i) treinamento de mestres e encarregados quanto à comunicação com suas equipes mediante o provimento de instruções detalhadas;
- j) conscientização das equipes quanto ao grau de dependência entre seu trabalho e o das demais e quanto à sua situação no planejamento;

- k) supervisão efetiva segundo aspectos de acompanhamento de desempenho, de motivação, de segurança e de comunicação;
- l) acompanhamento e integração de novos operários.

Oslon (1982) *apud* Marchiori (1998) salienta que as melhorias de produtividade mais significantes para serem feitas neste setor estão ligadas a um melhor gerenciamento da obra e das equipes de trabalho. Segundo ele, o gerenciamento da obra é que determina um melhor ou pior arranjo da equipe de trabalho.

Thomas *et al.* (1992) demonstraram em seu estudo, referente somente às alvenarias, que se pode adquirir um ganho em torno de 64 % na média de produção diária dos pedreiros, se for feito um melhor controle gerencial.

2.1.4.3 Forma de pagamento

Olomolaiye e Ogunlana (1988) ressaltam que, para Adam Smith, o aumento do esforço destinado à produtividade é predominantemente resultado do salário. Citam que o trabalhador, muitas vezes, chega a arruinar a própria saúde em decorrência do trabalho excessivo, por causa do desejo de maiores rendimentos. Salário, porém, não é o único fator que influencia no aumento ou diminuição da intensidade de trabalho.

Picchi (1993) afirma que por meio do pagamento por tarefa, ou de outros mecanismos de recompensa por produção, o operário é motivado a produzir mais e o faz aumentando sua jornada de trabalho, o que pode resultar em prejuízos às condições físicas e de segurança, ou buscando métodos para melhorar a produtividade. Para tal autor, a influência do operário sobre os fatores que afetam a produtividade é muito limitada, restringindo-se ao desenvolvimento de suas habilidades e intensificação de ritmo.

2.1.4.4 Materiais

Thomas *et al.* (1989) afirmam que o mau gerenciamento dos materiais pode causar sérias perdas para o contratante. Em um estudo de caso realizado sobre a execução de duas estruturas em aço, cada uma delas com cinco pavimentos, os autores constataram que houve uma perda financeira de aproximadamente 18% do orçamento previsto, somente considerando os custos relativos à mão-de-obra

desperdiçada, devido a condições adversas causadas pela ausência de um efetivo programa de controle de materiais.

De acordo com Santos (1995), o sistema de movimentação e armazenamento de materiais assume papel importante para a melhoria dos níveis de produtividade na construção civil na medida em que a produtividade global da obra é dependente diretamente de sua eficiência e eficácia. Deste sistema depende o funcionamento harmonioso dos diversos postos de trabalho, uma vez que é por meio dele que se mantêm os postos de trabalho abastecidos, com a quantidade e qualidade correta de materiais, no tempo e custo adequados.

Segundo Soilbelman (1993), o mau gerenciamento de materiais causa elevado índice de desperdício e também reduz a produtividade dos recursos humanos, pois além da qualidade dos materiais, a disponibilidade deles é importante para o bom andamento das atividades.

De acordo com Thomas *et al.* (1989), a ineficiência na gerência de materiais leva à ineficiência na utilização de recursos humanos especializados. Segundo esses autores, muitos problemas relacionados à gerência de materiais são causados por métodos ineficientes de manejo e distribuição.

Picchi (1993) afirma que a função suprimentos é, muitas vezes, apontada como responsável por paradas e atrasos na construção de edifícios. A falta de um material, ainda que auxiliar, pode impedir a realização de uma atividade, causando parada da equipe (perdas na produtividade) e atraso dos serviços. No entanto, tal autor chama a atenção para a qualidade dos materiais, uma vez que materiais com qualidade insatisfatória são freqüentemente apontados como causadores de desperdícios e queda da produtividade, por causa das quebras ou necessidades de ajustes.

2.1.4.5 Treinamento

Há mais de 20 anos, a FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (1984) realizou um amplo estudo sobre o perfil dos trabalhadores com relação à formação profissional. Foram entrevistados 903 trabalhadores da construção pesada e de edifícios, sendo que:

- 92,3 % não fizeram nenhum curso de formação profissional;
- 5,2% participaram de cursos diversos (sindicatos, etc.);

- 1,7% fizeram curso na empresa que trabalhavam;
- 0,7% participaram de cursos oferecidos pelo SENAI.

Esses dados mostraram a baixa qualificação formal da mão-de-obra integrante da construção civil na época. Em estudos mais recentes, Cordeiro e Machado (2002); Nóbrega (2006), indicam que esta situação não sofreu mudanças significativas ao longo do tempo, uma vez que tais pesquisas indicaram que somente 3,92% e 2,5%, respectivamente, dos entrevistados tiveram sua formação profissional por meio de algum tipo de curso profissionalizante. Pode-se dizer que a formação dos profissionais da construção civil ao longo do tempo tem se dado na própria obra, por meio de um processo informal de transmissão de conhecimento técnico.

De acordo com Mutti (1995), a mão-de-obra desqualificada influencia na qualidade dos resultados, uma vez que a falta de qualificação gera retrabalho para consertar defeitos de construção que, muitas vezes, não chegam a ser diretamente observados no produto final, mas que causam grande desperdício de material de construção e pouca eficiência no emprego dos recursos humanos. Segundo tal autora, as empresas devem investir no treinamento da mão-de-obra como o principal caminho para atingir maior produtividade.

Maia (1994) enfatiza que a educação e o treinamento são as bases para proporcionar o crescimento do ser humano. A primeira é utilizada para sensibilizar os trabalhadores a respeito dos desperdícios, da necessidade de melhorar a qualidade e aumentar a produtividade e mostrar os benefícios para eles e para a empresa. O segundo, para fornecer as técnicas e ferramentas para que se reduzam os desperdícios, melhore a qualidade, aumente a produtividade e se obtenham os benefícios desejados.

Segundo Santos (1995), o recrutamento, a seleção, a integração e o treinamento devem fazer parte da rotina da empresa de construção, pois a manutenção de níveis elevados de produtividade do trabalho com a minimização de desperdícios, sem a necessidade de controles rígidos, depende de uma atuação planejada dos recursos humanos.

2.1.4.6 Motivação e valorização do trabalho

Levando em consideração o caráter mão-de-obra intensivo da construção civil, Maloney (1986) assevera que a motivação deve ser um importante fator na determinação do desempenho, da assiduidade e da manutenção do quadro funcional.

Herbsman e Ellis (1990, p. 52) ressaltam a importância da motivação, quando assinalam que “um dos mais importantes fatores para o aumento da produção é a motivação dos trabalhadores”.

Maloney (1983, 1990) e Maloney e McFillen (1985) desenvolveram o Modelo da Expectativa, relacionado às teorias motivacionais, aplicado às atividades de construção. A teoria da expectativa afirma que o desempenho da mão-de-obra depende do esforço que o trabalhador está disposto a exercer. Por conseguinte, o esforço despendido está relacionado à existência de incentivos apropriados e pode ser aumentado ou diminuído em função das condições do trabalho, das ações gerenciais, da relevância das atividades e das recompensas entre outros elementos.

Mesenguer (1991) destaca o equilíbrio de troca do trabalho por benefícios advindos do trabalho, pois, segundo ele, o indivíduo retribui à organização na medida que percebe que recebe dela. Se o indivíduo considerar que esta relação lhe é desfavorável, ou seja, que ele dá mais do que recebe, procederá de uma das seguintes maneiras: abandonará a organização ou permanecerá nela, porém diminuirá o seu rendimento até ajustá-lo ao que ele pensa ser justo.

Segundo Scardoelli *et al.* (1994), existe uma estreita relação entre a produtividade e a qualidade, assim como entre a qualidade dos processos e a motivação e habilidade dos operários. Por essa razão, as ações voltadas para a melhoria das condições de trabalho, valorização do trabalhador e engajamento dele nas metas da organização é de fundamental importância para a melhoria do desempenho.

2.1.4.7 Temperatura, umidade e eventos climáticos

Partes das atividades de construção são executadas em ambientes abertos, por isso a produtividade pode ser fortemente afetada por clima adverso, como calor e frio intensos, chuvas e ventos. Ao estar exposto a tais condições, o indivíduo perde seu conforto, sua segurança fica prejudicada e expõe sua saúde a riscos. Pode-se

afirmar, portanto, que sob tais condições a produtividade do indivíduo pode ser afetada.

De acordo com Moselhi *et al.* (1997), a redução da produtividade da mão-de-obra sob condições climáticas é geralmente atribuída à redução do desempenho humano por causa da influência do calor ou frio, resultante da combinação de temperatura, umidade e velocidade do vento.

Os seres humanos operam de forma eficaz em uma zona de conforto, na qual a temperatura varia entre 10 a 21 graus centígrados, com umidade relativa de 30 a 80 por cento. Na zona de conforto, as temperaturas do corpo e da pele permanecem perto do normal, pois o calor é dissipado pelo efeito evaporativo da respiração e através da pele sem muito suor. Em altas temperaturas, potencializadas pela maior umidade relativa, a produtividade diminui (OGLESBY *et al.*, 1989).

Segundo Srinavin e Mohamed (2003), a produtividade dos trabalhadores de construção geralmente é influenciada por variações de temperatura e o nível pelo qual a produtividade é afetada é uma função do tipo de tarefa, dada à diferenciação das demandas físicas associadas ao desempenho da atividade.

Srinavin e Mohamed (2003) propuseram um modelo para calcular a mudança na produtividade de trabalhadores por causa das variações em ambiente térmico, o qual considera: 1) os quatro parâmetros térmicos básicos: temperatura, umidade relativa, radiação e velocidade de vento; 2) a natureza de tarefa de construção; 3) a roupa do trabalhador.

2.1.4.8 Efeito aprendizagem

Segundo Souza (1996), a Organização das Nações Unidas (ONU), sentindo a necessidade de aumento da capacidade construtiva dos países europeus, subsidiou uma pesquisa que analisou o efeito da repetição sobre a produtividade. Baseado em vários estudos de caso, a pesquisa mostrou que esse efeito varia em função (ONU (1965) *apud* SOUZA, 1996):

- da complexidade da operação (quando muito simples, o aprendizado é extremamente rápido);
- de a operação ser ou não do tipo tradicional (é mais significativo em relação às não-tradicionais);

- da altura do edifício (o aumento da dificuldade de transporte pode compensar um eventual aprendizado);
- das características do projeto (é favorecido pela repetição);
- do porte do empreendimento (há mais tempo para a ocorrência do aprendizado em obras mais longas);
- da existência ou inexistência de um adequado planejamento do trabalho e da organização do canteiro de obras (a existência favorece a continuidade do trabalho);
- da efetividade do gerenciamento e da supervisão diária (diminuem a ocorrência de interrupções no processo);
- de mudanças de operários-chave na execução do processo (implica em reaprendizagem);
- da duração da ocorrência de eventuais paralisações (quanto maior, mais intensa será a perda de habilidade);
- da época da ocorrência de eventuais paralisações (quanto maior o aprendizado já ocorrido, tanto maior será a perda de habilidade possível); e
- do espaço disponível para o trabalho (se muito restrito, pode inviabilizar a ocorrência da aprendizagem).

Heineck (1991) afirma que o aumento da produtividade é obtido a partir de esforços simultâneos em termos de efeito aprendizagem, continuidade e concentração. Esses efeitos partem do princípio que, se o trabalho for apenas apresentado em grandes quantidades, de forma repetitiva, e não havendo interrupção na sua execução, naturalmente se obtém maiores produtividades pelo treinamento do trabalhador, pelo desenvolvimento de máquinas e ferramentas de apoio e pela possibilidade de ganhos elevados.

Santos (1995) ressalta que, entre as razões para que o tempo e o esforço em uma atividade diminuam com a repetição, estão a concentração, a familiarização, a melhor coordenação do grupo, a melhoria da organização do trabalho, o melhor suporte de engenharia, a melhor gerência do dia-a-dia, a melhor supervisão, a criação de técnicas e métodos mais eficientes e a possibilidade de desenvolvimento de um sistema de suprimentos mais eficiente.

Na prática, segundo Marchiori (1998), para que o efeito aprendido se destaque entre os demais fatores que afetam a produtividade, é preciso que a obra seja organizada, que as equipes sejam constantes e se locomovam ordenadamente e sigam um ritmo pré-estabelecido.

2.1.4.9 Interrupções

A interferência na produtividade por causa da presença de interrupções advém basicamente de sua relação com o efeito aprendizagem. Para Heineck (1991), cada interrupção do trabalho provoca um desaprendizado, o que faz com que a produtividade retorne a um patamar inferior.

Norfleet (2004) afirma que, quando ocorre uma interrupção no trabalho, ela interfere no andamento do trabalho. Se a interrupção for muito longa, os trabalhadores podem ser realocados a outras atividades ou serem dispensados; se for uma interrupção mais curta, ela pode provocar a desorganização do fluxo de trabalho, o qual passa a não mais atender à programação. Em ambos os casos, a produtividade não é a mesma após a interrupção. Quando o trabalho é retomado, existe uma reaprendizagem que deve ser desenvolvida e, durante esse tempo, o trabalhador é menos eficiente.

2.1.4.10 Conjunto de fatores

Nas décadas de 60 e 70, diversos autores organizaram conjuntos de fatores que acreditavam afetar os níveis de produtividade, conforme se observa no Quadro 1.

2.1.5 Modelagem dos fatores que afetam a produtividade

A partir da constatação de que inúmeros são os fatores que afetam a produtividade, diversos autores têm desenvolvido pesquisas com o intuito de modelar tais fatores, seja para melhor compreender os aspectos condicionantes do desempenho do trabalhador, seja para prever índices de produtividade passíveis de serem obtidos sob determinado ambiente. A seguir, apresentam-se alguns desses estudos.

Autor	Conjunto de Fatores
Lorenzoni (1978)	Clima Características sociopolíticas nacionais Disponibilidade local de força de trabalho especializada Grau de supervisão Equipamentos utilizados
Pigott (1974)	Mudanças de projeto Interrupções de trabalho Tamanho das equipes de trabalho
McNally e Havers (1967)	Fatores ambientais (clima e localização geográfica) Disponibilidade de mão-de-obra Operação em particular (duração, tamanho e tipo) Gerenciamento (planejamento, programação, disponibilidade de materiais e equipamentos)
Duff (1977)	Tamanho das equipes Constituição das equipes Nível de repetição Quantidade intensiva de horas extras Qualidade de supervisão Incentivos Relação gerenciador-empregador Condições de trabalho

Quadro 1 - Fatores que afetam a produtividade (décadas de 60 e 70)

Fonte: Panzeter (1988)

2.1.5.1 Modelo Hierárquico (Kellogg *et al.*)

Kellogg *et al.* (1981) propuseram um modelo para auxiliar a identificar os fatores intervenientes na produtividade da construção civil. Eles os organizaram segundo os níveis decisórios, por meio dos quais os autores denominaram de Modelo Hierárquico.

Os referidos autores propuseram os seguintes níveis de atuação:

- Macro/Macro: nível mais abrangente, o qual se refere ao sistema econômico e configura as políticas econômicas globais e setoriais.
- Macro: representa a interpretação das políticas definidas no nível anterior, a qual dá origem aos fatores que condicionam o sistema arquitetônico.
- Macro/Micro: refere-se ao nível de decisão relativo às especificações do empreendimento e ao planejamento.
- Micro: fase de operacionalização do projeto; tem como objetivo garantir os recursos certos no momento adequado.
- Micro/Micro: refere-se ao nível de execução da obra, formado pelos elementos do processo de construção em si.

O modelo é apresentado no Quadro 2, o qual mostra os fatores que afetam a produtividade segundo os níveis decisórios.

Segundo Thomas *et al.* (1990), este modelo foi o primeiro modelo significativo que versa sobre produtividade na construção.

De acordo com Carraro (1998), o Modelo Hierárquico consistiu em um passo essencial rumo à sistematização da discussão acerca da produtividade na indústria da construção. A partir dele, é possível contextualizar melhor o tipo de informação que se queira extrair de uma análise de produtividade.

Macro/Macro	Macro	Macro/Micro	Micro	Micro/Micro
Sistema econômico <ul style="list-style-type: none"> • nível de atividade da construção • utilização da capacidade instalada • diferenças regionais 	Processo de projeto <ul style="list-style-type: none"> • condicionantes do processo • ambiente físico • tecnologia • normalização • custo 	Processo de projeto <ul style="list-style-type: none"> Continuidade Complexidade Repetição Gerenciamento Empresarial <ul style="list-style-type: none"> • tamanho e especialização da empresa • motivação • incentivos financeiros • segurança no trabalho • rotatividade • formação profissional • prática de horas extras • absenteísmo • relações contratuais • mão-de-obra subcontratada 	Gerenciamento operacional <ul style="list-style-type: none"> • planejamento e controle de obras (duração das atividades e da obra, mobilização e dimensionamento das equipes, seqüenciamento das operações, organização do canteiro, supervisão, monitoramento) 	Processo de construção <ul style="list-style-type: none"> • métodos de trabalho

Quadro 2 - Modelo Hierárquico

Fonte: Kellogg *et al.* (1981)

2.1.5.2 Arditi

Arditi (1985) realizou uma pesquisa exploratória, na qual buscou conhecer a visão de empresários da construção civil a respeito do potencial de influência na melhoria da produtividade e que fatores ligados à sede da empresa e ao canteiro de obras possuíam. Para realizar a pesquisa, que foi uma reaplicação da pesquisa realizada por Choromokos e McKee (1979) *apud* Arditi (1985), ele utilizou o modelo de produtividade apresentado por aqueles autores, mostrado na Figura 1.

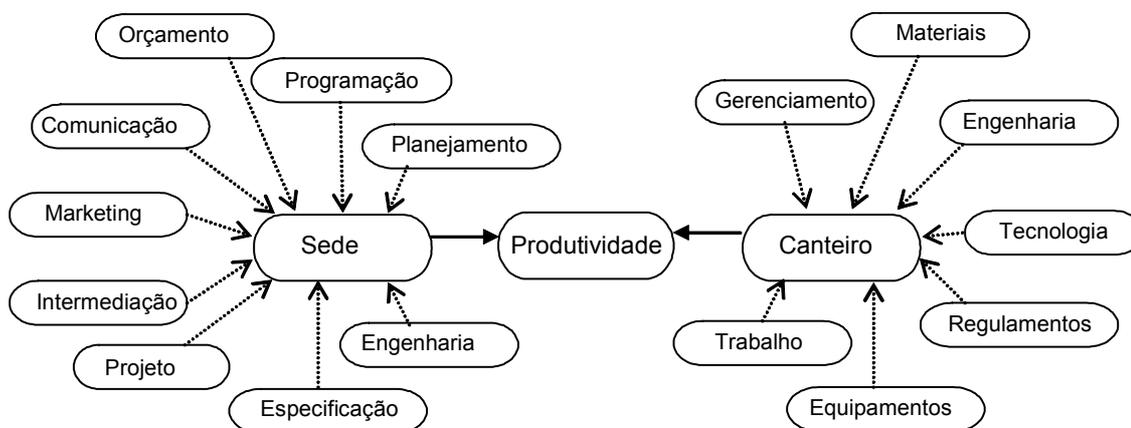


Figura 1 - Fatores que influenciam a produtividade na construção civil

Fonte: Choromokos e McKee (1979) *apud* Arditi (1985)

O modelo exemplifica, para o caso da construção civil, fatores parciais de produtividade que poderiam influenciar a produtividade total do processo.

Na visão dos empresários arrolados na pesquisa, os fatores com alto potencial de melhoria de produtividade no âmbito da obra, que atingiram percentual acima de 40%, foram:

- gerenciamento: relações de trabalho e supervisão;
- engenharia: melhoria de projetos;
- trabalho: acordo contratual, treinamento e controle de qualidade.

Segundo o mesmo critério, os fatores no âmbito da sede da empresa foram:

- planejamento;
- programação;
- comunicação.

2.1.5.3 Modelo dos Fatores (Thomas e Yiakoumis)

Thomas e Yiakoumis (1987) propuseram um modelo de medição e análise da produtividade da mão-de-obra concebida para a indústria da construção civil, denominaram-no “Modelo dos Fatores”, pelo fato de o mesmo ser baseado no estudo dos fatores que afetam a produtividade da mão-de-obra.

Para tais autores, a teoria, na qual se baseia o modelo, aceita que o trabalho executado por uma equipe é influenciado por vários fatores que podem causar perturbações aleatórias ou sistemáticas no seu desempenho. O efeito acumulativo da influência desses fatores gera uma curva de real produtividade, cuja forma pode ser muito irregular, e ser de difícil interpretação.

No entanto, se essas irregularidades puderem ser matematicamente extraídas da curva real de produtividade (curva atual de produtividade), é possível obter uma curva que representará a produtividade de referência (curva ideal de produtividade). A curva resultante possuirá uma forma suave e representará o desempenho básico somado a uma componente resultante das eventuais melhorias oriundas das operações repetitivas.

A forma e a magnitude de uma curva de referência de produtividade é função do número de fatores que refletem o ambiente no local de trabalho, dos métodos de construção e das características do projeto (construtibilidade). A Figura 2 ilustra o Modelo dos Fatores.

Interpretando-se a Figura 2, tem-se:

- curva atual (real) de produtividade: representa um resultado hipotético de uma medição efetuada em campo;
- curvas intermediárias: representam curvas de produtividade de um determinado serviço, obtidas a partir da sucessiva subtração, com relação à produtividade atual, dos efeitos induzidos pelas condições do ambiente, fatores de canteiro, fatores de administração e fatores de projeto, distintas da situação de referência;
- curva ideal de produtividade (de referência): mostra a produtividade que pode ser obtida caso não houvesse influência de fatores que diferem da condição de referência.

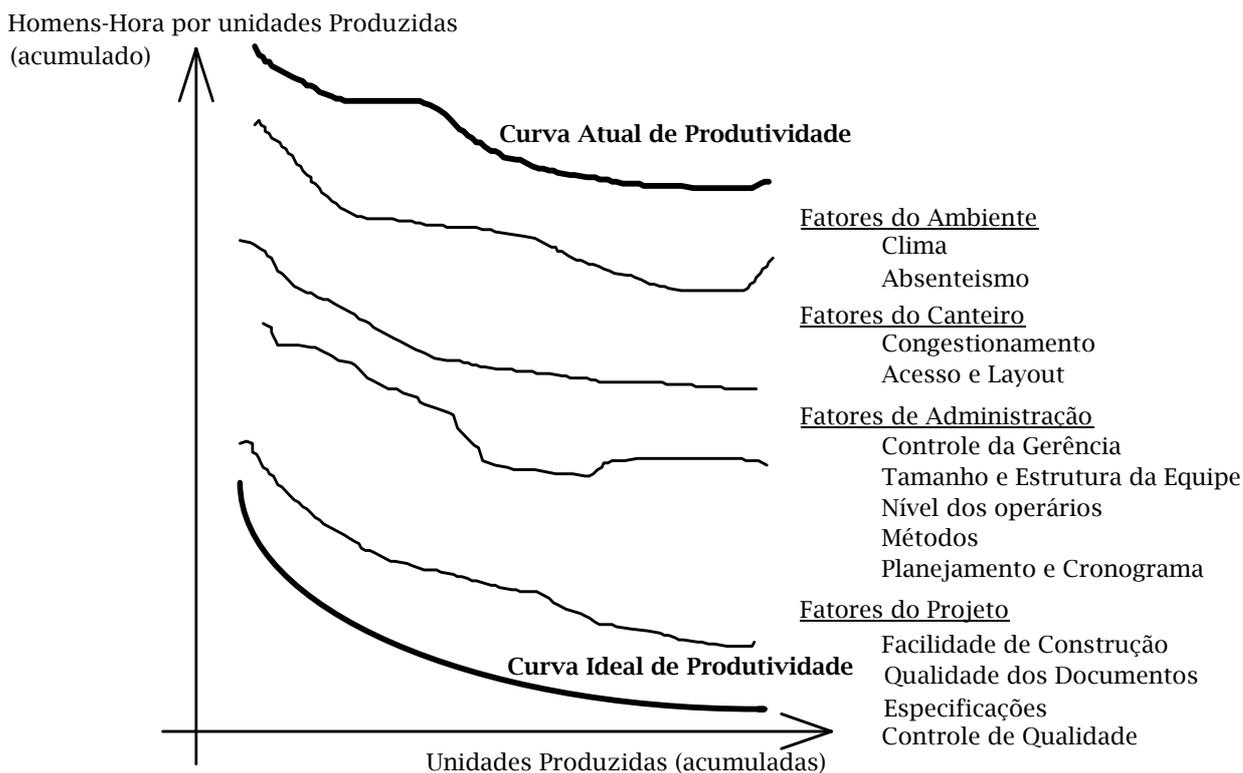


Figura 2 - Modelo dos fatores para produtividade na construção

Fonte: Thomas e Yiakoumis (1987)

Portanto, o Modelo dos Fatores assume a existência de uma condição ideal de trabalho sob a qual a produtividade diária será a de referência, podendo-se ou não considerar a incidência do efeito aprendido. As alterações no conteúdo ou no contexto do trabalho fazem com que a produtividade real varie em relação à produtividade de referência.

Podem existir fatores influenciadores que incidam positivamente ou negativamente sobre a produtividade, possibilitando a existência de curvas de produtividade reais situadas abaixo da curva de referência.

Thomas e Yiakoumis (1987) optaram por utilizar medidas diárias de produtividade porque um número razoável de dados podem ser coletados e, também porque muitos fatores, tais como o tamanho da equipe, absentismo, clima e outros têm variação mínima diária.

Segundo os autores, a produtividade diária pode apresentar altos graus de variabilidade. O objetivo da análise estatística desenvolvida no Modelo dos Fatores é

explicar quanto da variabilidade é possível ser explicada como função de fatores que podem afetar a produtividade. Se algo dessa variabilidade pode ser explicada e subseqüentemente removida, então é possível estudar outros fatores, examinar tendências de curto e longo prazos e desenvolver previsões.

O Modelo dos Fatores foi proposto como um método de predição da produtividade do trabalho. O Modelo reconhece que a produtividade da obra varia ao longo do tempo em únicos, mas previsíveis, caminhos porque recebe diferentes quantidades de recursos de mão-de-obra para completar atividades diferentes.

2.1.5.4 Lemon *et al.*

Lemon *et al.* (1989) *apud* Picchi (1993) categorizam quatro grupos de fatores que afetam a produtividade na construção:

- 1) Fatores de trabalho e ambiente: supervisão, habilidade dos trabalhadores, disponibilidade de mão-de-obra, motivação dos trabalhadores, satisfação no trabalho, atitudes empregado-gerência, segurança no canteiro e disposições sindicais.
- 2) Fatores gerenciais: comunicação construtora-empregados, comunicação construtora-engenheiro, planejamento da construtora e capacidades gerenciais.
- 3) Fatores de projeto: desenhos e especificações, tempo requerido para decisões, planejamento do proprietário, grau de dificuldade do projeto e nível tecnológico.
- 4) Fatores relacionados aos recursos: disponibilidade de materiais, adequação de equipamentos e disponibilidade de equipamentos.

Pode-se observar que a maioria dos fatores que afetam a produtividade, na visão destes autores, é de responsabilidade da administração.

2.1.5.5 Herbzman e Ellis

Herbzman e Ellis (1990) também identificaram vários fatores que afetam a produtividade na indústria da construção. Os autores os classificam em dois grupos: fatores tecnológicos, os quais são relacionados ao projeto, e fatores organizacionais, relativos ao gerenciamento e à execução do projeto (Figura 3).

Em cada um dos grupos, podem-se identificar muitos subgrupos. No grupo de fatores tecnológicos, é possível considerar os seguintes subgrupos:

- Dados de projeto: fatores mensuráveis, tais como tamanho, altura, número de elementos e outros fatores similares;
- Propriedades dos materiais: especificação de materiais, procedimentos de controle de qualidade e testes exigidos;
- Fatores de localização: área geográfica, localização do projeto, fatores topográficos e outros relacionados ao ambiente do projeto.

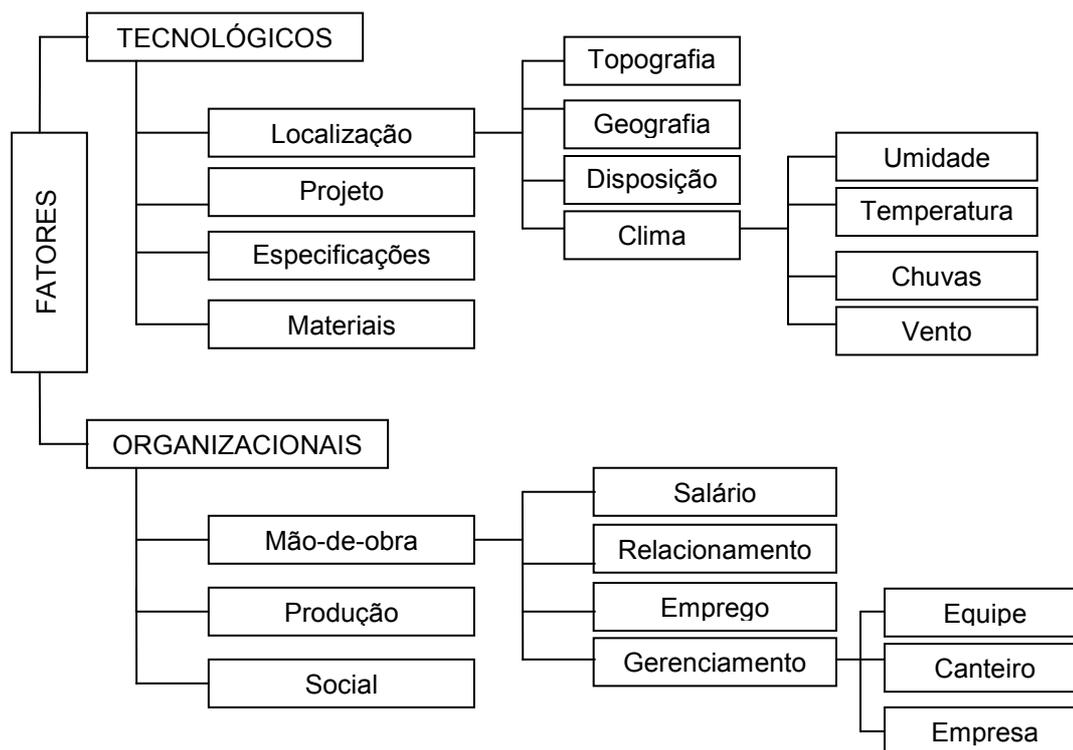


Figura 3 - Fatores que influenciam a produtividade

Fonte: Herzbman e Ellis (1990)

No grupo de fatores organizacionais, podem ser identificados os seguintes subgrupos:

- Métodos e procedimentos de construção: fatores relacionados a técnicas de construção;
- Equipamentos: métodos de transporte e método de fornecimento de materiais;
- Fatores de trabalho: sistemas de pagamento, métodos de treinamento e desemprego;

- Fatores sociais: relação administração-empregado e relação supervisor-equipe.

2.1.5.6 Thomas e Smith

Thomas e Smith (1990) *apud* Souza (1996) classificam os fatores que influenciam a produtividade em dois grandes grupos: o dos relacionados ao conteúdo do trabalho e o dos relacionados ao contexto do trabalho, conforme apresentado na Figura 4.

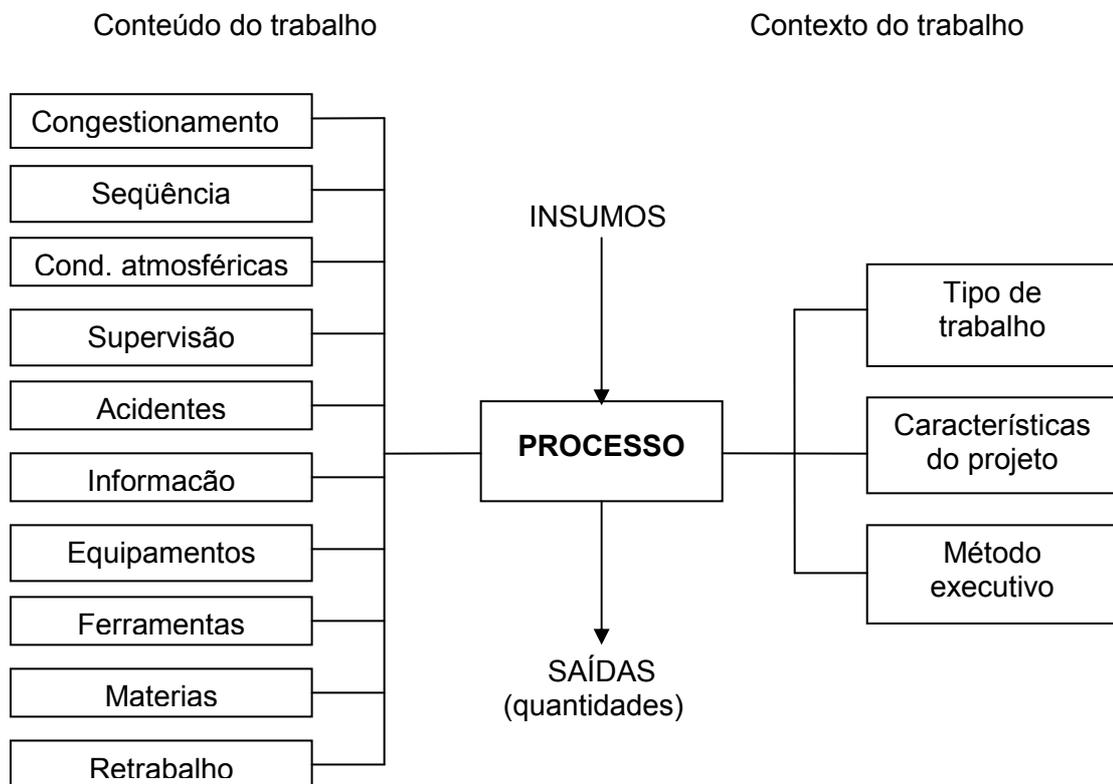


Figura 4 - Fatores de contexto e conteúdo que influenciam a produtividade

Fonte: Thomas e Smith (1990) *apud* Souza (1996)

2.1.5.7 Modelo Ação-resposta (Halligan *et al.*)

Halligan *et al.* (1994) desenvolveram um modelo para analisar a complexa relação de causa e efeito que pode levar a uma perda de produtividade. O nome atribuído ao modelo se deve ao fato de a produtividade, ou a falta dela, ser uma resposta da equipe a eventos externos ou a ação de outros. O modelo ação-resposta é apresentado na Figura 5.

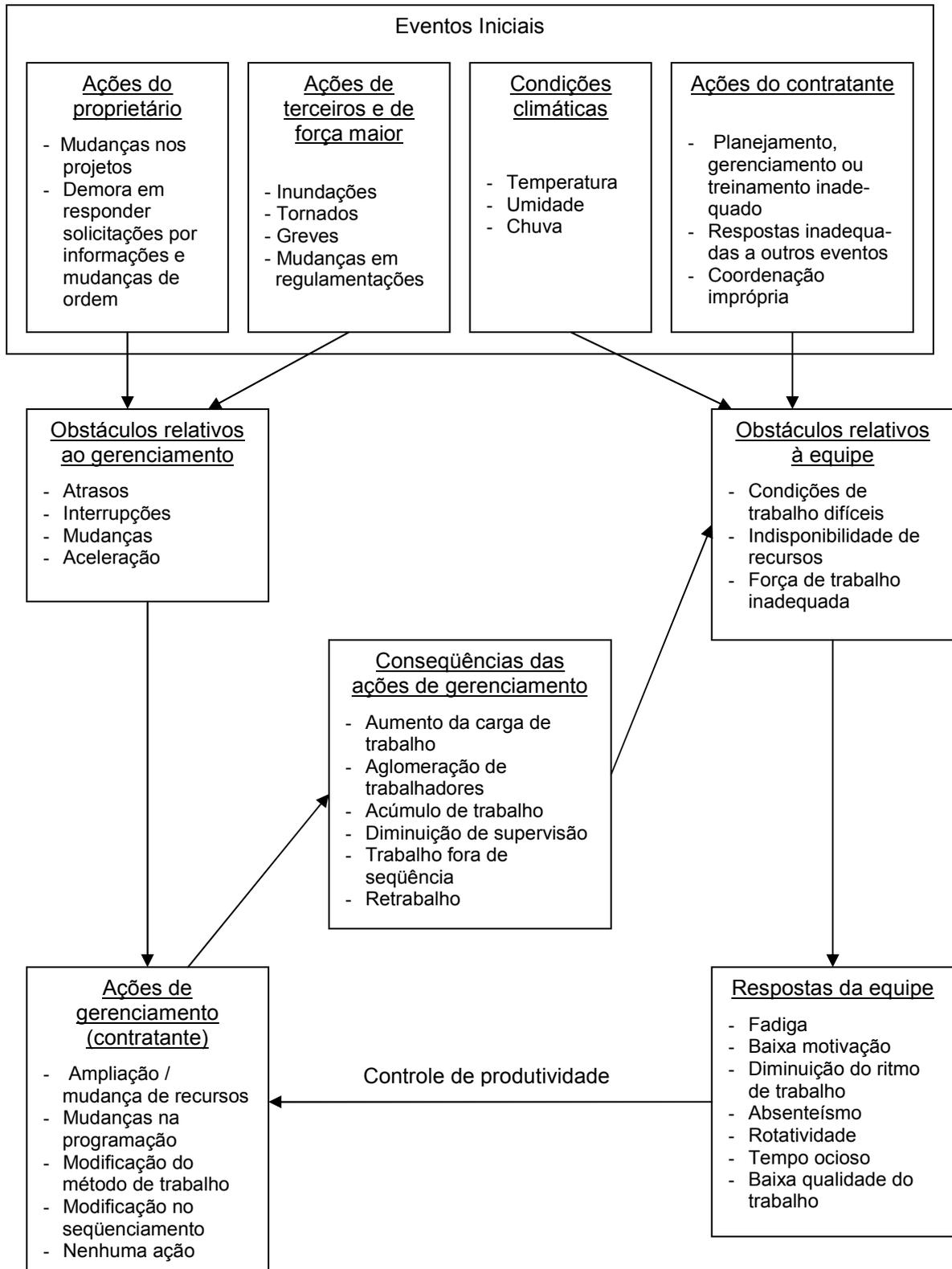


Figura 5 - Modelo Ação-resposta para a perda de produtividade

Fonte: Halligan *et al.* (1994).

A perda de produtividade pode ser entendida como uma redução na produtividade causada pela presença de condições inesperadas. Tais condições podem incluir clima adverso, horas-extras programadas, interrupções, serviços fora de seqüência, congestionamento e problemas com a entrega de materiais. Ela é a diferença entre a produtividade que deveria ser obtida se não houvesse a ocorrência de condições imprevistas (HALLIGAN *et al.*, 1994).

De acordo com os autores, o modelo se propõe a:

- descrever como uma variedade de fatores interage para causar a perda de produtividade;
- mostrar como uma equipe e, conseqüentemente, sua produtividade é influenciada por esses fatores;
- retratar como o gerenciamento das equipes pode diminuir, eliminar, iniciar ou agravar qualquer perda de produtividade em particular;
- representar porque os fatores freqüentemente citados como causadores de perda de produtividade nem sempre o são;
- proporcionar uma explicação do motivo pelo qual pode ser esperada uma ampla variação nas perdas, quando estas ocorrem.

O modelo ação-resposta possui seis componentes: (1) eventos iniciais – ações que iniciam uma seqüência de eventos que podem, em última instância, gerar uma redução de produtividade; (2) obstáculos relativos ao gerenciamento; (3) obstáculos relativos à equipe; (4) conseqüências das ações do gerenciamento; (5) ações do gerenciamento (contratante); (6) resposta da equipe.

Os componentes 2, 3 e 4 incorporam no modelo os fatores freqüentemente citados como agentes da perda de produtividade. As setas entre os componentes indicam que um relacionamento pode existir, ou seja, indicam uma possibilidade.

2.1.5.8 Análise dos modelos

O foco dos estudos da produtividade, antes da década de 80, estava na análise individual dos fatores, os quais se acreditava que poderiam interferir na produtividade. Percebe-se que, com o passar do tempo, houve uma alteração de foco, passando-se, então, a estudá-los de forma sistêmica.

O Quadro 3 apresenta a síntese dos fatores que são considerados em cada um dos modelos abordados.

Cronologicamente, partiu-se do Modelo Hierárquico, o qual analisava os fatores com foco amplo, avançando para o entendimento de fatores no âmbito da empresa e da obra, simultaneamente, ou com o foco somente no ambiente da obra, com o intuito de entender a relação entre esses e a produtividade obtida pela equipe de trabalho.

Modelo	Foco	Fatores
Modelo Hierárquico	Amplo - do sistema econômico ao processo de execução da obra	Sistema econômico Características do projeto Continuidade Repetição Gerenciamento empresarial (RH) Gerenciamento operacional Processo de construção
Arditi	Empresa e obra	Características do projeto Gerenciamento empresarial (RH) Gerenciamento operacional
Modelo dos Fatores	Obra	Fatores climáticos Condições do canteiro Gerenciamento empresarial (RH) Gerenciamento operacional Características do projeto
Lemon <i>et al.</i>	Empresa e obra	Gerenciamento empresarial (RH) Gerenciamento operacional Características do projeto
Thomas e Smith	Obra	Conteúdo - projeto/especificações Contexto - clima/gerenciamento
Herbzman e Ellis	Empresa e obra	Tecnológicos - Características do projeto Organizacionais - gerenciamento e processo de construção
Modelo Ação-resposta	Obra	Focaliza ações que geram perda de produtividade: Fatores climáticos Gerenciamento empresarial (RH) Gerenciamento operacional

Quadro 3 - Síntese de fatores considerados pelos modelos de produtividade

Dentre os modelos que enfocam os fatores relativos à empresa e/ou à obra, os fatores decorrentes das seguintes áreas se repetem: gerenciamento empresarial (RH), gerenciamento operacional, características do projeto e fatores climáticos. Os estudos de Thomas e Smith (1990) e Herbzman e Ellis (1990) os classificam sob denominações diferenciadas. No primeiro caso, os autores os organizam em categorias conteúdo e contexto, e, no segundo, em tecnológicos e organizacionais.

O objetivo dos modelos apresentados, em geral, é o de favorecer o entendimento dos fatores que possuem influência sobre o nível de produtividade do trabalho obtido.

No caso do Modelo dos Fatores, Thomas e Smith (1990) também propõem calcular, matematicamente, a influência de cada um dos fatores na produtividade obtida. Já, a meta do Modelo Ação-resposta é o de gerar condições para a análise dos relacionamentos que possam existir entre as ações do gerenciamento, das equipes e dos fatores externos e a perda de produtividade que esses provocam.

São inúmeros os fatores potenciais que podem interferir na produtividade. O conhecimento consolidado, a partir dos sucessivos modelos elaborados, fornecem subsídios para a melhoria do desempenho da produtividade do trabalho nas empresas de construção.

2.1.6 Produtividade do serviço de alvenaria

Dois autores, Carraro (1998) e Araújo (2000), pesquisaram sobre a produtividade do trabalho no serviço de alvenaria, tendo como referencial básico o modelo dos fatores. A seguir, descrevem-se os resultados obtidos por eles.

Carraro (1998) realizou uma pesquisa específica sobre a produtividade da mão-de-obra no serviço de alvenaria. Na conclusão de seu estudo, comparou os fatores por ele analisados com os anunciados pela literatura como sendo fatores que afetam a produtividade do trabalho, e obteve o seguinte resultado:

- Fatores citados e constatados como interferentes no estudo: efeito aprendido; logística de canteiro; organização da produção; relacionamento entre as pessoas; falta de materiais; exigências de qualidade do serviço; características de projeto; tamanho da equipe; rotatividade e planejamento do transporte vertical.
- Fatores citados e que no estudo não afetaram a produtividade: tamanho dos componentes e pavimentos repetitivos.

Outros fatores que afetaram a produtividade das equipes observados pelo autor foram: chuva, retrabalho, desmobilização da equipe por finalização do serviço e montagem de andaime.

Carraro (1998) afirma que, ao desenvolver tal pesquisa, pôde constatar que, a partir de seu estudo, não é possível generalizar as conclusões a respeito dos fatores que afetam a produtividade. Para o autor, cada obra apresenta particularidades e o seu desempenho depende de vários fatores que, quando combinados, criam as condições para uma boa ou má produtividade.

Araújo (2000), ao desenvolver um método padronizado com base no Modelo dos Fatores, para previsão e controle da produtividade da mão-de-obra envolvida na execução de alguns serviços da construção civil, estudou a produtividade da mão-de-obra na produção de alvenaria, restrita à atividade de elevação. Em sua pesquisa considerou os fatores potenciais influenciadores da produtividade, os quais podem estar relacionados ao conteúdo ou ao contexto da atividade elevação da alvenaria. Os fatores previamente selecionados para uma análise mais profunda foram: mediana do comprimento das paredes; peso médio dos componentes; densidade de alvenaria interna; área de alvenaria por número de paredes; tamanho da equipe; número de dias para a execução de um pavimento; relação pedreiro/servente; mediana da altura das paredes e preenchimento das juntas verticais.

Pelas análises realizadas, o autor constatou que foram cinco os fatores que mais significativamente influenciaram a Razão Unitária de Produção (RUP) potencial para alvenaria de vedação das obras estudadas: o peso médio dos blocos; a densidade de alvenaria interna; a mediana da altura das paredes; o número de dias para conclusão do pavimento; e o preenchimento ou não das juntas verticais. A partir do conhecimento adquirido, o autor elaborou uma ferramenta que associa a variação de desempenho da RUP potencial de elevação à presença ou não desses fatores. Tal ferramenta é apresentada no formato de tabela (Tabela 1).

2.1.7 Considerações

Muitos são os enfoques pelos quais a produtividade pode ser analisada. Neste trabalho, aborda-se a análise da produtividade parcial de fatores, adotando-se como fator de interesse os recursos humanos alocados no canteiro de obras. Para o trabalho se entende que esta medida de produtividade é a medida de eficiência no uso desses recursos.

Tabela 1 - Variação da RUP potencial de elevação x fatores influenciadores

RUP potencial de elevação (Hh/m ²)	Peso médio dos blocos	Preenchimento das juntas verticais	Densidade de alvenaria interna	Mediana da altura das paredes	Dias para a conclusão da alvenaria de um pavimento
	≤ 6 Kg	≤ 10% das paredes	≥ 0,7m ² e ≤ 1,1 m ²	≥ 2,5 m e ≤ 2,9 m	≤ 18 dias
≤ 0,75	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
0,75 a 0,90	Atende	Atende 1 a 3 fatores			
	Não atende	Atende 2 a 3 fatores			
≥ 0,90	Não atende	Atende no máximo 1 fator			

Fonte: Araújo (2000)

A eficiência dos recursos humanos resulta dos efeitos combinados de um grande número de fatores distintos, mas interdependentes, sejam eles equipamentos e ferramentas, tecnologia, características do ambiente físico, logística, gerenciamento, características decorrentes de definições de projetos, aspectos climáticos, perfil profissional do indivíduo, nível de motivação pessoal, entre outros. O certo é que não é possível caracterizar somente um ou outro fator como sendo a fonte do nível de produtividade obtido. Tal fato torna imperativo analisar de forma sistêmica os fatores que interferem na produtividade.

2.2 Sistema de informação

Aborda-se neste item o tema sistema de informação. Tal referencial deu sustentação teórica para o desenvolvimento do sistema proposto por esta pesquisa. Conceitua-se inicialmente o sistema de informação, passando a abordar o sistema de informação gerencial e a tecnologia de inteligência artificial como uma das possibilidades para o desenvolvimento de sistemas de informação.

Ao tratar sobre o tema sistema de informação, torna-se necessária uma discussão preliminar sobre informação e sistemas. A informação se origina de dados. Oliveira (1999) define dado como qualquer elemento identificado em sua forma bruta que, por si só, não conduz a uma compreensão de determinado fato, ação ou situação. Stair (1998) diz que dados são os fatos em sua forma primária, representando as coisas do mundo real e têm pouco valor além de si mesmos.

Pode-se entender, portanto, que dados são fatos ou qualquer elemento relevante em sua forma primária, que representam estados da realidade, mas que, no entanto, por si só têm pouco valor por não conduzirem a uma compreensão de determinada ação, situação ou contexto.

Segundo Stair (1998), a partir do momento em que os dados são organizados ou arranjados de uma maneira significativa, eles se tornam uma informação. A transformação de dados em informações é um processo no qual regras e relações podem ser estabelecidas para organizar os dados em informações úteis e valiosas.

Tendo como enfoque o meio empresarial, Oliveira (1999) qualifica informação como um dado trabalhado que permite ao executor decidir. O autor também ressalta que “a informação é um recurso vital para a empresa e integra, quando devidamente estruturada, os diversos subsistemas e, portanto, as funções das várias unidades organizacionais da empresa”. Portanto, o dado transformado gera a informação e o que diferencia um dado de uma informação é o conhecimento que ela propicia.

O'Brien (2004, p.7) define um sistema como sendo “um grupo de componentes inter-relacionados que trabalham rumo a uma meta comum, recebendo insumos e produzindo resultados em um processo organizado de transformação”. Para o autor, um sistema dessa ordem possui três funções básicas em interação: (1) entrada – captação e reunião de elementos que entram no sistema para receber processamento; (2) processamento – processo de transformação que convertem as entradas em produto; (3) saída – transferência dos elementos produzidos até o seu destino final. Com a inclusão de dois componentes adicionais, segundo o autor, o conceito de sistema se torna ainda mais útil: (4) *feedback* – dados sobre o desempenho do sistema; (5) controle – monitoração e avaliação do *feedback* para determinar se o sistema está se dirigindo para a realização de sua meta. Esta visão de sistema é apresentada esquematicamente pela Figura 6.

Um sistema de informação é uma tipologia especializada de sistema e tem sido definido por inúmeros modos.

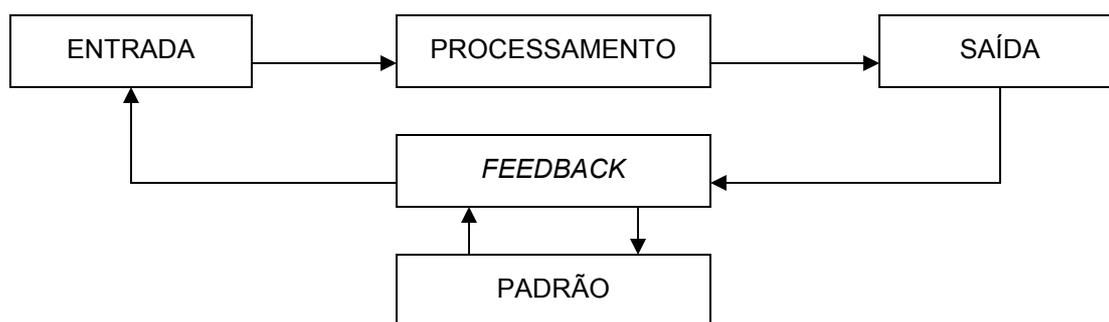


Figura 6 - Esquematização de um sistema

Fonte: Adaptado de O'Brien (2004)

Para Stair (1998), um sistema de informação é uma série de elementos ou componentes inter-relacionados que coletam (entrada), manipulam e armazenam (processo), disseminam (saída) os dados e informações e fornecem um mecanismo de *feedback*. Em outras palavras, é um sistema que recebe dados como entrada e os processa em informação como saída. De acordo com o autor, a entrada é a atividade de captar e juntar os dados primários. O tipo de entrada é determinado pela saída (informação) desejada do sistema e a sua precisão é fundamental para a obtenção da informação almejada.

O processamento envolve a transformação dos dados em saídas úteis, sendo que tal processamento pode envolver cálculos, comparações, tomada de ações alternativas e a armazenagem dos dados para uso futuro (STAIR, 1998).

De acordo com Stair (1998), a saída abrange a produção de informações úteis, geralmente na forma de documentos, relatórios e dados de transações. *Feedback* é uma saída usada para realizar ajustes nas atividades de entrada ou de processamento.

O'Brien (2004, p.6) define sistema de informação como "um conjunto organizado de pessoas, *hardware*, *software*, rede de comunicações e recursos de dados que coleta, transforma e dissemina informações em uma organização". Para o autor, um sistema de informação consiste em cinco recursos principais: recursos humanos, *hardware*, *software*, dados e rede.

- 1) Recursos Humanos – conjunto de pessoas para operação e geração do SI, composto pelos usuários finais que utilizam um SI ou as informações que ele

produz e os especialistas em SI, os quais desenvolvem e operam sistemas de informação.

- 2) Recursos de *Hardware* – compreendem todos os dispositivos físicos e equipamentos utilizados no processamento de dados. Envolvem as máquinas e as mídias de dados, desde papel a discos magnéticos.
- 3) Recursos de *Software* – conjunto de instruções de processamento de dados. Estão incluídos neste tipo de recurso não somente os conjuntos de instruções operacionais nomeados programas, mas também os conjuntos de instruções de processamento das informações solicitadas por pessoas, denominados procedimentos.
- 4) Recursos de Dados – os dados são medidas objetivas de atributos (características) de entidades (pessoas, lugares, coisas, eventos) e podem ser organizados em banco de dados, os quais guardam dados processados e organizados, ou em bases de conhecimento, as quais preservam conhecimento em uma multiplicidade de formas como fatos, regras e exemplos.
- 5) Recursos de Rede – refere-se a redes de telecomunicações como *internet*, *intranets* e *extranets*. Tais elementos são essenciais ao sucesso de operações de todos os tipos de organizações e de seus sistemas de informação computadorizados. Compreendem a mídia e o suporte de rede que apóiam diretamente a operação e o uso de uma rede de comunicações.

Assume-se, portanto, que um sistema de informação é um conjunto de componentes relacionados entre si, que coletam, processam e armazenam dados e distribuem informações para as pessoas da organização, permitindo correções ou adaptações, via *feedback*, quando necessário.

2.2.1 Sistema de informações gerenciais (SIG)

Tem-se a compreensão de que um sistema de informações gerenciais (SIG) é um sistema de informações necessárias e utilizadas no gerenciamento organizacional, subsidiando, assim, o processo decisório.

Stair e Reynolds (2002) resumem o conceito de sistema de informação gerencial como sendo um sistema que fornece aos gerentes não só as informações e o suporte para a efetiva tomada de decisão, mas também respostas às operações diárias, agregando, desse modo, valor aos processos da organização.

Oliveira (2004) cita definições de vários autores, das quais se destaca a de Schwartz:

[...] é um sistema de pessoas, equipamentos, procedimentos, documentos e comunicações que coleta, valida, executa operações, transforma, armazena, recupera e apresenta dados para uso no planejamento, orçamento, contabilidade, controle e outros processos gerenciais para vários propósitos administrativos. Os sistemas de informações tornam-se sistemas de informações gerenciais quando sua finalidade transcende uma orientação para processamento de transação, em favor de uma orientação para a tomada de decisões gerenciais (SCHWARTZ (1970, p.4) *apud* OLIVEIRA, 2004, p.35).

Para Oliveira (2004), um sistema de informações gerenciais é um instrumento administrativo que pode otimizar as comunicações e o processo de tomada de decisões em uma empresa.

O processo administrativo apresenta como elemento básico a tomada de decisão e, para que este processo seja adequado, é necessário dispor de um sistema de informações eficiente. Portanto, fica claro que as empresas que possuem um SIG adequado podem ter uma vantagem competitiva em relação às suas concorrentes, diminuindo o nível de risco, que é parte integrante e inseparável das decisões estratégicas, táticas e operacionais nas empresas.

Tendo como foco a função produção, Slack *et al.* (1997) declaram que os gerentes de produção fazem considerável uso de SIG, especialmente em suas atividades de planejamento e controle. Se uma empresa estabelecer como meta da área de produção a melhoria de sua produtividade, o desenvolvimento de sistemas de informações que a monitoram passa a ser um elemento-chave para essa organização, uma vez que esse sistema dará apoio para o seu alcance (STAIR, 1998).

A emergência de novas tecnologias, associadas à evolução dos meios de comunicação e da microeletrônica, torna cada vez mais acessível a implementação de sistemas de informações gerenciais e automatização de funções associadas ao processo decisório. Dentre essas tecnologias, destaca-se a inteligência artificial.

2.2.2 Tecnologia de inteligência artificial

As tecnologias de Inteligência Artificial (IA) têm como objetivo desenvolver funções computacionais normalmente associadas à inteligência humana, tais como raciocinar, aprender e solucionar problemas. Elas possibilitam um leque extraordinário de aplicações. Essas aplicações foram agrupadas por O'Brien (2004) em três grandes áreas: ciência cognitiva, robótica e interfaces naturais, apresentadas na Figura 7.

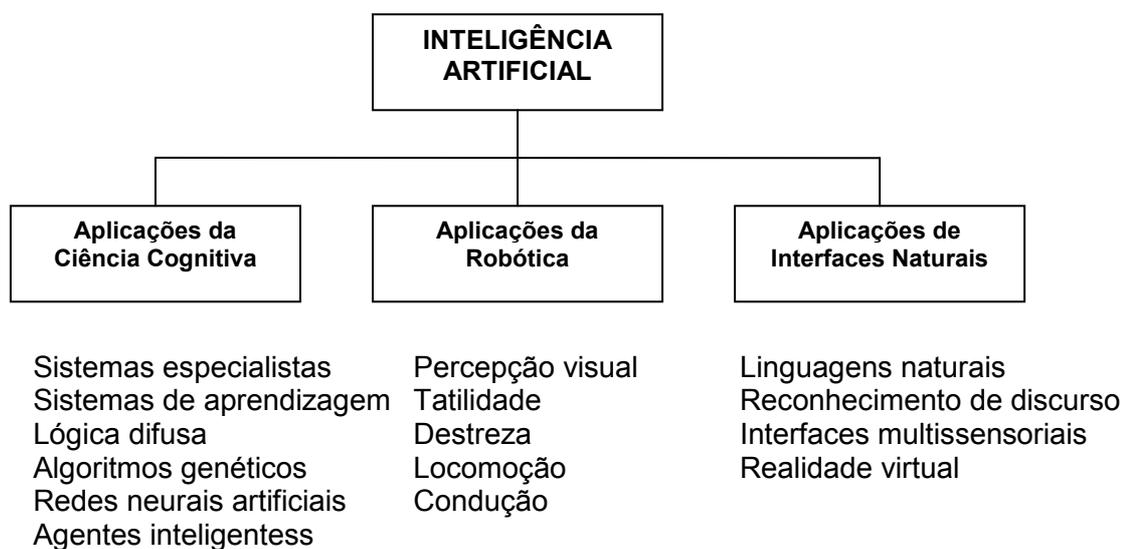


Figura 7 - Principais áreas de aplicação da Inteligência Artificial

Fonte: O'Brien (2004)

De acordo com O'Brien (2004), a área da ciência cognitiva se concentra em pesquisar como o cérebro humano funciona e como os seres humanos pensam e aprendem. Os resultados destas pesquisas são a base para o desenvolvimento de uma diversidade de aplicações computadorizadas de IA, as quais compreendem o desenvolvimento de sistemas que adicionam uma base de conhecimento e certa facilidade de raciocínio aos sistemas de informação. Um *software* de, por exemplo, pode aprender processando exemplos de problemas e suas soluções e, à medida que as Redes neurais artificiais começam a reconhecer padrões, elas podem começar a se programar para resolverem esses problemas por si mesmas.

2.3 Redes neurais artificiais

Nesta seção se descreve a estrutura e o comportamento de redes neurais artificiais biológicas, de modo a estabelecer uma analogia com os modelos de redes neurais artificiais. Na seqüência, uma possível definição de rede neural artificial, sua organização, suas características e seu histórico da abordagem baseada nestes modelos são apresentados. Também é descrita a forma de representação do conhecimento em uma rede neural artificial e como o conhecimento contido em sua estrutura é utilizado no processo de aprendizado, e a conseqüente realização de previsões.

2.3.1 Histórico

As redes neurais artificiais foram desenvolvidas, originalmente, na década de 40, pelo neurofisiologista McCulloch e pelo matemático Walter Pitts, da Universidade de Illinois, os quais, dentro do espírito cibernético da época, publicaram um artigo intitulado “*A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*”. O trabalho consistia em uma analogia entre células nervosas vivas e um processo eletrônico binário (KOVÁCS, 1996).

Atualmente, encontram-se modelos de redes neurais artificiais bem diferentes e também mais complexos do que o modelo apresentado por McCulloch e Pitts na década de 40. Entre os modelos mais conhecidos, pode-se citar, por exemplo: Perceptron, Adaline e Madaline, Backpropagation, Rede de Hopfield, Mapas de Kohonen e Modelo ART (Teoria da Ressonância Adaptativa). O modelo Perceptron, talvez o mais famoso, foi criado em 1957 por Frank Rosenblatt (TAFNER *et al.*, 1996). Atualmente, é utilizado apenas como um modelo didático, uma vez que representa bem a estrutura e a dinâmica de uma rede neural artificial.

2.3.2 Redes neurais artificiais

De modo geral, pode-se dizer que uma rede neural artificial é uma máquina projetada para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função de interesse (HAYKIN, 2001). Refere-se a técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento por meio da experiência. Dado a este fato, a seguir faz-

se uma análise sobre o cérebro humano para, posteriormente, apresentar a rede neural artificial.

O cérebro humano é um processador de informações muito complexo, não-linear e paralelo. Ele tem a capacidade de organizar os neurônios, seus constituintes estruturais, de modo a realizar certos processamentos, tais como reconhecimento de padrões, percepção e controle motor (HAYKIN, 2001).

Ao nascer, o cérebro do indivíduo possui grande estrutura e habilidade de desenvolver suas próprias regras por meio da experiência, a qual vai sendo adquirida com o passar do tempo. No entanto, o desenvolvimento mais acentuado do cérebro humano ocorre durante os dois primeiros anos de vida (HAYKIN, 2001).

O sistema nervoso recebe milhares de informações dos diversos receptores sensoriais do corpo. A combinação dessas informações recebidas com as já estocadas, obtidas pela hereditariedade ou pelos processos de aprendizagem, produz a resposta a ser dada pelo corpo (LOESCH, 1996). O centro do sistema nervoso é o cérebro, representado pela rede neural artificial (nervosa), que, continuamente, recebe informação, percebe-a e toma a decisão apropriada (HAYKIN, 2001).

O esforço para entender o cérebro humano foi facilitado pelo trabalho do pesquisador Ramón y Cajal, de 1911, o qual identificou anatomicamente e descreveu com detalhes esses constituintes estruturais do cérebro (HAYKIN, 2001; KOVÁCS, 1996).

Os neurônios possuem um corpo celular, o soma, do qual são projetados extensões filamentosas, os dendritos e o axônio. O soma é o centro dos processos metabólicos da célula nervosa. Os dendritos, que freqüentemente cobrem um volume muitas vezes maior que o corpo celular e formam uma árvore dendrital, como apresentado na Figura 8, são os responsáveis pela condução dos sinais de uma das extremidades da célula para o corpo celular. Já o axônio, também denominado fibra nervosa, tem a função de conectar a célula nervosa a outras do sistema nervoso. Em geral, o neurônio possui apenas um axônio, embora este possa apresentar algumas ramificações (KOVÁCS, 1996; LOESCH, 1996). Um neurônio é conectado a vários outros por meio dos dendritos e do axônio.

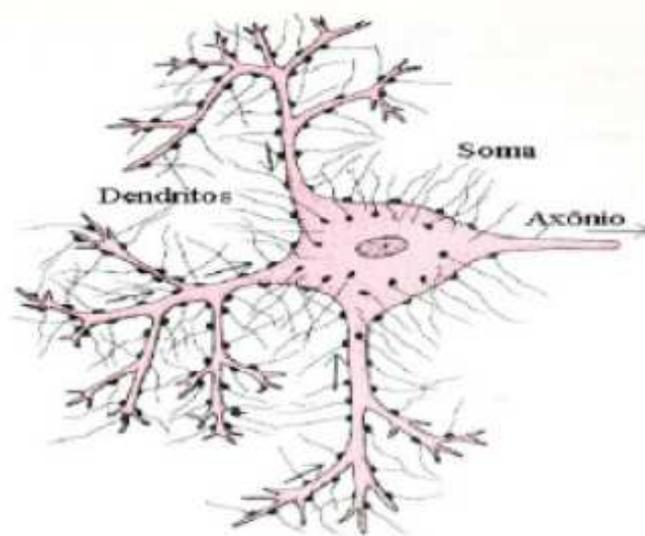


Figura 8 - Neurônio natural

Os dendritos recebem impulsos nervosos de outros neurônios e os conduzem ao corpo celular e nele ocorre um processo de integração, ou soma, dos estímulos de entrada, e, como resultado, pode ser gerado um pulso elétrico que se propaga pelo axônio. O processo que controla a produção do pulso elétrico é normalmente aceito como uma função de limiar que produz uma saída, caso a soma das entradas exceda a um dado limiar (LOESCH, 1996). O axônio transmitirá esse estímulo a outros neurônios por meio de fenômenos químicos denominados sinapses. A força sináptica da conexão neural, ao refletir o nível de excitação ou inibição entre neurônios adjacentes, capacita o cérebro humano ao armazenamento do conhecimento e o conseqüente aprendizado (BEALE, 1990).

É por meio das sinapses que os neurônios se unem funcionalmente, formando redes neurais artificiais (BEALE, 1990). De acordo com este autor, a abordagem de redes neurais artificiais consiste em capturar os princípios básicos de manipulação de informação do cérebro humano e aplicar esse conhecimento na resolução de problemas que exigem aprendizado a partir da experiência.

Segundo Haykin (2001), a rede neural artificial, vista como uma máquina adaptativa, pode ser definida como um processador maciço e paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que tem a propensão natural

para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Segundo o autor, a rede neural artificial se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

- 1) o conhecimento é obtido pela rede a partir de seu ambiente por meio de um processo de aprendizagem;
- 2) forças de conexão entre os neurônios, denominadas pesos sinápticos, são utilizadas para armazenarem o conhecimento obtido.

2.3.3 O neurônio artificial

O neurônio artificial é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma rede neural artificial. A Figura 9 mostra o modelo de um neurônio artificial, que é a base para o projeto de redes neurais artificiais.

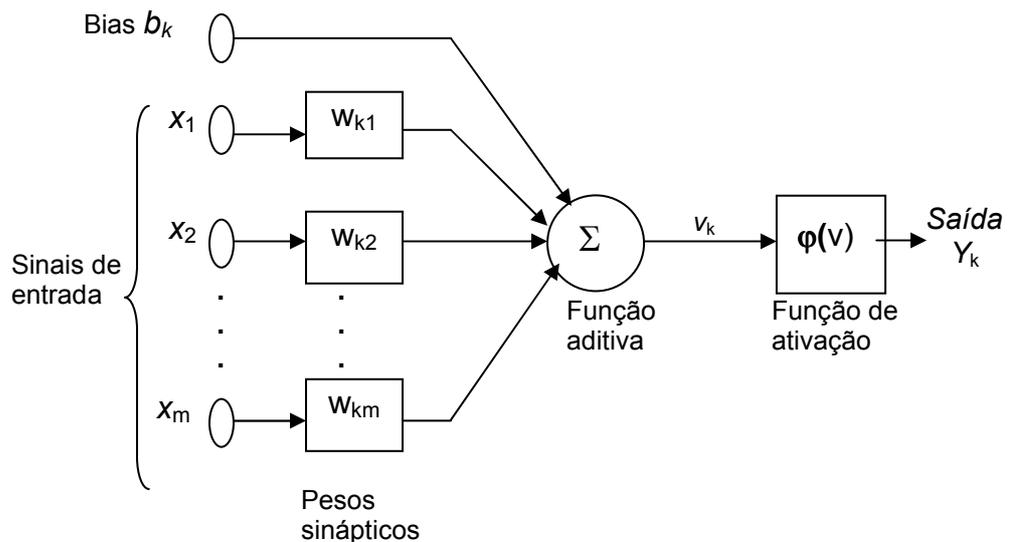


Figura 9 - Modelo de um neurônio artificial

Fonte: Haykin (2001)

O neurônio artificial (k) é composto por sinais de entradas (x_j), pesos sinápticos (w_{kj}), viés (ou *bias*) (b_k), função aditiva (Σ), função de ativação ou de transferência ($\varphi(v)$) e uma saída (y_k). As entradas, quando oriundas externamente à rede, são representações numéricas das características de entrada do domínio do problema, podendo ser uma variável binária ou contínua (LIPPMAN, 1987). Elas representam os estímulos que chegam ao neurônio num determinado instante de tempo.

Os pesos sinápticos são valores que representam o grau de importância que cada uma das entradas possui em relação àquele determinado neurônio. Esse valor se adapta à intensidade do sinal de entrada, ou seja, quando uma entrada é bastante estimulada acaba por estimular o peso correspondente a essa conexão e, por consequência, tem maior influência no sinal de saída do neurônio (TAFNER *et al.*, 1996). São as representações das sinapses que ponderam os estímulos a serem processados pelo corpo celular.

O viés é uma entrada adicional (x_0), fixa em +1, que pode ser acrescentada ao neurônio artificial. Seu peso de conexão (w_{k0}), como acontece com qualquer outro, é ajustável pelo aprendizado da rede. Sua função na rede neural artificial é a de transladar o valor de limiar da função de ativação (LOESCH, 1996).

A função aditiva tem o objetivo de determinar o sinal de excitação do neurônio. Este é obtido pelo somatório ponderado das entradas, ou seja, cada um dos sinais de entrada é multiplicado pelo respectivo peso sináptico e, posteriormente, esses resultados são somados (TAFNER *et al.*, 1996), ou seja, tal função é o produto interno do vetor de entrada e vetor de pesos.

A função de ativação transforma o resultado do somatório na saída do neurônio, processando os estímulos ponderados pelos respectivos pesos, e mede o estado de ativação do neurônio. Essa função pode ser de três tipos básicos: (1) Função de Limiar, (2) Função Linear por Partes e (3) Função Sigmóide (HAYKIN, 2001).

3) Função de Limiar

Segundo Haykin (2001), para este tipo de função de ativação, apresentada na Figura 10, tem-se a Equação (5):

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1 & \text{se } v \geq 0 \\ 0 & \text{se } v < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Quando o neurônio k emprega a função de Limiar, sua saída é expressa pela Equação (6):

$$y_k = \begin{cases} 1 & \text{se } V_k \geq 0 \\ 0 & \text{se } V_k < 0 \end{cases} \quad (6)$$

sendo v_k o campo local induzido do neurônio, isto é,

$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j + b_k \quad (7)$$

Este neurônio é denominado na literatura como o modelo de McCulloch-Pitts, o qual possui a propriedade tudo-ou-nada. Nele, a saída do neurônio assume valor 1, se o campo local induzido é não-negativo, e 0 caso contrário (HAYKIN, 2001).

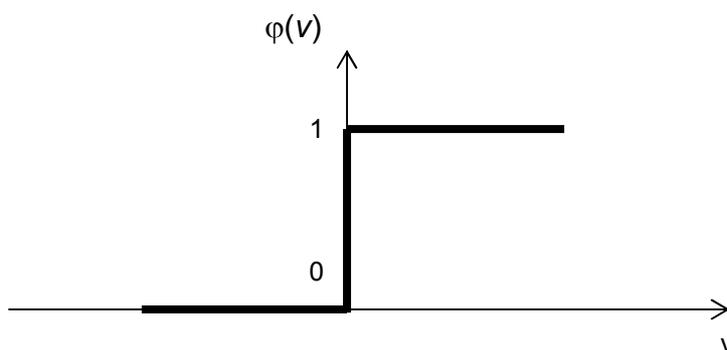


Figura 10 - Função de limiar

Fonte: Haykin (2001)

4) Função Linear por Partes

Para esta função, de acordo com Haykin (2001), descrita na Figura 11, tem-se:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1 & \text{se } v \geq +\frac{1}{2} \\ v & \text{se } +\frac{1}{2} > v > -\frac{1}{2} \\ 0 & \text{se } v \leq -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (8)$$

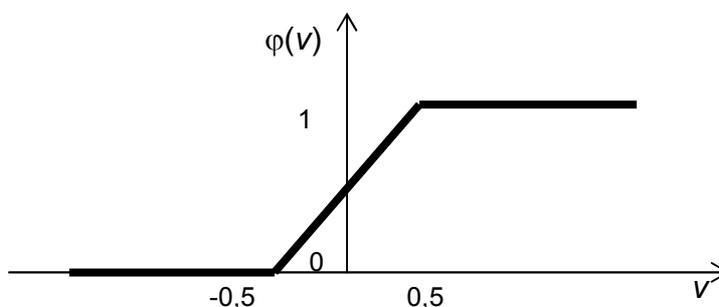


Figura 11 - Função linear por partes

Fonte: Haykin (2001)

5) Função Sigmóide

Segundo Haykin (2001), esta função, cujo gráfico possui a forma de S, é a forma mais comum de função utilizada na construção de redes neurais artificiais. Esta função é definida como sendo estritamente crescente, exibindo um equilíbrio adequado entre comportamento linear e não-linear. Pode ser de três tipos: logística, sinal ou tangente hiperbólica.

A função logística é definida pela Equação (9) como:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + e^{sp^{(-av)}}} \quad (9)$$

sendo a o parâmetro de inclinação da função sigmóide, o qual, ao ser variado, produz sigmóides com diferentes inclinações, como apresentado na Figura 12. Esta equação assume o valor de limiar em um intervalo contínuo entre 0 e 1. Outro aspecto relevante é que este tipo de função é diferenciável (HAYKIN, 2001).

Na função sinal, o valor de limiar se estende de -1 a $+1$. Neste caso, tem-se:

$$\varphi(V) = \begin{cases} 1 & \text{se } V > 0 \\ 0 & \text{se } V = 0 \\ -1 & \text{se } V < 0 \end{cases} \quad (10)$$

A função tangente hiperbólica é definida por:

$$\varphi(V) = \tanh(V) \quad (11)$$

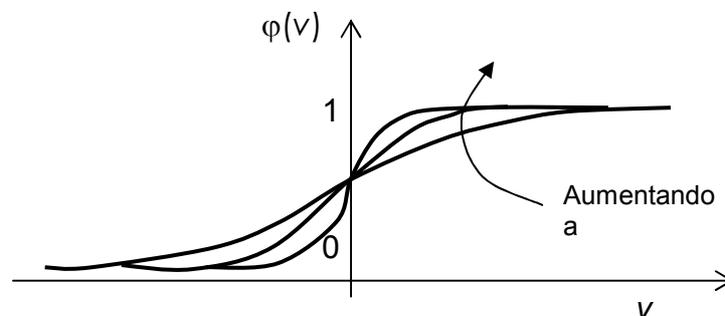


Figura 12 - Função sigmóide para parâmetro de inclinação a variável

Fonte: Haykin (2001)

A saída do neurônio pode ser apresentada sob a forma binária ou contínua, dependendo da função de ativação usada.

Portanto, conhecendo-se as partes que integram um neurônio artificial e a sua função dentro deste, pode-se sintetizar o seu funcionamento do seguinte modo: a partir do recebimento de um conjunto de sinais de entrada de um neurônio – elemento de processamento (EP) – originados de outros neurônios ou da camada de entrada da rede neural artificial, é computado o somatório ponderado entre estes sinais e os pesos sinápticos das conexões. Ao resultado deste somatório é acrescentado o *bias*, caso exista, e esse valor é aplicado à função de transferência, a qual procede a sua comparação com um limiar (um valor estipulado) e, se este é atingido, o valor é então passado adiante como sendo a saída do neurônio. Caso o valor não atinja o limiar, o sinal não é passado adiante (TAFNER *et al.*, 1996).

2.3.4 Arquiteturas de redes neurais artificiais

A arquitetura de uma rede neural artificial é a representação da maneira pela qual os EPs desta rede são estruturados. Segundo Haykin (2001), pode-se identificar três classes arquiteturais de rede estruturalmente diferentes: (1) Redes alimentadas adiante (*feedforward*) com camada única, (2) redes alimentadas adiante com múltiplas camadas e (3) redes recorrentes.

2.3.4.1 Redes alimentadas adiante com camada única

Neste tipo de rede, os EPs estão organizados em camadas. Possuem uma camada de entrada de nós de fonte que se projeta sobre uma camada de saída de neurônios, mas não o contrário; portanto esta rede é estritamente alimentada adiante. A Figura 13 ilustra este tipo de rede. A denominação camada única se refere à camada de saída por ser apenas nela que se realiza o processamento (HAYKIN, 2001).

2.3.4.2 Redes alimentadas adiante com múltiplas camadas

De acordo com Haykin (2001), difere-se da anterior pelo fato de possuir uma ou mais camadas ocultas. A função dos EPs ocultos é interferir entre a entrada externa e a saída da rede, dando à rede a habilidade para extrair estatísticas de ordem elevada.

O uso de camadas ocultas é muito útil quando o tamanho da camada de entrada é grande.

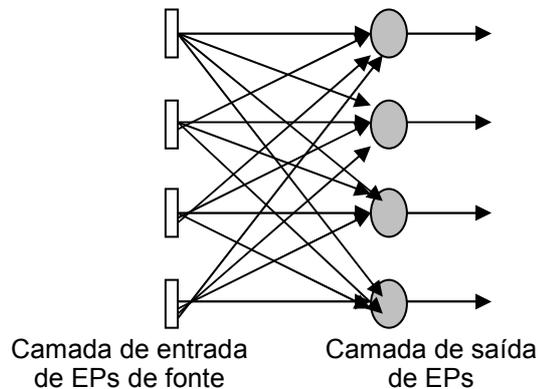


Figura 13 - Rede alimentada adiante com camada única

Fonte: Haykin (2001)

Os nós de fonte da camada de entrada fornecem os elementos do padrão de ativação (vetor de entrada), os quais são os sinais de entrada aplicados na primeira camada oculta. Os sinais de saída desta camada são utilizados como sinais de entrada para a próxima camada e assim por diante para o restante da rede. O conjunto de sinais de saída da última camada da rede, camada de saída, constitui a resposta global da rede para o padrão de ativação fornecida pelos nós de fonte da primeira camada (HAYKIN, 2001). Um esquema deste tipo de rede neural artificial é apresentado na Figura 14.

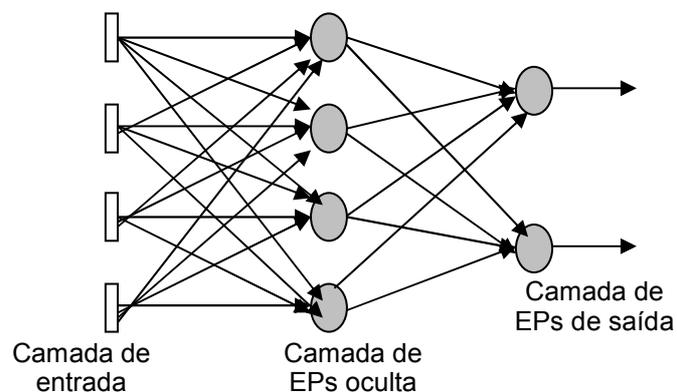


Figura 14 - Redes alimentadas adiante com múltiplas camadas

Fonte: Haykin (2001)

2.3.4.3 Redes recorrentes

Estas redes possuem uma diferença expressiva em relação às anteriores; elas possuem pelo menos um laço de realimentação. Podem possuir ou não camadas ocultas. Com relação à realimentação, estas podem possuir laços de realimentação e/ou de auto-realimentação. No primeiro caso, a saída do neurônio retorna para todos os demais como entrada e, no segundo, a saída do neurônio é realimentada para a sua própria entrada (HAYKIN, 2001). A Figura 15 apresenta um esquema deste tipo de rede.

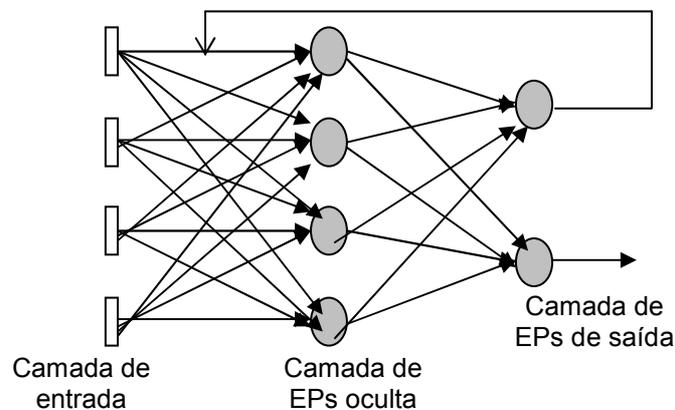


Figura 15 - Rede recorrente

Fonte: Haykin (2001)

2.3.5 Processos de aprendizagem

Haykin (2001) afirma que o projeto de rede neural artificial é baseado diretamente nos dados do mundo real, o que permite que o conjunto de dados fale por si mesmo. Assim, a rede neural artificial fornece o modelo implícito do ambiente no qual ela está inserida e realiza o processamento de informações de interesse.

A rede neural artificial possui dois momentos de explicitação do processamento: o momento de aprendizado e o momento de utilização (a aplicação da rede de fato). Esses dois momentos de operação são bem distintos e aplicados em períodos diferentes no ciclo de vida da rede.

O aprendizado é um processo de ajuste dos pesos das conexões em resposta ao estímulo apresentado à rede neural artificial, ou seja, a rede possui a propriedade de modificar-se em função da necessidade de aprender a informação que lhe foi

apresentada. Já o processo de utilização é a maneira pela qual a rede responde a um estímulo de entrada sem que ocorram modificações na sua estrutura.

A rede neural artificial tem como base dados reais que representam o ambiente no qual ela está inserida. Portanto, a propriedade de importância fundamental para uma rede neural artificial é a sua habilidade de aprender a partir de seu ambiente e de melhorar o seu desempenho por meio da aprendizagem (HAYKIN, 2001).

Segundo Haykin (2001, p.75), pode-se entender aprendizagem, dentro do contexto de redes neurais artificiais, como sendo “um processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede neural artificial são adaptados através de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida. O tipo de aprendizagem é determinado pela maneira pela qual a modificação ocorre”.

Segundo tal autor, esta definição implica as seguintes ocorrências:

- 1) o ambiente estimula a rede neural artificial;
- 2) a estimulação resulta em mudanças nos parâmetros livres da rede neural artificial;
- 3) por causa das mudanças ocorridas na estrutura interna, a rede neural artificial responde de uma forma nova ao ambiente.

A seguir, são discutidos os tópicos algoritmos e paradigmas de aprendizagem, elementos que devem ser definidos para a execução do processo de aprendizagem.

2.3.5.1 Algoritmos de aprendizagem

O algoritmo de aprendizagem pode ser definido como um conjunto preestabelecido de regras bem definidas para a solução de um problema de aprendizagem. Não existe um único algoritmo de aprendizagem, existe uma variedade e cada qual oferece vantagens específicas. Basicamente, eles diferem entre si pelo modo como é formulado o ajuste de um peso sináptico de um elemento de processamento (HAYKIN, 2001).

Segundo Haykin (2001), existem cinco regras básicas ou algoritmos de aprendizagem:

- 1) Aprendizagem por correção de erro: fundamentada na filtragem ótima. Neste caso, a saída do neurônio é comparada com uma resposta desejada ou

resposta-alvo; em conseqüência é gerado um sinal de erro. Este sinal aciona um mecanismo de controle, o qual aplicará uma seqüência de ajustes corretivos aos pesos sinápticos do neurônio. Esses ajustes têm como objetivo aproximar o sinal de saída da resposta desejada.

- 2) Aprendizagem baseada em memória: opera memorizando os dados de treinamento. Neste caso, todas ou a maioria das experiências passadas são armazenadas explicitamente em uma grande memória de exemplos de entrada-saída classificados corretamente. Quando se deseja classificar uma entrada, o algoritmo responde, buscando e analisando os dados de treinamento em uma vizinhança local desse valor de teste. Os vários algoritmos de aprendizagem baseada na memória diferem entre si pelo critério utilizado para definir a vizinhança local do valor de teste e pela regra de aprendizagem aplicada aos exemplos de treinamento da vizinhança local.
- 3) Aprendizagem Hebbiana: baseada no postulado de aprendizagem de Hebb, inspirado em considerações neurobiológicas. Por esta regra, a força de uma sinapse (conexão) é seletivamente aumentada, quando dois neurônios, em ambos os lados desta sinapse, são ativados simultaneamente e, por outro lado, enfraquecida ou eliminada, quando ambos os lados da sinapse são ativados assincronamente. Esta sinapse é conhecida como sinapse hebbiana, a qual usa um mecanismo dependente do tempo, altamente local e fortemente interativo para aumentar a eficiência sináptica como uma função da correlação entre as atividades pré-sinápticas e pós-sinápticas.
- 4) Aprendizagem competitiva: inspirada em considerações neurobiológicas. Neste tipo de aprendizagem, os elementos de processamento competem entre si para se tornarem ativos (disparar), pois, neste caso, somente um único EP está ativo em um determinado instante.
- 5) Aprendizagem de Boltzmann: é um algoritmo de aprendizagem estocástico decorrente de idéias baseadas na mecânica estatística.

2.3.5.2 Paradigmas de aprendizagem

O paradigma de aprendizagem pode ser entendido como a maneira pela qual uma rede neural artificial, composta por um conjunto de elementos de processamento interligados, relaciona-se com o seu ambiente (HAYHIN, 2001).

Os paradigmas de aprendizagem são, basicamente, de duas formas:

- 1) Aprendizagem supervisionada: a rede neural artificial é treinada com a apresentação sucessiva de pares de entrada e saída, isto é, um conjunto de entradas e um conjunto de saídas que a rede deveria produzir. Ao apresentar uma entrada, deve-se verificar se a saída real fornecida pela rede confere com a saída desejada para aquela entrada. Caso haja diferença, a rede deverá ajustar os pesos sinápticos. Isto é realizado iterativamente até que o conhecimento disponível seja transferido para a rede neural artificial, ou seja, até que a taxa de acerto atinja a faixa considerada satisfatória (TAFNER *et al.*, 1996).
- 2) Aprendizagem não-supervisionada: neste tipo de aprendizagem, são utilizadas somente as entradas, desconhecendo-se previamente o padrão de saída que a rede deveria gerar. Assim, o treinamento consiste em classificar as entrada em função da própria rede neural artificial e de seu algoritmo de aprendizagem, envolvendo o processo de competição e cooperação entre os elementos de processamento da rede (TAFNER *et al.*, 1996).

2.3.6 Retropropagação (BP - *Backpropagation*)

O algoritmo de retropropagação (BP), pertencente à classe das RNs não-recorrentes, foi selecionado como base para o desenvolvimento do sistema de informações proposto, devido ao fato de ser um tipo de rede neural artificial já muito explorada, com bons resultados em modelagem de sistemas. A seguir, faz-se uma apresentação mais detalhada sobre este modelo.

Paul Werbs, em 1974, desenvolveu este algoritmo, o qual foi redescoberto, independentemente, por Parker, em 1982, e por Rumelhart, em 1986 (BARRETO, 1999). Este algoritmo pode ser considerado como a generalização da regra de aprendizagem de Widrow-Holf, a Regra Delta, para redes neurais artificiais de múltiplas camadas alimentadas adiante com função de ativação diferenciável (BARRETO, 1999; HAYKIN, 2001).

O algoritmo de retropropagação do erro é um algoritmo de treinamento de forma supervisionada para redes de múltiplas camadas alimentadas adiante. Ele é baseado na regra de aprendizagem por correção de erro (HAYKIN, 2001).

Este tipo de aprendizagem consiste em dois passos computacionais por meio das camadas da rede neural artificial: um passo adiante, a propagação, e um passo para trás, a retropropagação.

No passo adiante, apresenta-se à rede um exemplo (vetor de entrada). Este é aplicado aos elementos de processamento e o seu efeito se propaga pela rede, camada por camada. A rede produzirá um conjunto de saídas como resposta da rede. Tal resposta é comparada à saída esperada (alvo) e obtém-se o erro.

No passo para trás, calcula-se o gradiente desse erro com relação aos valores sinápticos da camada de saída que é atualizada na direção da diminuição desse erro. É possível então calcular o erro de saída da penúltima camada, e assim sucessivamente, propagando o erro para trás através da rede, contra a direção das conexões sinápticas. Os pesos sinápticos vão sendo ajustados para que a resposta da rede se mova para o ponto mais próximo da resposta desejada.

Posteriormente, mais um exemplo é apresentado e o processo descrito anteriormente é repetido. A rede vai convergindo e reduzindo gradativamente o erro. Conforme a rede aprende, o valor do erro converge para um valor estável. O processo de aprendizagem prossegue até atingir um critério estabelecido, tal como um valor mínimo de erro global ou uma diferença sucessiva mínima entre erros calculados para cada iteração (BARRETO, 1999; HAYKIN, 2001).

Durante a aplicação prática do algoritmo de retropropagação, o aprendizado é resultante das muitas apresentações de um determinado conjunto de treinamento à rede neural artificial. Uma apresentação completa desse conjunto de treinamento recebe o nome de época. O processo de aprendizagem é mantido em uma base de época em época, até obter-se a convergência. Recomenda-se tornar aleatória a ordem de apresentação dos exemplos de treinamento, de uma época para a seguinte (HAYKIN, 2001).

Na etapa de treinamento, a adaptação dos pesos sinápticos na busca da convergência da rede neural artificial pode ser realizada das seguintes formas:

- 1) Modo por lote: os pesos sinápticos são ajustados somente ao final de cada época. Neste modo, o treinamento é menos influenciado pela ordem de

apresentação dos padrões, é menos suscetível às oscilações, porém a velocidade de aprendizado (convergência) geralmente é mais baixa.

- 2) Modo seqüencial: a atualização dos pesos sinápticos ocorre após a apresentação de cada exemplo de treinamento. Neste modo, a ordem da apresentação dos padrões é importante para a velocidade de aprendizado da rede, ele requer menos armazenamento local para cada conexão sináptica e, quando o conjunto de dados é grande e redundante, este modo é capaz de beneficiar-se pelo fato de os exemplos serem apresentados um a cada vez (HAYKIN, 2001).

A seguir, apresentam-se as equações (procedimento de cálculo) a serem usadas na aprendizagem nos dois passos computacionais: passo adiante, a propagação; e passo para trás, a retropropagação, tendo-se como referencial Haykin (2001).

Na Figura 16, representa-se o elemento de processamento j . Este é alimentado por valores produzidos por uma camada de elementos de processamento à sua esquerda (HAYKIN, 2001).

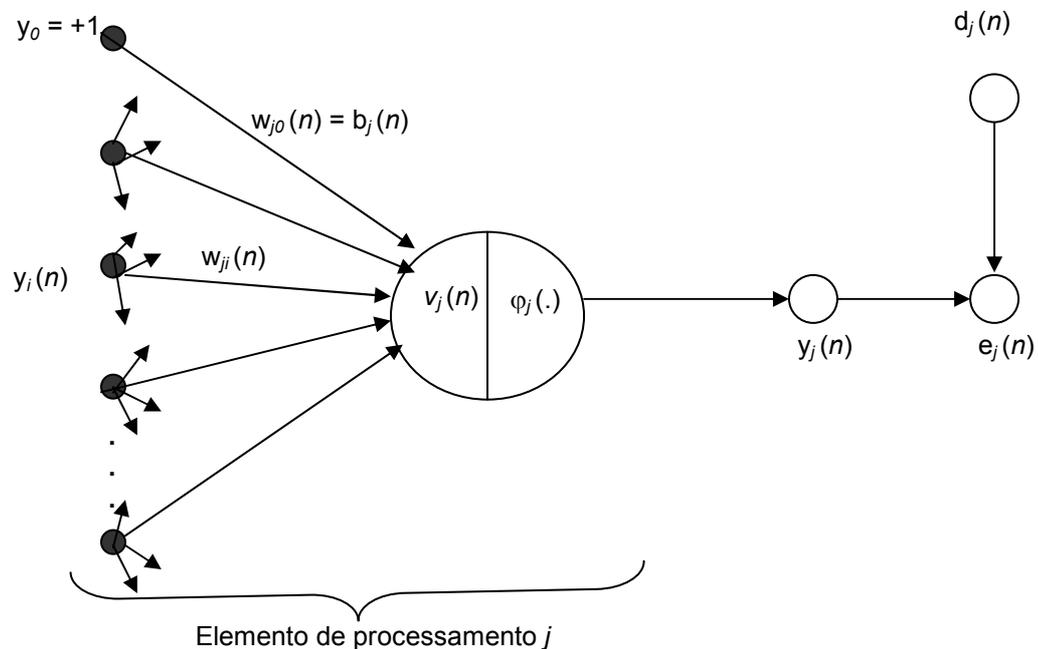


Figura 16 - Esquema genérico do EP j

Fonte: Adaptado de Haykin (2001)

No esquema genérico, foram utilizadas as seguintes notações:

Os índices i, j e k referem-se a EPs diferentes na rede. O EP j se localiza em uma camada à direita do EP i , e o EP k se localiza em uma camada à direita do EP j , quando o EP j é uma unidade oculta.

Na iteração n , o n -ésimo exemplo de treinamento é apresentado à rede.

$d_j(n)$ – saída desejada para o EP j

$e_j(n)$ – sinal de erro na saída do neurônio j

$y_i(n)$ – saída do EP i ou entrada do EP j

$w_{ji}(n)$ – peso sináptico conectando a saída do EP i à entrada do EP j

$\Delta w_{ji}(n)$ – correção do peso sináptico

$v_j(n)$ – soma ponderada de todas as entradas sinápticas mais o bias, a qual é aplicada à função de ativação do EP j

$\varphi_j(\cdot)$ – função de ativação

b_j – bias igual a +1. $w_{j0} = b_j$

Outras notações utilizadas:

$x_i(n)$ – i -ésimo elemento do vetor de entrada

$o_k(n)$ – elemento do vetor de saída global

η – parâmetro da taxa de aprendizagem.

α – constante de momento

l – profundidade da rede, ou seja, número de camadas

m_l – número de elementos de processamento da camada l . Desse modo, m_0 representa o número de EPs na camada de entrada (excluindo-se o bias), m_1 , representa o tamanho da primeira camada oculta e m_l representa o tamanho da camada de saída

$\delta_j(n)$ – gradiente local

2.3.6.1 Passo adiante

Para combinar as entradas que incidem sobre o neurônio em uma entrada global, utiliza-se uma função de entrada, a qual calculará a entrada global do vetor de entrada do elemento de processamento. Adota-se aqui a função soma, a qual consiste no somatório de todas as entradas ponderadas:

$$v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji}(n) y_i(n) \quad (12)$$

Sendo:

y_i – entrada do EP;

m – número total de entradas (excluindo-se o bias) aplicadas ao EP j .

w_{j0} – peso sináptico, igual ao bias b_j .

Se o EP j estiver na primeira camada oculta, $y_j(n)$ corresponderá a $x_i(n)$; se, por outro lado, o EP j estiver na camada de saída, $y_j(n)$ corresponderá a $o_j(n)$.

A saída do EP j (valor de ativação) é igual a :

$$y_j = \varphi_j(v_j(n)) \quad (13)$$

sendo:

φ - função de ativação.

Considerando a adoção da função de ativação logística, tem-se:

$$\varphi_j(v_j(n)) = \frac{1}{1 + \exp(-av_j(n))} \quad a > 0 \quad e \quad -\infty < v_j(n) < \infty \quad (14)$$

a – parâmetro de inclinação da função sigmóide.

O cálculo do erro ($e_j(n)$) é realizado por:

$$e_i(n) = d_j(n) - o_j(n) \quad (15)$$

sendo:

$d_j(n)$ – saída desejada;

$o_j(n)$ – saída calculada pela rede neural artificial.

2.3.6.2 Passo para trás

O algoritmo de retropropagação aplica uma correção $\Delta w_{ji}(n)$ ao peso sináptico $w_{ji}(n)$ proporcional à derivada parcial do valor instantâneo da energia do erro em relação ao peso sináptico:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (16)$$

sendo que o valor instantâneo da energia do erro $\varepsilon(n)$ é

$$\varepsilon(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2(n) \quad (17)$$

com j pertencente ao conjunto C , que inclui todos os EPs da camada de saída da rede.

A correção do peso será realizada segundo a regra delta generalizada:

$$w_{ji}^{(l)}(n+1) = w_{ji}^{(l)}(n) + \alpha [w_{ji}^{(l)}(n-1)] + \eta \delta_j^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n) \quad (18)$$

sendo:

α – constante de momento;

η – parâmetro da taxa de aprendizagem;

$\delta_j(n)$ – gradiente local;

l – índice da camada.

Sendo selecionada a função logística como função de ativação, o gradiente local será o apresentado a seguir.

Considerando que o EP j esteja localizado na camada de saída, o gradiente local será:

$$\delta_j(n) = e_j(n) \varphi_j'(v_j(n)) \quad (19)$$

$$\delta_j(n) = a [d_j(n) - o_j(n)] o_j(n) [1 - o_j(n)] \quad (20)$$

sendo:

$d_j(n)$ – saída desejada para EP j ;

$o_j(n)$ – saída calculada do EP j .

Para um EP oculto j , o gradiente local pode ser expresso como

$$\delta_j(n) = \varphi_j'(v_j(n)) \sum_k \delta_k(n) w_{kj}(n) \quad (21)$$

ou

$$\delta_j(n) = ay_j(n) - [1 - y_j(n)] \sum_k \delta_k(n) w_{kj}(n) \quad (22)$$

2.3.6.3 Taxa de aprendizagem

O algoritmo de aprendizagem BP exige que as mudanças nos pesos sejam proporcionais a $\partial \varepsilon / \partial w_{ji}$ e, para se descrever uma trajetória descendente no sentido do gradiente, é necessário usar passos infinitesimais. A constante de proporcionalidade é a taxa de aprendizado η que, quanto maior, maiores serão as mudanças nos pesos.

Existem várias heurísticas para determinação da taxa de aprendizado, porém deve-se atentar para o fato de que um valor de η muito pequeno tornará o aprendizado muito lento, e um valor grande deste poderá causar oscilações. Deve-se escolher um valor de η tão grande quanto possível, de modo a acelerar o aprendizado sem causar oscilação.

2.3.6.4 Coeficiente de momento

A utilização do termo momento surgiu como uma forma simples de aumentar a taxa de aprendizagem, evitando-se o perigo da instabilidade. O uso da constante do momento no algoritmo de retropropagação representa uma pequena modificação na atualização dos pesos. No entanto, isto pode ter alguns bons efeitos sobre o comportamento de aprendizagem do algoritmo (HAYKIN, 2001), uma vez que esse método possibilita que a rede ignore as variações de alta frequência na superfície de erro, diminuindo a probabilidade de que o processo de convergência do erro pare em um mínimo local e não global.

A utilização do momento na regra de aprendizado do BP consiste em se fazer com que as mudanças na matriz de pesos sejam iguais a: uma fração da última alteração destes pesos somada à nova alteração determinada pela regra BP. Assim, se a alteração anterior foi realizada no sentido descendente da superfície do erro, parte da alteração atual nos pesos das conexões será realizada naquele mesmo sentido.

Quando o momento assume o valor zero, a mudança nos pesos é baseada apenas na regra de aprendizado do BP (no gradiente). Quando ele assume o valor unitário,

a mudança atual é igual à última mudança realizada nos pesos e o gradiente é simplesmente ignorado.

2.3.7 Conjunto de dados - tratamento

Um dos fatores essenciais para o sucesso da rede neural artificial é o conjunto de dados utilizado para o treinamento. Quanto melhor a qualidade dos dados, mais precisa será a rede neural artificial. A seguir, aborda-se o tópico sobre o conjunto de dados de treinamento e a sua forma de utilização.

Os dados utilizados para a realização do treinamento são muito importantes para o desenvolvimento da rede neural artificial. Esses dados, em geral, devem ser tratados e escolhidos com determinada cautela, pois devem representar o que é e não é relevante para o problema a ser solucionado, de modo que a rede funcione satisfatoriamente (TAFNER *et al.*, 1996).

Comumente, o conjunto de dados é composto por dados que caracterizam situações reais que foram observadas na prática, ou seja, refletem o ambiente.

O tratamento dos dados tem como objetivos (TAFNER *et al.*, 1996):

- Adequar quantitativamente os dados a serem fornecidos à rede, eliminando os que sejam redundantes ou não-relevantes, mantendo, no entanto, a necessária abrangência de todas as situações a serem aprendidas pela rede neural artificial;
- Aumentar qualitativamente a representação da informação, contribuindo para a eficácia do treinamento da rede neural artificial.

2.3.7.1 Normalização (pré e pós-processamentos)

Uma vez tratados os dados, eles devem ser normalizados para que se tornem adequados à entrada da rede neural artificial. O treinamento da RN pode ser mais eficiente se algumas operações de pré-processamento forem realizadas nos dados de entrada da RN. Caso sejam utilizadas operações de pré-processamento, torna-se necessário realizar as operações de pós-processamento, as quais transformarão as unidades das saídas da RN nas mesmas unidades das entradas originais.

Os dados podem ser de duas categorias: numéricos (contínuos) ou simbólicos (discretos). Os dados numéricos tomam um valor dentro de um intervalo, podendo

este ser de $-\infty$ a $+\infty$. Os valores simbólicos são expressões semânticas. Sejam numéricos ou simbólicos, os dados devem ser codificados em um intervalo $[-1,1]$ ou $[0,1]$ ou binário $\{-1,1\}$, $\{0,1\}$.

Comumente para dados numéricos, a transformação para os intervalos citados é realizada com auxílio de uma função linear, sempre considerando uma folga superior e uma inferior aos limites desejados.

No caso de dados simbólicos, cada valor simbólico é ligado a um neurônio na camada de entrada. Se existem n valores simbólicos para um dado fator considerado pela rede neural artificial, serão necessários n neurônios. Cada um deles terá como entrada um conjunto de entradas binárias, recebendo, por exemplo, 1 o valor simbólico que se aplica e 0 os demais.

2.3.8 Precisão da classificação

Com o objetivo de avaliar o desempenho do classificador utilizado, é calculada uma medida de precisão dos resultados, o que possibilita a atribuição de um nível de confiança ao exemplo classificado.

Segundo Cohen (1960), a precisão pode ser medida, tornando-se como base a verdade, conhecida a partir de trabalhos de campo.

2.3.8.1 Matriz de confusão

A matriz de confusão ou matriz de erro é uma matriz quadrada na forma $m \times m$; m é o número de classes em investigação. As linhas da matriz representam as classes desejadas (verdade) e as colunas são associadas com a classe obtida pela rede neural artificial. A matriz de confusão favorece a visualização dos resultados da classificação e expressa a relação entre os dois tipos de erros associados ao sistema de classificação: os de inclusão (um exemplo que não pertence à classe de interesse foi a ela atribuído) e de omissão (quando um exemplo que pertence à classe de interesse não foi a ela atribuído).

Os elementos da matriz diagonal representam o número de exemplos corretamente classificados (coincidências ou concordâncias). Os elementos acima da diagonal representam os erros de omissão e os abaixo da diagonal os de inclusão.

2.3.8.2 Coeficiente Kappa

Neste trabalho, escolheu-se o Coeficiente Kappa para avaliar a qualidade da classificação em relação à realidade, dado ao fato de este ser bastante sensível às variações de erros de omissão e inclusão (COHEN, 1960).

Cohen (1960) apresentou o Coeficiente Kappa como um coeficiente de precisão entre dois classificadores com amostras categorizadas em escalas nominais. Para este trabalho, as categorias são níveis de produtividade, e os classificadores são: os dados de produtividade levantados em campo e a rede neural artificial implementada neste trabalho.

O Coeficiente Kappa é usado como um índice de precisão total da classificação. Ele é recomendado como uma medida de precisão adequada em classificação por representar toda a matriz de confusão. Esse índice pode ser expresso pela Equação (23).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^M X_{ii} - \sum_{i=1}^M X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^M X_{i+} X_{+i}} \quad (23)$$

Sendo que:

$\sum_{i=1}^M X_{ii}$ representa a proporção de unidades observadas com classificação correta (diagonal da matriz), ou seja, é a concordância observada;

$\sum_{i=1}^M X_{i+} X_{+i}$ é a concordância esperada, em que X_{i+} e X_{+i} são proporções marginais da linha i e da coluna i , respectivamente;

N é o total de observações;

M é o total de classes.

O Coeficiente Kappa tem como limite inferior $K=0$, quando existe uma péssima concordância e $K=+1$, quando há uma perfeita concordância entre os classificadores.

Para uma interpretação dos valores de Kappa, utilizou-se a caracterização em faixas de valores para os graus de concordância feita por Landis e Koch (1977). Esses autores sugerem que os valores acima de 0,75 representam excelente concordância. Valores abaixo de 0,40 uma baixa concordância e os valores situados entre 0,40 e 0,75 representam concordâncias de suficiente a boa (mediana).

2.3.9 Técnica de poda de rede

Técnicas de poda ou *pruning* envolvem a eliminação de pesos e neurônios irrelevantes para a função executada pela rede.

No método baseado na avaliação da sensibilidade da saída, é retirado um neurônio da rede e verificada a variação do erro de saída. Caso a retirada da unidade de processamento não cause grande variação no erro de saída, conclui-se que a rede é pouco sensível a este, e que ele pode ser retirado sem perda da capacidade da rede modelar os dados (BRAGA *et al.*, 2000).

2.3.10 Aplicação das RNAs à produtividade da construção civil

A aplicação de redes neurais artificiais para a construção civil começou a ser pensada a partir da década de 90. Apresenta-se a seguir uma revisão bibliográfica que fornece um resumo de pesquisas desenvolvidas sobre a utilização de redes neurais artificiais na estimativa de índices de produtividade para atividades da construção civil a partir de 1990.

Moselhi *et al.* (1991) destacam as vantagens e aplicabilidade das redes neurais artificiais na construção civil. Citaram a estimativa de um índice realista de produtividade para uma determinada atividade, como um aspecto da construção que pode ser modelado com redes neurais artificiais. Fatores tipicamente considerados por um orçamentista, como quantidade de trabalho, tipo de construção, hora extra de trabalho e condições de administração podem ser facilmente manipulados para serem utilizados como entradas da rede neural artificial. No entanto, para que eles sejam usados, é necessário que haja uma adaptação nesses dados. Os referidos autores apresentaram duas técnicas para transformar os dados reais em um formato utilizável pela rede neural artificial:

- 1) Transformação em valor binário – é atribuído um a atributos aplicáveis e aos não-aplicáveis é atribuído zero.
- 2) Transformação em valor contínuo - um vetor de números reais é atribuído a cada fator de forma que o valor atribuído representa o escore relativo do fator comparado a outros fatores.

Tais autores, porém, não apresentam aplicação para a modelagem de produtividade ou para as técnicas de transformação.

Karshenas e Feng (1992) utilizaram redes neurais artificiais para analisar a produtividade de equipamentos de movimentação de terra. Foi empregada uma estrutura de rede neural artificial modular para possibilitar a adição de especificações de novos equipamentos com uma única e rápida sessão de treinamento. Cada módulo representava um tipo distinto de equipamento que foi treinado com duas entradas, quatro elementos de processamento ocultos e uma saída com um algoritmo de treinamento de retropropagação. Os dois fatores de entrada da RN usados para cada módulo eram peso total do equipamento e resistência total de arrastamento. A saída era a velocidade do equipamento, a qual pode ser usada para determinar a produtividade do equipamento baseada no tempo de ciclo. Essa aplicação de rede neural artificial treinou a erro mínimo, fornecendo saídas precisas e consistentes.

AbouRizk e Wales (1993) usaram redes neurais artificiais como um meio de aplicar os efeitos das condições ambientais locais ao índice de produtividade de uma atividade. Os autores identificaram como fatores-chave das condições ambientais locais a temperatura média diária, a chuva e a chuva acumulada dos sete dias anteriores e usaram esses três fatores como entradas em uma RN alimentada adiante, treinada com algoritmo de retropropagação. A saída era um fator de produtividade tal que um valor maior que 1,0 indicava que aquelas condições ambientais locais conduziria a uma produtividade mais elevada que a normal. Por outro lado, um fator de produtividade menor que 1,0 indicava que para aquelas condições ambientais locais a produtividade resultante seria abaixo da normal.

AbouRizk e Wales (1993) propusera que esta metodologia de rede neural artificial seja usada durante a programação como um meio de responder com antecedência a efeitos de condições ambientais locais para atividades sensíveis.

Chao e Skibniewski (1994) executaram um estudo de caso no qual uma rede neural artificial foi usada para prever a produtividade de um trator de lâmina. Eles identificaram dois fatores principais que afetavam essa produtividade: condições de trabalho e elementos operacionais. Nas condições de trabalho, incluem-se as características do ambiente, como condições do solo, e características específicas do trator de lâmina e da escavação, como a inclinação da superfície a ser cortada. Os elementos operacionais, em contraste, incluem características que não são diretamente relacionadas à operação de escavação, tais como: o efeito de tempo de espera para caminhões e as tarefas extras além das escavações. Duas redes neurais artificiais foram usadas para realização deste estudo de caso. A primeira foi usada para estimar o tempo de ciclo de escavação. Quatro fatores-chave foram identificados como influentes: tempo de ciclo, alcance horizontal, inclinação e tipo de solo. A saída da primeira rede foi então incorporada à segunda rede, que examinou o efeito dos elementos operacionais na produtividade.

Portas e AbouRizk (1997) propuseram um modelo de rede neural artificial de retropropagação e alimentação direta para estimar índices de produtividade de oficinas de construção. A saída da rede é um único ponto de predição junto com várias zonas de saídas, com igual probabilidade de o índice de produtividade estar em qualquer zona. Uma vez treinadas e inseridas as entradas, a rede neural artificial predirá um valor de ponto como também a probabilidade de índices de produtividade que estão dentro das zonas de saída.

AbouRizk *et al.* (2001) apresentaram um modelo de rede neural artificial de dois estágios para prever produtividade de trabalho de instalação de tubulações. Os fatores de entrada são usados para invocar o processo de classificação de *learning vector quantization* - (LVQ) e então, sua predição. Com a classificação, o modelo prevê se a saída é provável em uma série típica ou atípica. A própria rede de alimentação por retropropagação é então executada. A desvantagem deste método é que existe formação de erros quando a classificação fracassa.

Lu *et al.* (2000) apresentaram um modelo de redes neurais artificiais, o qual permite que a tomada de decisão para um cenário futuro seja baseado nos resultados indicados pelo modelo de redes neurais artificiais e pelas preferências pessoais e experiências do tomador de decisões. Os referidos autores propuseram a predição

de índices de produtividade para a indústria de construção utilizando *Probability Inference Neural Network* (PINN), modelo que se baseia no método de *learning vector quantization* - (LVQ) combinado com uma abordagem probabilística. O uso deste modelo resultou melhoria acentuada em desempenho e precisão.

2.4 Descoberta de conhecimento em banco de dados

Nas últimas décadas, observa-se o armazenamento de uma grande quantidade de dados, que superam em muito as habilidades para interpretá-los e digeri-los, criando a necessidade de geração de ferramentas e técnicas para automatizar e analisar a base de dados de forma inteligente (FAYYAD *et al.*, 1996).

O desenvolvimento de técnicas e ferramentas que buscam transformar esses dados armazenados em conhecimento é o objetivo da área denominada *Knowledge Discovery in Databases* – *KDD* (Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados).

O termo “Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados” surgiu em 1989, como referência ao amplo processo de encontrar conhecimento em dados e dar ênfase a uma grande aplicação em particular – o método *Data Mining* (Mineração de Dados). (FAYYAD *et al.*, 1996)

KDD refere-se ao processo completo de descoberta de conhecimento útil a partir de uma base de dados. A principal etapa, núcleo desse processo, chama-se *Data Mining* ou Mineração de Dados (MD), também conhecida como processo de arqueologia de dados ou reconhecimento de padrões (CHEN *et al.*, 1996).

Fayyad *et al.* (1996) diferenciam os termos MD e *KDD*. Para tais autores, MD se refere somente ao meio pelo qual os padrões são extraídos e enumerados a partir dos dados, enquanto *KDD* envolve a avaliação e interpretação dos padrões para decidir o que é conhecimento e o que não é, incluindo a escolha do esquema de codificação, pré-processamento, amostragem e projeções realizadas anteriormente à etapa de MD, bem como o processamento realizado depois da etapa de MD.

O processo *KDD* é interdisciplinar e envolve áreas relativas ao aprendizado de máquina, bases de dados, estatística e matemática, sistemas especialistas e visualização de dados. Este processo utiliza métodos, algoritmos e técnicas, oriundos dessas diversas áreas, com o objetivo principal de extrair conhecimento a

partir de grandes bases de dados (ADRIAANS e ZANTINGE, 1996). A relação das áreas no processo *KDD* pode ser visualizada pela Figura 17.

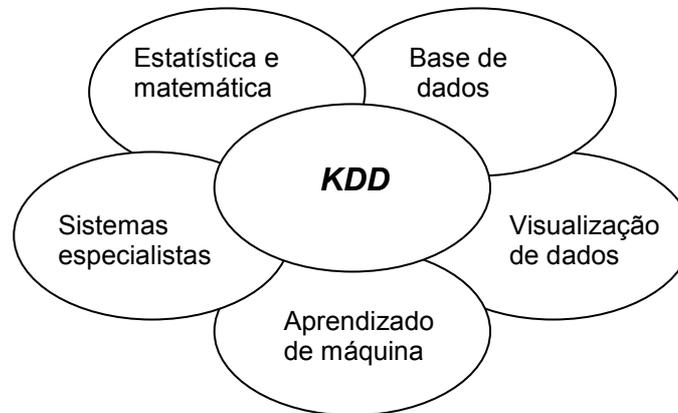


Figura 17 - Multidisciplinaridade do *KDD*

Fonte: Adriaans e Zantinge (1996)

Na definição de Fayyad *et al.* (1996), *KDD* é descrito como um processo não-trivial de identificação de padrões que sejam válidos, novos, potencialmente úteis e compreensíveis, a partir de um conjunto de dados. Neste sentido, nesta seção se descreve o processo de descoberta de conhecimento em banco de dados, com ênfase especial no processo de mineração de dados, descrevendo as tarefas e técnicas pertinentes a este processo e aspectos relevantes à seleção de atributos, bem como aspectos de operacionalização desta seleção.

2.4.1 Processo de descoberta de conhecimento

O processo de descoberta de conhecimento é um método semi-automático complexo e iterativo (MANNILA, 1996). Tal processo é constituído por um conjunto de etapas com a finalidade de obter um conhecimento a respeito de um determinado domínio, a partir de uma base de dados em estado bruto (FAYYAD e UTHURUSAMY, 2002).

Segundo Fayyad *et al.* (1996), esse conjunto é composto de cinco etapas, que são: seleção dos dados, pré-processamento dos dados, transformação dos dados, mineração de dados e interpretação e avaliação dos resultados, como pode ser observado na Figura 18.

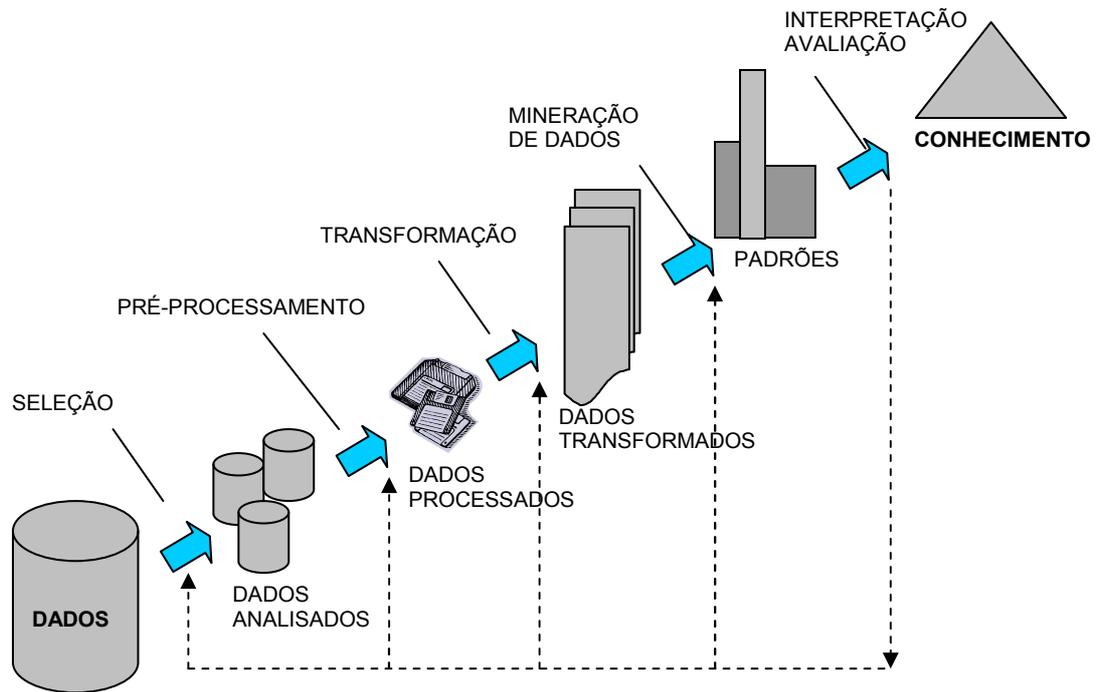


Figura 18 - Etapas do processo de descoberta de conhecimento

Fonte: Fayyad *et al.* (1996)

O processo de *KDD* se inicia com o entendimento do domínio da aplicação e dos objetivos finais a serem atingidos, ou seja, é necessário identificar o tipo de conhecimento que interessa e a meta do processo de *KDD*, a partir da necessidade do usuário.

Uma vez definido o domínio, o próximo passo é selecionar um conjunto de dados, alvo da análise. Os dados disponíveis podem estar distribuídos em diferentes séries de dados e, durante a seleção, constrói-se uma tabela única, na qual se reúnem os dados de interesse, agregando-se e/ou se eliminando variáveis segundo o objetivo da análise.

Após a seleção dos dados, inicia-se a etapa de pré-processamento. Nesta etapa, deverão ser realizadas tarefas que eliminem ou tratem os ruídos, dados estranhos ou inconsistentes, bem como se definir estratégias para resolver os problemas de registros com dados ausentes. Ruídos se referem às situações em que dois ou mais registros, compostos por atributos que possuem os mesmos valores chegam a classes distintas. Já dados ausentes correspondem a registros que não possuem

todos os valores dos atributos preenchidos. Essa etapa pode tomar até 80% do tempo necessário para todo o processo, por causa das conhecidas dificuldades de integração de bases e dados heterogêneos (MANNILA, 1996).

Realizado o pré-processamento, os dados necessitam ser armazenados e formatados adequadamente, para que os algoritmos de aprendizado possam ser aplicados; esta etapa é denominada de transformação. Segundo Fayyad *et al.* (1996), esta fase pode contemplar: (1) conversão de dados nominais, ou em forma de códigos, para números inteiros; (2) construção ou derivação de novos atributos; (3) redução da distribuição de valores possíveis para cada atributo; (4) transformação de atributos contínuos em categóricos, quando for exigência do algoritmo de MD ou para melhorar a compreensão do conhecimento descoberto; (5) seleção de atributos relevantes para a tarefa em questão.

Na próxima etapa, a mineração dos dados, selecionam-se a tarefa e o algoritmo de MD, tendo em vista o objetivo do processo de *KDD*.

A última etapa do processo de descoberta de conhecimento é a de interpretação e avaliação dos resultados obtidos.

Existem várias abordagens para avaliar o processo de extração de conhecimento, dentre elas: exatidão dos resultados (taxa de acerto ou erro), facilidade de compreensão do conhecimento extraído e eficiência (tempo de processamento). Quando se trata da tarefa de classificação, grande parte da literatura indica o uso da exatidão (taxa de erro) como principal meio para avaliar as técnicas de *KDD* (FREITAS, 2000).

Os dados disponibilizados para realizar a extração de conhecimento são divididos em dois grupos: conjunto de treinamento e conjunto de teste. O algoritmo utiliza o conjunto de treinamento para descobrir regras de classificação e o desempenho para estas regras é medido por meio da aplicação destas regras sobre os dados do conjunto de teste.

A seguir, faz-se uma breve descrição das abordagens anteriormente citadas (ROMÃO, 2002):

- Exatidão: é indicada pela proporção de classificações realizadas corretamente. Pode ser calculada considerando os dados de treinamento ou

os dados de teste. Em geral, a exatidão é maior sobre o conjunto de treinamento, por causa do fato de se utilizar os mesmos dados que foram considerados no treinamento. Portanto, a exatidão obtida para os dados de teste é considerada mais importante, uma vez que eles não foram utilizados durante o treinamento.

- Facilidade de compreensão da classificação: favorece a credibilidade no sistema por parte do usuário.
- Eficiência: relativa ao tempo despendido para o aprendizado e para a classificação de um novo exemplo (tempo de processamento).

Caso o conhecimento gerado não seja satisfatório, o processo de extração de conhecimento pode ser recommençado, conforme pode ser observado na Figura 18, modificando o conjunto de dados selecionado ou alterando os parâmetros utilizados na ferramenta de MD, por exemplo.

2.4.2 Mineração de dados

Berry e Linoff (1997, p.5) definem mineração de dados como sendo “a exploração e a análise, por meio automático ou semi-automático, de grandes quantidades de dados, a fim de descobrir padrões e regras significativos”.

A mineração de dados pode ser considerada a principal fase do processo de KDD, já que esta fase é exclusivamente responsável pelo algoritmo minerador, o qual, diante da tarefa especificada, busca extrair o conhecimento implícito e potencialmente útil dos dados (BIGUS, 1996).

De acordo com Dias (2001), os principais objetivos da MD são identificar relacionamentos entre dados e fornecer subsídios para a elaboração de previsão de tendências futuras com base em situações anteriores. Os resultados da mineração de dados podem ser usados para o gerenciamento de informação, processamento de pedidos de informação, tomada de decisão, controle de processo e muitas outras aplicações.

Segundo Thuraisingham (1999), a mineração de dados pode ser realizada a partir de três abordagens:

1. *Top-down*: são sugeridas hipóteses acerca da relação entre os dados, as quais são testadas a partir do banco de dados, para se verificar se elas são válidas ou não. Caso não sejam, faz-se uma revisão das hipóteses, lançando novas hipóteses. Pode-se dizer que se trata de um processo de verificação.
2. *Bottom-up*: Os dados são analisados e extraem-se padrões. Não existe uma hipótese a ser testada. Pode ser supervisionado, quando se possui uma idéia do que é procurado, ou não supervisionado, na ausência de pressupostos iniciais.
3. Abordagem híbrida: combinação das duas abordagens anteriores, a partir da qual a análise dos dados e extração de padrões podem gerar hipóteses a serem validadas.

2.4.2.1 Tarefas e técnicas de mineração de dados

O processo de descobrir padrões e tendências em conjunto de dados envolve o uso de diversas tarefas e técnicas. Cada tipo de tarefa corresponde aos diferentes objetivos de quem está analisando os dados (HAND *et al.*, 2001). Pode-se entender tarefa como a classe do problema. As técnicas são os algoritmos para solucionar o problema proposto nas tarefas.

Apesar da mineração de dados ser utilizada para uma grande variedade de tarefas, a partir de uma visão mais global, pode-se dizer que os objetivos das tarefas de mineração de dados podem ser a predição ou a descrição (FAYYAD e SIMOUDIS, 1997). A predição consiste em usar um conjunto de dados (exemplos ou experiências passadas com repostas conhecidas) para prognosticar valores futuros (desconhecidos) de outra variável. A descrição consiste em encontrar modelos humanamente interpretáveis para expor os dados e se obter informação destes.

Os principais tipos de tarefas de predição são classificação e regressão e os principais tipos de tarefas de descrição são segmentação, sumarização e associação, as quais são descritas a seguir.

1) Classificação

A classificação consiste em construir um modelo que possa ser aplicado a dados não-classificados, de modo a classificá-los (BERRY e LINOFF, 1997). Segundo os autores, a classificação consiste em analisar as características dos dados recém apresentados e atribuí-los a uma classe predeterminada. Cada dado é examinado e classificado segundo uma classe predefinida, ou seja, usa-se um conjunto de exemplos pré-classificados para desenvolver um modelo que pode classificar a base de dados empregada.

Existem diversas técnicas utilizadas para classificação: árvores de decisão, regressão logística, raciocínio baseado em casos, redes neurais artificiais e algoritmos genéticos.

2) Estimativa ou Regressão

O objetivo da estimativa é a construção de um modelo que permitirá que o valor de uma variável seja estimado a partir de valores conhecidos de outras variáveis. Na regressão, a variável a ser estimada é quantitativa (valores contínuos) e, na classificação, ela é categórica (valores discretos) (HAND *et al.*, 2001).

Estimativa é aprender a função que mapeia um item de dado para uma variável de predição real estimada (FAYYAD *et al.*, 1996).

As técnicas de mineração utilizadas para regressão são: árvores de decisão, regressão linear, análise de discriminante e redes neurais artificiais.

3) Segmentação ou *clustering*

A segmentação é um processo que consiste em agrupar dados similares baseado em valores de alguns de seus atributos. O objetivo é dividir os dados em grupos homogêneos, de modo que dados semelhantes sejam postos em um mesmo grupo (HAND *et al.*, 2001).

Berry e Linoff (1997) afirmam que a segmentação dividirá um conjunto de dados heterogêneo em um número de subgrupos mais homogêneos ou *clusters*.

De acordo com Fayyad *et al.* (1996), estes subgrupos ou *clusters* devem ser determinados a partir dos dados, contrariamente ao que ocorre na classificação

quando as classes são predefinidas. *Clusters* são definidos a partir do encontro de agrupamentos naturais de dados baseado em similaridades métricas ou modelos de probabilidade.

As técnicas utilizadas nesta tarefa são: análise multivariada (estatística), raciocínio baseado em casos, redes neurais artificiais e algoritmos genéticos.

4) Sumarização

Segundo Fayyad *et al.* (1996), a sumarização proporciona uma descrição compacta para um subconjunto de dados. Métodos mais sofisticados envolvem regras de sumarização, técnicas de visualização multivariada e relacionamento funcional entre variáveis. A sumarização é freqüentemente utilizada na análise exploratória interativa de dados e na geração de relatórios automatizados.

5) Associação

A tarefa de associação identifica quais eventos ocorrem conjuntamente. O exemplo típico é a determinação de quais produtos são colocados juntos em um carrinho de supermercado (BERRY e LINOFF, 1997). O objetivo é identificar associação entre registros de dados que estão relacionados. Para este tipo de tarefa se utiliza a técnica de descoberta de regras de associação.

As tarefas de mineração de dados, descritas anteriormente, e alguns exemplos de sua aplicação são apresentadas de forma resumida no Quadro 4.

Como neste trabalho, na tarefa de classificação para mineração dos dados, será usada a técnica de árvore de decisão, sobre a qual são tecidas algumas considerações a seguir.

2.4.2.1.1 Árvores de decisão

As árvores de decisão são usadas na mineração direta, particularmente para classificação. Elas dividem o conjunto de dados em subconjuntos, de modo que cada um deles passe a ser descrito por uma regra (BERRY e LINOFF, 1997).

Tarefa	Descrição	Exemplos
Classificação	Constrói um modelo que possa ser aplicado a dados não-classificados a fim de categorizá-los em classes.	<ul style="list-style-type: none"> • Classificar pedidos de crédito • Esclarecer pedidos de seguros fraudulentos • Identificar a melhor forma de tratamento de um paciente
Estimativa (ou Regressão)	Usada para definir um valor para alguma variável contínua desconhecida.	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar o número de filhos ou a renda total de uma família • Estimar o valor em tempo de vida de um cliente • Estimar a probabilidade de que um paciente morrerá baseando-se nos resultados de diagnósticos médicos • Prever a demanda de um consumidor por um novo produto
Associação	Usada para determinar quais itens tendem a coocorrerem (serem adquiridos juntos) em uma mesma transação.	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar quais os produtos que costumam ser colocados juntos em um carrinho de supermercado
Classificação	Constrói um modelo de algum tipo que possa ser aplicado a dados não-classificados a fim de categorizá-los em classes.	<ul style="list-style-type: none"> • Agrupar clientes por região do país • Agrupar clientes com comportamento de compra similar • Agrupar seções de usuários <i>Web</i> para prever comportamento futuro de usuários
Sumarização	Envolve métodos para encontrar uma descrição compacta para um subconjunto de dados.	<ul style="list-style-type: none"> • Tabular o significado e desvios padrão para todos os itens dados • Derivar regras de síntese

Quadro 4 - Tarefas realizadas por técnicas de mineração de dados

Fonte: Dias (2001)

Uma árvore de decisão é composta por nó raiz, nós de decisão internos e nós folhas terminais, cujas associações geram regras, conforme pode ser observado na Figura 19.

A elaboração de uma árvore de decisão se inicia pela seleção de um atributo para a colocação na posição raiz, abrindo-se um ramo para cada valor possível que este atributo possa receber. Cada nó de decisão implementa um teste com saídas que indicam o ramo. Desse modo, divide-se o conjunto de exemplos em subconjuntos, um para cada valor do atributo. Para cada entrada, em cada nó, um teste é aplicado e um dos ramos é selecionado em função da saída. Este processo se inicia no nó

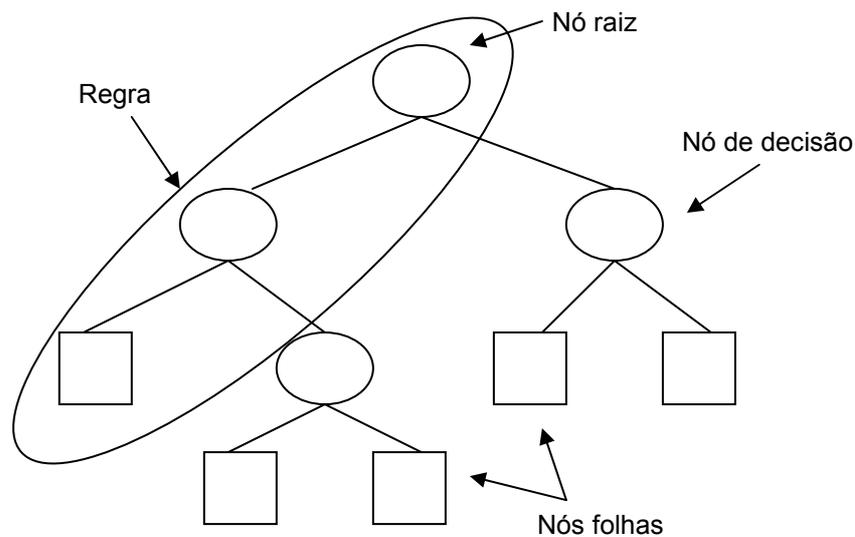


Figura 19 - Componentes de uma árvore de decisão

raiz e é repetido recursivamente até alcançar o nó folha, o qual indica o valor da saída ou classe. Existe apenas um caminho do nó raiz ao nó folha (ALPAYDIN, 2004; WITTEN e FRANK, 2005). A Figura 20 exemplifica o processo de construção de uma árvore de decisão a partir de um conjunto de dados.

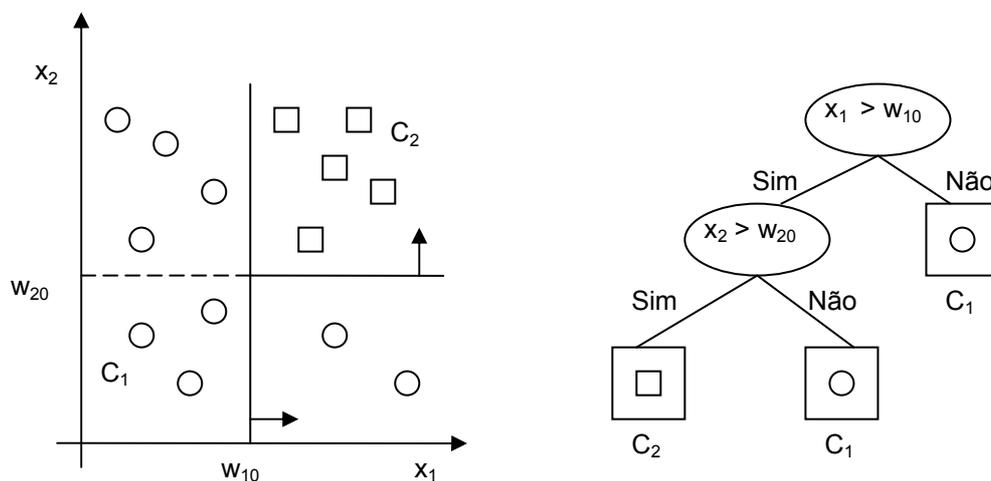


Figura 20 - Conjunto de dados e a respectiva árvore de decisão

Fonte: Alpaydin (2004)

Existem diferentes algoritmos para se fazer a seleção do atributo que será o nó raiz, mas a meta de todos eles é sempre a de escolher o atributo que melhor discriminará as classes (BERRY e LINOFF, 1997).

Uma das formas de seleção do atributo raiz é realizada a partir do ganho de informação. Associada com o nó de uma árvore, o ganho de informação representa a expectativa sobre a informação necessária para especificar a classificação do exemplo que chega ao nó. Calcula-se o ganho de informação para cada um dos atributos e escolhe-se o atributo que ganha mais informação para fazer a divisão, ou seja, ser o nó raiz (WITTEN e FRANK, 2005).

Uma vantagem da árvore de decisão é a interpretabilidade, ou seja, a árvore pode ser convertida em um conjunto de afirmações SE-ENTÃO que são facilmente entendidas (ALPAYDIN, 2004). Elas tomam a forma de regras explícitas e isto auxilia as pessoas a avaliarem os resultados, identificando os atributos-chave do processo (BERRY e LINOFF, 1997). Por esta razão ela é muito popular (BERRY e LINOFF, 1997; ALPAYDIN, 2004).

Existe uma variedade de algoritmos para construção de uma árvore de decisão. Os mais populares são o CART, CHAID e o C4.5 (BERRY e LINOFF, 1997), descritos a seguir.

- CART (*Classification and Regression Trees*) foi publicado por Brimen *et al.* (1984) *apud* Berry e Linoff (1997). É o método mais popular de se construir árvores de decisões binárias. O algoritmo se baseia em um arquivo de treinamento com dados previamente classificados. Em cada nó, os casos são separados em função de apenas um atributo. O atributo a ser testado num nó é aquele que gera grupos com a menor diversidade, ou seja, no qual somente uma classe é predominante.
- CHAID (*Chi-squared Automatic Induction*), publicado por Hartigan (1975) *apud* Berry e Linoff (1997), é o mais antigo dos algoritmos populares e também é o mais usado nos pacotes estatísticos, como, por exemplo, SPSS e SAS.
- C 4.5, publicado por Quinlan (1993) *apud* Berry e Linoff (1997), este algoritmo produz árvores com número de ramos variável. Cada valor do atributo gera um ramo. A entropia ou ganho de informação tem prevalecido como forma de escolha do atributo a ser testado em um nó. A partição do espaço de características se inicia pelo nó raiz e continua para os nós subseqüentes da mesma maneira, ou seja, escolhendo-se em cada nó o melhor atributo para a

divisão, até que um atributo assuma um único valor. Neste caso, ele será rotulado como nó folha (WITTEN e FRANK, 2005).

2.4.2.2 Seleção de atributos

O processo de seleção de atributos é uma forma de reduzir-se a dimensionalidade do conjunto de dados. O termo dimensionalidade é atribuído ao número de características de uma representação de padrões. As três principais razões para que a dimensionalidade seja a menor possível são: (a) rapidez na classificação; (b) menor memória de armazenamento; (c) quando o conjunto de treinamento não for muito grande, o problema da dimensionalidade pode ser evitado, usando-se um número reduzido de atributos (JOHNSON e WICHEN, 1982; FUKUNAGA, 1990).

Para cada problema, deve existir um conjunto de valores que represente o mais fielmente possível o estado real que se deseja classificar ou inferir sobre. Portanto, para que uma rede neural artificial possa interpolar uma função o mais confiável possível, devem-se definir suas variáveis e representá-las no vetor de entrada da rede neural artificial, com os respectivos valores desejados de saída (HIRAMATSU, 1997).

Sob a ótica da mineração de dados, o processo de seleção de atributos dá prioridade aos dados que beneficiarão a extração de regras, reduzindo a dimensionalidade dos dados, diminuindo o tamanho do espaço de hipóteses e permitindo ao algoritmo operar com mais eficiência. Em alguns casos, o processo de seleção de atributos pode melhorar a exatidão do esquema de classificação e, em outros, o resultado pode ser mais compacto e a representação do conceito aprendido pode ser facilmente interpretada. A seleção de atributos envolve a combinação de busca com avaliação da utilidade dos atributos (HALL e HOLMES, 2000).

A seleção de atributos analisa o conjunto, retendo informações discriminatórias e eliminando as mais redundantes. Isso significa que um conjunto menor é derivado do conjunto original de atributos, e fica mais eficiente em termos de exigências de armazenagem e tempo de processamento, eventualmente sem perda de informações (RAUBER, 1997).

Existem diversas abordagens para selecionar os atributos, dentre elas *Information Gain Attribute Ranking*, Qui-quadrado e a heurística *Correlation-based Feature Selection* (CFS) em conjunto com o método de busca *best-first*, as quais foram utilizadas no trabalho e descritas a seguir.

Information Gain Attribute Ranking é uma técnica que avalia o valor de um atributo individualmente por meio da medição do ganho de informação através da classe (WITTEN e FRANK, 2005). Seja A um atributo de uma base de dados e C o seu conjunto de classes. O cálculo da entropia do atributo classe antes e depois de observado o atributo A é dado pelas equações (24) e (25), respectivamente.

$$E(C) = -\sum_{c \in C} p(c) \log_2 p(c) \quad (24)$$

Sendo que $p(c)$ é a probabilidade de a classe c ocorrer na base de dados.

$$E(C|A) = -\sum_{a \in A} p(a) \sum_{c \in C} p(c|a) \log_2 p(c|a) \quad (25)$$

Na qual $p(a)$ é a probabilidade de o valor a ocorrer na base de dados e $p(c|a)$ a probabilidade de a classe c ocorrer, dado que o valor de atributo a ocorreu.

Ganho de Informação (*Information Gain*) equivale à redução causada na entropia de C por causa da informação adicional fornecida pelo atributo A . Na técnica *Information Gain Attribute Ranking*, cada atributo A_i da base de dados é associado a um valor correspondente ao ganho de informação (GI), calculado pela Equação (26).

$$GI_i = E(C) - E(C|A_i) \quad (26)$$

Essa relação indica a redução na incerteza (ganho de informação) de C pelo conhecimento de A , indicando quanta informação que o atributo A traz para a determinação da classe C . Intuitivamente, os atributos mais relevantes serão aqueles mais informativos.

O Método de avaliação *Qui-quadrado* consiste em avaliar o valor de um atributo pelo cálculo da estatística Qui-quadrado com relação à classe.

Biesiada *et al.* (2005) afirmam que medidas estatísticas de dependência entre variáveis aleatórias podem ser uma alternativa às medidas baseadas na teoria da informação para a seleção de atributos. Uma dessas medidas é a estatística do Qui-quadrado (χ^2), a qual é muito eficiente para avaliar a associação existente entre variáveis (ou valores) discretas.

O princípio dessa estatística é comparar as diferenças entre as freqüências observadas e esperadas. Para a seleção de atributos, calcula-se a medida χ^2 para o atributo que se deseja avaliar com respeito à classe do problema, segundo a Equação (27).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^k \frac{(A_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \right) \quad (27)$$

Sendo:

m = número de valores que o atributo pode assumir;

k = número de valores que a classe pode assumir;

A_{ij} = freqüência observada. Neste caso, o número de dados (instâncias) em que o atributo assume o i -ésimo valor possível para esse atributo e o j -ésimo valor possível para a classe;

E_{ij} = freqüência esperada.

A freqüência esperada é definida por:

$$E_{ij} = \frac{R_i \cdot C_j}{N} \quad (28)$$

Na qual:

R_i = número de instâncias que possuem o i -ésimo valor possível para o atributo;

C_j = número de instâncias com o j -ésimo valor possível para a classe;

N = número total de instâncias (dados).

Quanto maior o valor da medida, maior será a dependência entre o atributo e a classe.

No método CFS, a avaliação dos subconjuntos leva em consideração a capacidade de discriminação dos atributos com relação às classes e o grau de correlação entre eles. Quanto maior for a correlação dos atributos de um subconjunto com o atributo classe, e menor a correlação entre eles, maior é o valor atribuído ao subconjunto (WITTEN e FRANK, 2005).

2.4.2.3 Waikato Environment for Knowledge Analysis - WEKA

Waikato Environment for Knowledge Analysis (Weka) é um pacote de algoritmos de aprendizagem e de ferramentas de pré-processamento de dados. Ele proporciona amplo suporte para todo processo de mineração de dados, incluindo preparação dos dados de entrada, avaliação estatística da aprendizagem e visualização dos dados de entrada e do resultado da aprendizagem (WITTEN e FRANK, 2005). Foi desenvolvido na Universidade Waikato (Nova Zelândia) e sua licença é *General Public Licence* (GPL), o que significa que é um programa de distribuição e difusão livre.

O Weka possui uma variedade de ferramentas de pré-processamento e técnicas para todos os problemas padrões de mineração de dados: regressão, classificação, *clustering* e busca por regras de associação e seleção de atributos (WITTEN e FRANK, 2005).

O Weka requer que os dados a serem explorados pelos algoritmos estejam em um formato especial de arquivo texto denominado *arff* (*attribute relation file format*). Esse arquivo contém, basicamente, a definição do domínio dos atributos (inclusive a classe, que é o último atributo) e uma seqüência de instâncias representando os dados de treinamento. A estrutura desse arquivo é ilustrada na Figura 21.

Um arquivo no formato *arff* é um arquivo de texto puro, composto de três partes (MORATE, 2006):

- 1) Cabeçário: a primeira linha do arquivo deve ser igual a @relation seguida de uma palavra-chave que identifique a tarefa ou a relação objeto de estudo.
- 2) Declaração de atributos: conjunto de linhas onde cada uma se inicia com @attribute seguida do nome do atributo e do seu tipo, que pode ser basicamente nominal (neste caso, as alternativas devem aparecer como uma lista, separadas por vírgula e cercadas por chaves) ou numérico (se for número real, o nome

deve ser seguido da palavra *numeric*, se for número inteiro, *interger*). Geralmente, em uma tarefa de classificação supervisionada, quando se conhece as classes das instâncias usadas para treinamento, o último atributo é a classe para as instâncias.

- 3) Seção de dados: depois de uma linha contendo **@data**, cada linha deve corresponder a uma instância e deve ter valores separados por vírgula correspondentes e na mesma ordem dos atributos da seção Declaração de Atributos.

```
%arquivo arff para dados Titanic

@relation titanic

@attribute classe {1a,2a,3a,tripulacao}
@attribute idade {adulto,crianca}
@attribute sexo {masculino,feminino}
@attribute sobrevivente {sim,nao}

@data
1a,adulto,masculino,sim
1a,adulto,feminino,sim
1a,crianca,masculino,sim
2a,adulto,masculino,sim
3a,crianca,masculino,nao
3a,crianca,feminino,sim
tripulacao,adulto,masculino,nao
...
```

Figura 21 - Estrutura de arquivo *arff*

Fonte: Adaptado de WEKA (2006)

O arquivo também pode conter linhas iniciadas com o sinal de percentagem (%), o que indica que as mesmas são apenas comentários e não serão processadas.

2.5 Considerações sobre a pesquisa bibliográfica

Fazendo uma análise sobre os aspectos apontados na revisão bibliográfica, pode-se concluir que são inúmeros os fatores que podem influenciar os níveis de produtividade que se obtém nos canteiros de obras. Esses fatores podem ter uma influência direta ou por meio de sua interrelação, neste caso, isoladamente, ela não é percebida, mas, quando os fatores atuam simultaneamente sobre o processo,

passam a ter grande influência. Este fato, por si só, já demonstra a complexidade de tratamento que deve ser dado à produtividade.

Duas ferramentas, com grande potencial para tratar este tipo de complexidade, são apresentadas: mineração de dados e redes neurais artificiais. Elas serão utilizadas para analisar os fatores que têm maior interferência nos índices de produtividade obtidos e para a elaboração do sistema de informação para prever a produtividade esperada frente a determinadas condições ambientais.

3 Procedimentos metodológicos

Neste capítulo se apresenta o método de pesquisa utilizado para realizar a presente pesquisa. É apresentada a classificação da pesquisa e o seu delineamento, a descrição geral das etapas do método de pesquisa, bem como as ferramentas empregadas para a coleta de dados.

3.1 Classificação da pesquisa

A forma de condução do processo investigativo conduzido no projeto pautou-se no **método dedutivo**, onde, segundo Marconi e Lakatos (2003), dadas as teorias ou leis aceitas, procede-se a aplicação das premissas numa situação específica de busca da obtenção dos resultados.

A pesquisa a ser realizada, quanto à sua natureza, pode ser classificada como **pesquisa aplicada**.

A pesquisa aplicada, por sua vez, apresenta muitos pontos de contato com a pesquisa pura, pois depende de suas descobertas e se enriquece com o seu desenvolvimento; todavia, tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e conseqüências práticas dos conhecimentos. Sua preocupação está menos voltada para o desenvolvimento de teorias de valor universal que para a aplicação imediata numa realidade circunstancial (GIL, 1999, p. 25).

Utilizando-se da classificação de Vergara (2004), a pesquisa quanto aos fins pode ser classificada como descritiva.

Vergara (2004) afirma que a **pesquisa descritiva** pode ser definida como a que revela características de determinada população ou de determinado fenômeno, podendo também estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza. Não tem compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação.

Na presente pesquisa, como método de procedimento de pesquisa, adotou-se o recurso de **levantamento**.

A unidade de análise considerada para este estudo, ou o elemento examinado para que o modelo pudesse ser delineado foi **a atividade**, conforme sugerido por Creswell (1994).

Merriam (1988) indica que a escolha do objeto de estudo seja pautada pelo método de amostragem **não-probabilístico e “proposital”**. À medida que o pesquisador objetiva desenvolver o discernimento e compreender o fenômeno sob investigação, o local de estudo escolhido deverá ser aquele com o qual o pesquisador tenha a possibilidade de obter maior informação e apreender mais elementos para análise.

A seleção da amostra é caracterizada por ser não-probabilística, selecionada pelo critério de acessibilidade e tipicidade. A seleção por acessibilidade, como explícito no próprio nome, é aquela que escolhe elementos pela facilidade de acesso. O critério de tipicidade é baseado na seleção de elementos que o pesquisador considera representativos do objeto-alvo (MERRIAM, 1988).

3.2 Delineamento da pesquisa

A pesquisa se iniciou com a identificação do tema, seguida pela definição da justificativa, da formulação do problema e da definição dos objetivos. Na seqüência, previu-se para a pesquisa a articulação de uma base conceitual vinculada à concepção do método e ao desenvolvimento da fundamentação teórica, que juntamente com o desenvolvimento da metodologia de pesquisa se constituiu no referencial para a elaboração do sistema de informação gerencial. Nas fases seguintes, houve a aplicação e a avaliação do sistema, a análise dos resultados, conclusões e proposições, e a formatação e apresentação do trabalho para ser avaliado academicamente.

A seguir, apresentam-se informações sobre a amostra do estudo, a forma de coleta de dados, aspectos relacionados a fator de conversão, o procedimento de tratamento de dados, a seleção de atributos empregada, a mineração de dados e o desenvolvimento do sistema para análise.

3.2.1 Amostra

A amostra para o desenvolvimento desta pesquisa é não-probabilística. Como mencionado na introdução, o escopo da pesquisa é limitado à atividade de elevação

de alvenaria em blocos cerâmico. Assim, os esforços foram concentrados em empreendimentos que estavam executando tal atividade e que, de preferência, encontravam-se em estágio inicial para permitir o acompanhamento da execução de vários pavimentos.

Ao todo, foram acompanhadas a execução de alvenaria de elevação de nove obras, cada uma delas executada por diferentes Empresas Construtoras de médio porte. Destas, cinco se localizavam na cidade de Florianópolis e quatro na cidade de Maringá. Com o objetivo de salvaguardar a identidade das Empresas Construtoras, em face de questões éticas, os nomes dos empreendimentos foram substituídos pelos códigos F1 a F5, relativas à cidade de Florianópolis, e M1 a M4, relativas à cidade de Maringá.

As obras acompanhadas se tratavam de edifícios de múltiplos pavimentos e foram executadas com estrutura reticulada em concreto armado; alvenaria de vedação com blocos cerâmicos assentados com argamassa mista pré-misturada, misturada ao cimento no canteiro de obras; revestimento interno e externo também em argamassa mista pré-misturada. Em nenhuma das obras acompanhadas, havia projeto de alvenaria. A execução da alvenaria se baseava no projeto executivo ou no projeto legal da obra.

3.2.2 Coleta de dados

Nesta fase de coleta de dados, utilizaram-se instrumentos de pesquisa documental e de estudo de campo, como:

- observação direta da produção e seu registro na forma de acompanhamento de obras;
- formulários aplicados à gerência dos canteiros de obra, visando a levantar dados acerca do processo de produção da alvenaria de vedação em blocos cerâmicos;
- questionário fechado, na forma de lista de verificação, aplicado à gerência da obra sobre as condições de segurança, saúde e vivência do canteiro de obras;
- entrevistas abertas com os profissionais de produção (pedreiros) que desenvolviam a tarefa;

- registros fotográficos;
- análise de documentos como padronizações, projetos e históricos de dados climatológicos.

O desenvolvimento dos instrumentos de pesquisa se pautou pelas recomendações de Marconi e Lakatos (2003), Gil (2002), Pádua (2004) e Lessa (2005) e Silva (2005).

3.2.2.1 Contato inicial e apresentação da pesquisa

O contato inicial, com o engenheiro responsável pela obra ou empresa, foi feito com o objetivo de apresentar o projeto de pesquisa, enfatizando seus objetivos, procedimentos e resultados esperados. Entende-se que é importante a compreensão, por parte da empresa/profissional, do conteúdo do trabalho a ser realizado, para que se possa ter a participação e colaboração no decorrer dele, bem como evitar o surgimento de expectativas em relação aos resultados do trabalho que não estariam condizentes com a atuação proposta.

A partir da aprovação para a participação na pesquisa, ocorreu a apresentação e a explicação dos objetivos da pesquisa ao mestre-de-obras e às equipes de produção. Esta apresentação e clarificação dos objetivos são extremamente importantes para a equipe, uma vez que se trata de medição do desempenho diário desses profissionais e, em geral, ocorre uma desconfiança sobre o real destino dos dados.

3.2.2.2 Coleta de dados por observação direta

Diariamente, o canteiro de obras era visitado, com o objetivo de se observar o processo de execução, registrar as ocorrências diárias e coletar os dados para o cálculo da produtividade. O procedimento de coleta utilizado foi baseado no método de apropriação de produtividade do serviço de alvenaria proposto por Carraro (1998) e Araújo (2000).

a) Coleta de homens-hora

O formulário de coleta dos homens-hora e das ocorrências diárias (Formulário A1), apresentado no Apêndice A, foi o instrumento usado para registrar informações diárias sobre a mão-de-obra. Ele contém, para cada funcionário envolvido no processo de produção de alvenaria (mão-de-obra direta, de apoio no pavimento e

apoio no térreo), dez campos referentes ao trabalho realizado diariamente. O seu preenchimento foi executado, registrando-se a data e o número de horas trabalhadas na linha e no campo da atividade realizada referente a cada funcionário, deixando claro por quanto tempo durante o dia se ocupou com cada tarefa.

Do mesmo modo que em Araújo (2000), atenção especial foi dada às anormalidades, ou seja, às situações que não fazem parte de um dia normal de trabalho, que, ao longo do dia, tenham sido expressivas para se explicar a variação da produtividade, indicando a data, a duração e o fato ocorrido. Assim, chuvas longas que atrapalham o serviço, falta de materiais que impossibilitam o trabalho dos funcionários, indisponibilidade do equipamento de transporte vertical ou qualquer outro acontecimento relevante foi registrado. Paralisações da equipe por um motivo qualquer somente foram registradas quando sua duração foi superior a 30 minutos (ARAÚJO, 2000).

b) Levantamento do serviço realizado

A planta baixa do(s) pavimento(s) em execução foi usada para registro do andamento do serviço de alvenaria. Retiraram-se todas as informações sobre dimensões e ambientes, permanecendo, deste modo, apenas as paredes do projeto, as quais foram nomeadas para facilitar o trabalho de cálculo das quantidades executadas. Utilizou-se como critério de atribuição de referência para paredes externas a letra “e” associada a um número seqüencial, por exemplo: e1, e2, e3. Para as paredes internas, a letra empregada foi a “i”, por exemplo: i1, i2, i3. As paredes foram nomeadas de forma que um nome represente sempre uma única parede. A seqüência de nomeação seguiu prioritariamente a seguinte ordem, tomando como base a leitura do projeto: esquerda para direita e de cima para baixo. Tal numeração foi interrompida apenas no término de uma parede ou na interseção com outra parede. Para facilitar as anotações, as plantas baixas foram reproduzidas em formato A3.

Na planta, foram anotados os dados sobre a data de execução e sobre o andamento das principais tarefas do serviço de alvenaria: marcação, elevação, vergas e fixação. Neste procedimento, utilizou-se caneta colorida, uma cor para cada dia de trabalho. A data e o dia da semana foram anotados na lateral da planta, formando uma legenda.

A produção diária de elevação foi anotada ao lado de cada parede na forma de número de fiadas executadas no dia. Escrevia-se, acima ou abaixo das linhas representativas das paredes, o número de fiadas executadas e, na lateral da folha a data e o dia em que o serviço ocorreu. O sistema de cores é o mesmo descrito para a marcação. Caso uma fiada não houvesse sido completamente executada, registrava-se o número de fiadas completas, mais o número de blocos assentados na última fiada, precedido do sinal de adição (exemplo: 5 + 6 bls). No caso em que na execução se utilizava a quebra de blocos, anotava-se o número de fiadas com blocos inteiros e a fração do bloco utilizado (exemplo: 6 1/2, 4 4/3).

A execução das vergas/contravergas era registrada, traçando-se uma linha contínua acima do desenho da esquadria em que esta foi executada, utilizando-se a caneta da cor do dia.

Caso a equipe no dia houvesse desenvolvido também outras atividades (por exemplo: chapisco ou furação de pilares para colocação dos ferros-cabelo), o tempo destinado a estas atividades era registrado no verso da planta.

c) Levantamento de quantidades

A unidade de apropriação da produção, isto é, do serviço realizado, é metro quadrado de alvenaria líquida. O método exige uma quantificação prévia dos comprimentos das paredes a serem estudadas na obra e das aberturas existentes em cada uma das paredes. Tal quantificação foi realizada, parede a parede, com o auxílio de planilha eletrônica. Esse nível de detalhamento permitiu calcular, com precisão, a produção diária de alvenaria (m^2 de elevação e ml ou m^2 de marcação) a partir da inserção do número de fiadas executadas em cada uma das paredes durante o período de trabalho.

3.2.2.3 Coleta de dados sobre a obra e o processo

A fim de coletar dados gerais sobre a obra e específicas sobre o processo de execução da alvenaria de elevação utilizado pela empresa, aplicou-se o formulário denominado Formulário A2, apresentado no Apêndice B. O seu preenchimento foi realizado a partir de observações do serviço, conversas com o pessoal e/ou gerência da obra e por quantificação realizada sobre os projetos (como exemplo, a densidade de alvenaria interna).

A caracterização das condições do meio ambiente de trabalho foi realizada a partir de um diagnóstico das condições do canteiro de obra onde estava sendo realizada a pesquisa por meio da aplicação de uma lista de verificação, proposta por Saurin (1997) e Saurin e Formoso (1998), apresentada no Anexo A. A lista de verificação permite atribuir uma nota às condições do canteiro em função das condições observadas.

A lista permitiu uma análise qualitativa das condições do canteiro de obras. Os itens observados pela lista são: instalações provisórias, segurança na obra, sistema de movimentação e armazenagem de materiais.

3.2.2.4 Coleta de dados sobre os trabalhadores

Dados para análise das características pessoais foram obtidos por meio de entrevista aberta, a qual abordava questões de cunho pessoal e de qualificação, cujo teor é apresentado no Formulário A3, no Apêndice C.

Para se avaliar a satisfação dos operários envolvidos com o processo de produção utilizou-se um formulário fechado, o qual questiona o nível de satisfação com a profissão e a empresa. O formulário foi desenvolvido tendo como base o trabalho de Lima (1995) e é apresentado no Apêndice D.

3.2.2.5 Dados climatológicos

Dados diários para análise da influência de aspectos climatológicos sobre a produtividade foram obtidos por meio de duas fontes. Para a cidade de Florianópolis, os dados foram fornecidos pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM) e, para Maringá, pela Estação Climatológica da Universidade Estadual de Maringá. Os dados obtidos foram: temperatura média diária, precipitação média diária e umidade relativa do ar.

3.2.3 Tratamento preliminar dos dados

Os dados coletados sofreram um processo de cálculo e tabulação, de forma a comporem uma única base de dados em forma de tabela. Posteriormente, os dados foram tratados, de modo a se tornarem adequados à aplicação de técnicas de

Mineração de Dados (arquivo arff) e de redes neurais artificiais (arquivo extensão cvs).

Para uso em mineração de dados, cada um dos atributos foi subdividido em categorias, seja correspondente a uma faixa de valores numéricos ou uma expressão. Os dados para aplicação de redes neurais artificiais foram normalizados entre os valores de -1 a 1.

Para cada dia de trabalho analisado, procedeu-se o cálculo da Razão Unitária de Produção (RUP) no serviço de elevação, que vem a ser a quantidade de Homens-hora dedicada exclusivamente ao serviço de elevação, e o levantamento dos seguintes atributos (fatores) sob os quais tal índice foi obtido:

- cidade: indica a cidade onde ocorreu a apropriação dos dados;
- obra: referência a obra analisada;
- pavimento: usado como indicador do nível de repetição;
- dia da semana: informa o dia da semana em que foi realizada a coleta do dado;
- verga: caracteriza o tipo de execução de verga/contraverga utilizado na obra;
- equipe: indica a composição da equipe de trabalho por meio da relação pedreiro/auxiliar;
- satisfação: valor indicativo do nível de satisfação do pedreiro com o meio ambiente e condições de trabalho e a profissão em si;
- idade: informa a idade média dos pedreiros que atuam na equipe;
- experiência: indica o tempo médio de experiência na profissão dos componentes da equipe;
- pagamento: caracteriza a forma de pagamento adotado pela Empresa Construtora ou Empreiteira;
- mão-de-obra: informa o modo de contratação da mão-de-obra;
- controle: indica o nível de controle do serviço alvenaria adotado pela empresa;
- encarregado: informa sobre a existência de encarregado do serviço de alvenaria na obra;
- densidade de paredes: relação entre a área de alvenaria do pavimento e a área do pavimento;

- canteiro: valor indicativo das condições do canteiro de obra;
- comprimento: indicador do valor médio do comprimento das paredes executadas no dia;
- altura: valor médio da altura das paredes executadas no decorrer do dia;
- andaime: informa sobre o uso de andaime para a execução da alvenaria;
- interna-externa: indica se as paredes executadas no dia de trabalho foram somente internas, somente externas ou se internas e externas;
- espessuras: informa sobre a quantidade de espessuras de paredes executadas no dia de trabalho;
- comprimento de corte: informa o valor percentual das paredes em que foi necessário realizar corte de blocos em relação ao comprimento total de paredes do pavimento tipo;
- área circular: informa o valor percentual de área de alvenaria circular em relação à área total de paredes do pavimento tipo;
- junta vertical: indica a existência de junta vertical preenchida com argamassa;
- pessoal administrativo: é a relação entre o número de homens-horas mensal de pessoal administrativo no canteiro e a área de construção. É usado como um indicativo do nível de gerenciamento adotado no canteiro de obras.
- chuva: informa sobre a ocorrência e intensidade de chuvas;
- temperatura: indica a temperatura média diária;
- umidade: apresenta o valor médio da umidade relativa do ar.

3.2.4 Fator de conversão

Existem duas diferenças expressivas com relação à tecnologia do processo de execução das paredes de vedação realizadas nas obras das cidades de Maringá e Florianópolis. A primeira diferença é com relação à forma de ligação vertical entre estrutura e alvenaria utilizadas. Nas obras acompanhadas na cidade de Maringá, essa ligação foi realizada mediante inserção de ferro-cabelo nos pilares a cada duas fiadas de alvenaria e, nas obras da cidade de Florianópolis, essa ligação foi realizada somente por meio de argamassa. A outra diferença diz respeito ao tamanho dos blocos cerâmicos. Os blocos cerâmicos utilizados em todas as obras da cidade de Florianópolis possuíam dimensões nominais (20x20) cm e os utilizados em todas as obras de Maringá eram de dimensões nominais (19x14) cm, ou seja,

possuíam área de face 33,5% menor que os da cidade de Florianópolis. Para realização da análise conjunta dos dados de ambas as cidades, tornou-se necessário minimizar as influências destes dois fatores na análise.

Para minimização da influência na produtividade por causa da inserção do ferrocabeço, procedeu-se a diminuição do tempo gasto pelos operários nesta operação, uma vez que este tempo foi registrado durante o processo de coleta de dados, restando, portanto, o tempo gasto exclusivamente na atividade de execução de paredes.

Souza (1996) afirma que o esforço para completar uma unidade de tarefa pode variar em função de inúmeras razões. O autor cita que, no caso da alvenaria, diferentes tipos de componentes podem implicar em diferentes esforços para se produzir um metro quadrado de parede.

No caso dos dados de produtividade das cidades de Maringá e Florianópolis, quando se analisou a correlação entre os fatores, observou-se que dois deles possuem máxima correlação: tipo de bloco e forma de pagamento. A alvenaria produzida na cidade de Florianópolis foi executada com blocos cerâmicos de (20x20) cm e os profissionais foram pagos por produção. Na alvenaria executada na cidade de Maringá, usaram-se blocos (19x14) cm e a forma de remuneração adotada foi salário fixo mensal.

Para se quantificar qual a influência que cada um desses fatores possuía na produtividade, buscou-se apropriar dados em situações inversas, ou seja, alvenaria executada com blocos cerâmicos (19x14) cm e remuneração por produção na cidade de Florianópolis e execução de alvenaria com blocos (20x20) cm e remuneração por salário mensal na cidade de Maringá. Na cidade de Florianópolis, não foi encontrada nenhuma empresa que utilizava blocos cerâmicos (19x14) cm em seu processo de produção. Na cidade de Maringá, encontrou-se uma empresa que já havia executado alvenaria com blocos (20x20) cm.

A autora já havia apropriado indicadores de produtividade em uma obra executada por esta empresa, a qual foi executada na condição padrão da cidade de Maringá, blocos cerâmicos (19x14) cm e pagamento por salário mensal. No entanto, a empresa já havia executado uma obra com blocos cerâmicos (20x20) cm, utilizando-

se da mesma empreiteira de mão-de-obra que realizou a obra acompanhada nesta pesquisa. Nesta obra, a gerência havia feito o monitoramento diário da produtividade dos pedreiros e cedeu os dados apropriados.

Para se considerar a influência do atributo dimensões do bloco ao se analisar conjuntamente os dados das cidades de Maringá e Florianópolis, adotou-se a cidade de Florianópolis como condição padrão. Com base nos dados de produtividade das duas obras citadas anteriormente, calculou-se um fator de conversão para transformar os dados obtidos na cidade de Maringá em equivalentes do padrão.

De acordo com Souza (1996), o fator de conversão que permite tal transformação é expresso pela Equação (29):

$$FC_j = RUP_j / RUP_{PADRÃO} \quad (29)$$

Sendo:

FC_j – fator de conversão para a condição j ;

RUP_j – razão unitária de produção para a condição j ;

$RUP_{PADRÃO}$ – razão unitária para a condição padrão.

A partir desta definição, a quantidade equivalente pode ser calculada pela Equação (30):

$$\text{Saída padrão} = \text{saída}_j * FC_j \quad (30)$$

Na qual:

Saída padrão – quantidade equivalente sob condições padrão;

Saída_j – quantidade sob condição j .

Assim, o fator de conversão estima o quanto mais fácil (ou mais difícil) uma situação pode ser, por meio da apresentação da relação entre os esforços (expressos em Homens-hora) necessários para executar uma unidade em tal situação e na condição padrão (SOUZA, 1996).

Com base nas RUPs diárias médias apropriadas nas duas obras (Apêndice E) e na Equação (29), obteve-se um fator de conversão igual a 1,22. Dessa forma, ao

aplicar-se este fator de conversão aos dados da cidade de Maringá, foi possível unificar a base de dados, considerando como padrão o processo de produção das obras de Florianópolis (blocos cerâmicos (20x20) cm).

3.2.5 Seleção de atributos

Nesta fase da pesquisa, foi realizada uma seleção entre os atributos anteriormente citados com o objetivo de se encontrar um conjunto de dados que represente o mais fielmente possível o problema de pesquisa. Isso implica em extrair um conjunto de atributos de maior influência na variável estudada dando um certo grau de praticidade gerencial ao manejo do conjunto de dados de menor tamanho.

Para a seleção de atributos, utilizou-se conjuntamente dois métodos de avaliação individual, *Information Gain* e o Qui-quadrado, para gerar ranques de atributos e a heurística CFS em conjunto com o método de busca *best-first* para se gerar um conjunto de atributos mais significativos do problema.

3.2.6 Mineração de dados

Os dados obtidos nas fases anteriores foram usados para extração de conhecimento por meio da técnica de árvore de decisão, apresentada no Capítulo 2 deste trabalho. Empregou-se o algoritmo J48 disponibilizado pelo pacote computacional Weka. Elaborou-se três árvores de decisão, uma considerando conjuntamente os dados advindos das duas cidades, Florianópolis e Maringá, e uma para cada um dos conjuntos de dados organizados por cidade.

3.2.7 Desenvolvimento do sistema de informações gerenciais

Compreendeu a elaboração de um Sistema de Informações Gerenciais baseado em Redes neurais artificiais. Nessa etapa, foi apresentado o sistema desenvolvido e a sua experimentação aplicada ao serviço de alvenaria de elevação com blocos cerâmicos.

Para o desenvolvimento do sistema de informação, usou-se redes neurais artificiais de múltiplas camadas alimentadas adiante, treinadas com o algoritmo de retropropagação do erro (*error backpropagation*).

Na experimentação, adotou-se uma camada oculta na arquitetura da rede neural artificial, tendo como base o Teorema da Aproximação Universal (HAYKIN, 2001), que pode ser visto como um teorema existencial que fornece a justificativa matemática para a aproximação de uma função contínua arbitrária, em oposição à representação exata. Este teorema afirma que uma única camada oculta é suficiente para um *perceptron* de múltiplas camadas (MLP) computar uma aproximação uniforme para um dado conjunto de treinamento, representado pelo conjunto de entradas e de saída desejada.

A função de ativação deve ser necessariamente contínua e diferenciável. Neste estudo, foi empregado na camada oculta e na camada de saída a função de ativação não-linear do tipo tangente hiperbólica (*tansig*), descrita no item 2.3.3. A função assume um intervalo contínuo de valores entre -1 e 1 e é definida como uma função estritamente crescente, que exibe um balanceamento adequado entre comportamento linear e não-linear.

Para a avaliação do desempenho de generalização da rede neural artificial, adotou-se o Coeficiente Kappa associado ao percentual de acertos, obtidos a partir da matriz de confusão. Os dados disponíveis foram divididos em dois grupos, 80% para treinamento e 20% para teste, respeitando-se a proporcionalidade das classes na amostra.

Para definir-se a melhor topologia da rede neural artificial, variou-se o número de neurônios na camada oculta em busca do mais adequado. Utilizou-se como critério de parada do treinamento o número de 1000 iterações (épocas) ou o erro EQM igual a 0,2. Os parâmetros taxa de aprendizagem e coeficiente de momento foram fixados para a execução desses testes em 0,1 e 0,0, respectivamente.

Cada uma das experimentações com a rede neural artificial foi realizada 10 vezes, considerando-se a mediana dos resultados para a análise do desempenho. Posteriormente, realizou-se a poda da rede, a qual tem como objetivo buscar o número mínimo de atributos a serem considerados pela rede neural artificial e que resultem em melhor desempenho de generalização.

A poda da rede neural artificial foi realizada a partir do teste de poda no qual é suprimido (podado) um atributo do conjunto, dentre os considerados no treinamento

da rede neural artificial. Faz-se isto para cada um dos fatores, um a um. O sistema dá como resposta a matriz de confusão e o coeficiente Kappa. Se houverem melhores resultados que o já apresentado até o momento, criam-se novas bases de dados sem estas entradas (atributos) e procede-se o treinamento e o teste das novas redes neurais artificiais. O desempenho destas redes é comparado, passando-se então a conhecer qual o atributo que quando suprimido promove uma melhoria no desempenho. Tal fator passa a não mais ser considerado no conjunto de dados, simplificando posteriormente a análise e a coleta de dados, bem como indicando qual o menor conjunto de fatores que, quando considerado simultaneamente, geram a rede neural artificial com melhor capacidade de generalização.

Após ser definida a melhor topologia, procedeu-se a busca pela melhor combinação dos parâmetros de treinamento a ser aplicado aos dados. Inicialmente, fixou-se a taxa de aprendizagem (η) em 0,1 e variou-se a taxa de momento (α) em 0,0; 0,1; 0,5 e 0,9. Posteriormente, alterou-se a taxa de aprendizagem para 0,5 e variou-se a taxa de momento em 0,0; 0,1; 0,5 e 0,9. Por fim, fixou-se a taxa de aprendizagem em 0,9 e variou-se a taxa de momento em 0,0; 0,1; 0,5 e 0,9. A nomenclatura da rede, neste caso, é a letra indicativa da base de dados (F – Florianópolis, M- Maringá, G – Global) seguido pela letra P (parâmetros) e pelo valor indicativo da taxa de aprendizagem e do coeficiente de momento, tal como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de treinamento testados

RN	Taxa de aprendizagem	Coeficiente de momento
Letra P10	0,1	0,0
Letra P11		0,1
Letra P15		0,5
Letra P19		0,9
Letra P50	0,5	0,0
Letra P51		0,1
Letra P55		0,5
Letra P59		0,9
Letra P90	0,9	0,0
Letra P91		0,1
Letra P95		0,5
Letra P99		0,9

Como exemplo, pode-se citar a rede neural artificial Letra P51, a qual corresponde a rede aplicada ao conjunto de dados indicado pela letra (podendo ser F, M ou G), usando-se os seguintes parâmetros: taxa de aprendizagem igual a 0,5 (valor indicativo 5) e coeficiente de momento igual a 0,1 (valor indicativo 1).

3.3 Considerações sobre o capítulo 3

Este capítulo apresentou o método de pesquisa utilizado para a realização desta tese. A pesquisa, quanto à natureza, foi caracterizada como pesquisa aplicada. Quanto aos fins, classificou-se como pesquisa descritiva e utilizou-se como método de procedimento de pesquisa o levantamento, tendo como unidade de análise a atividade execução de alvenaria. Usou-se uma seleção de amostra não-probabilística, definida pelos critérios de acessibilidade e tipicidade.

Neste capítulo, definiu-se o protocolo de coleta de dados utilizado durante a pesquisa, o qual teve como objetivo desenvolver um banco de dados sobre produtividade dos recursos humanos na execução de alvenaria de elevação.

No final do capítulo, apresentou-se o processo usado para a seleção de atributos, mineração de dados e se explanou sobre o desenvolvimento do sistema de informações gerenciais.

4 Apresentação, experimentação e análise dos resultados

Neste capítulo se expõem os dados, as experimentações e a análise dos resultados. Apresenta-se as características fundamentais das obras que foram acompanhadas para o desenvolvimento deste trabalho, seguidas da exposição dos dados de produtividade e da forma original de categorização dos atributos, explica-se o tratamento realizado nos dados para seu uso em redes neurais artificiais e na mineração de dados, com a respectiva seleção de atributos. Posteriormente, apresenta-se a mineração de dados realizada por meio do uso da técnica de árvores de decisão e o sistema de informação gerencial desenvolvido, com as respectivas experimentações e análise de resultados.

4.1 Obras

Neste item, são apresentadas as principais características das obras, sendo abordados aspectos referentes à localização, às condições do canteiro de obras, à descrição do processo de execução da alvenaria, às ferramentas e aos equipamentos usados na execução, aos aspectos relacionados aos recursos humanos e à administração da produção.

4.1.1 Obra F1

Localizada na cidade de Florianópolis, em bairro central, constitui-se de um edifício residencial com nove pavimentos-tipo e um apartamento por andar. A construtora que executou a obra era certificada pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), portadora do Nível D na época. A obra é privada, incorporada pelo regime de empreitada. Foram coletados 27 dados diários de produtividade, acompanhando-se do primeiro ao nono pavimento-tipo. Cada dado diário corresponde a apropriação da produtividade obtida durante o dia pela equipe executora da alvenaria. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obra era bastante restrito, com pouco espaço disponível para a disposição das centrais de produção e almoxarifado. As condições de acesso eram

ruins, uma vez que o canteiro de obras situava-se em rua de movimento intenso. Os caminhões de materiais para alvenaria não tinham acesso ao interior da obra, necessitando sempre utilizar-se do duplo manuseio dos materiais. Nesse canteiro, observou-se que não havia, por parte da gerência da obra, o direcionamento de recursos materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, ele recebeu a nota 0,62.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com face (20x20) cm, na espessura de 12 cm, internamente e externamente, os quais pesavam 2,5 kg. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já pronta e a sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era igual a 2,07 m. A altura média era de 2,37m. Os ângulos das paredes eram em sua maioria retos (90°), com exceção de uma parede interna circular. A densidade de paredes no pavimento tipo (área de paredes/área do pavimento) era igual a 0,95. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 39% do total e as internas, 61%.

A forma de fixação estrutura/alvenaria empregada na face superior foi argamassa expansiva e na face alvenaria/pilar utilizou-se chapisco rolado associado à argamassa forte. O tipo de junta utilizado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais foram preenchidas com argamassa. As vergas e contravergas foram moldadas no local.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, dispostos no piso do pavimento. A sustentação provisória era andaime em madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, escantilhão improvisado em madeira, nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte dos materiais da alvenaria eram utilizados elevador de carga/passageiros e jericá.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia uma equipe direta fixa de dois pedreiros e um auxiliar. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com um operador de betoneira e um auxiliar. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 10 horas de segunda-feira à quinta-feira e de 4 horas na sexta-feira. Os funcionários não recebiam qualquer tipo de benefício, além dos estabelecidos por lei.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era subcontratada e a forma de pagamento era por produção. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de marcação e de elevação da alvenaria, bem como pela execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes, uma vez que a equipe de alvenaria somente iniciava os trabalhos no pavimento quando este estava completamente liberado. Com relação ao gerenciamento e disponibilidade de materiais, algumas vezes ocorriam problemas de desabastecimento por causa da sobrecarga de utilização do elevador de carga/pessoas, o que acabava por alterar o ritmo de produção da equipe.

4.1.2 Obra F2

A obra F2 era um edifício residencial com dez pavimentos-tipo e seis apartamentos por andar, localizado no Parque São Jorge, na cidade de Florianópolis. A construtora que executou a obra era certificada pelo PBQP-H, portadora do nível A na época. A obra é privada, incorporada pelo regime de empreitada. Nesta obra, acompanhou-se a execução de dez pavimentos-tipo, foram coletados 223 dados diários de produtividade. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obra era amplo, com espaço suficiente para a disposição das centrais de produção, almoxarifado, administração, refeitório e alojamento. As condições de acesso eram boas e por ruas com baixo movimento de veículos. Os caminhões de materiais para alvenaria tinham facilidade de acesso ao interior da obra. A gerência

da obra direcionava seus recursos materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a obra recebeu a nota 0,73.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com face (20x20) cm, nas espessuras de 10 e 12 cm, internamente e 20 cm externamente, os quais pesavam 2,2 kg, 2,5 kg e 3,2 kg, respectivamente. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal, com argamassa de cal e areia adquirida já pronta e a sua finalização era realizada em uma central localizada no pavimento térreo.

O comprimento médio das paredes era igual a 2,15 m. A altura média era de 2,44 m. Os ângulos das paredes eram todos retos (90°). A densidade de paredes no pavimento tipo (área de paredes/área do pavimento) era de 0,78. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 23% do total e as internas, 77%.

A forma de fixação estrutura/alvenaria utilizada na face superior foi argamassa expansiva e na interface pilar/parede, chapisco associado à argamassa forte. O tipo de junta empregado entre os blocos foi a amarração. Todas as juntas verticais foram preenchidas com argamassa. As vergas foram moldadas no local e as contravergas foram pré-moldadas no canteiro de obras.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, sem suporte. A sustentação provisória era constituída por cavaletes metálicos, com caibros e painéis de madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, régua com nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte dos materiais da alvenaria eram usados elevador de carga/passageiros. A argamassa era disposta em jericas e os blocos cerâmicos em carrinho de base plana de quatro rodas.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolveu três equipes diretas, duas delas compostas por um pedreiro e um auxiliar e a terceira por dois pedreiros e um auxiliar. A equipe de

apoio no térreo encarregada de misturar e transportar a argamassa contava com um operador de betoneira e um auxiliar. O transporte de blocos cerâmicos aos locais de execução era realizado por quatro auxiliares, durante duas horas ao final do expediente, três dias por semana. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. Os benefícios oferecidos aos trabalhadores eram: café da manhã, almoço, abono mediante ausência de faltas durante o mês, auxílio-farmácia, assistência médica e odontológica por convênio firmado com o sindicato da categoria e brindes ao final do ano.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era subcontratada e a forma de pagamento era por produção. A equipe de alvenaria era responsável por execução dos serviços de marcação e de elevação da alvenaria, bem como a execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes. Com relação ao gerenciamento e à disponibilidade de materiais, algumas vezes ocorriam problemas de desabastecimento por causa da sobrecarga de utilização do elevador de carga/pessoas, o que acabava por alterar o ritmo de produção da equipe.

4.1.3 Obra F3

Localizada na cidade de Florianópolis, no Parque São Jorge, constitui-se de um edifício residencial com oito pavimentos-tipo e quatro apartamentos por andar. A construtora que executou a obra era certificada pelo PBQP-H, portadora do nível A na época. A obra era privada, administrada pelo regime de empreitada. Foram coletados 58 dados diários de produtividade, acompanhando-se a execução da alvenaria do primeiro ao sexto pavimento-tipo. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obras era bastante amplo, o que facilitou a organização e a disposição das centrais de produção, almoxarifado, administração e refeitório. As condições de acesso eram boas, uma vez que o canteiro de obras situava-se em rua de pouco movimento. Os caminhões de materiais para alvenaria tinham total acesso ao interior da obra. A empresa dedicava atenção especial à manutenção da organização e da

limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a avaliação recebeu a nota 0,90.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com face (20x20) cm, nas espessuras de 12 cm, internamente, e de 14 cm, externamente, os quais pesavam 2,5 kg e 2,8 kg, respectivamente. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já maturada e sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era igual a 1,99 m. A altura média era igual a 2,44 m. Os ângulos das paredes no pavimento-tipo eram em sua maioria retos (90°), com exceção de quatro paredes internas circulares. A densidade de paredes no pavimento-tipo era igual a 1,02. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 32% do total e as internas, 68%.

A forma de fixação horizontal estrutura/alvenaria utilizada foi argamassa expansiva e na face lateral, chapisco e argamassa forte. O tipo de junta empregado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais foram todas preenchidas com argamassa. As vergas foram moldadas no local e as contravergas foram pré-moldadas no próprio canteiro.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes metálicos, dispostos sobre suportes em madeira. A sustentação provisória era constituída por cavaletes metálicos e painéis de madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, régua com nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte vertical dos materiais da alvenaria era utilizado elevador de carga. Os blocos cerâmicos eram transportados sobre um carrinho de base plana com quatro rodas e a argamassa, em jericas.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia uma equipe direta fixa de dois pedreiros e um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e

transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com um operador de betoneira, um servente e um operador de guincho. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo contramestre e pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. Os benefícios oferecidos aos trabalhadores eram: auxílio-remédio, assistência médica e odontológica por convênio com o sindicato da categoria, almoço e café da manhã.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era da própria empresa e a forma de pagamento era por produção. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de marcação e de elevação da alvenaria, bem como a execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes, uma vez que a equipe de alvenaria somente iniciava os trabalhos no pavimento quando este estava completamente liberado pela equipe de estrutura e somente ela permanecia no pavimento. Com relação ao gerenciamento e à disponibilidade de materiais, em geral, não havia problemas de desabastecimento.

4.1.4 Obra F4

A obra F4 era um edifício comercial com dez pavimentos-tipo e dez salas comerciais por andar, localizado no Bairro da Trindade, em Florianópolis. Sua estrutura era em concreto armado e sua alvenaria de vedação em blocos cerâmicos com face (20x20) cm. Obra de caráter privado, incorporada pelo regime de empreitada. Nesta obra acompanhou-se a execução do sexto ao décimo pavimento-tipo e foram coletados 71 dados diários de produtividade. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obras contava com espaço suficiente para a instalação das estruturas necessárias ao apoio da produção, e o seu *layout* era bem elaborado. As condições de acesso eram boas, pois em uma das vias de acesso o movimento era pequeno. O *layout* do canteiro foi elaborado de tal forma que, mesmo os caminhões de materiais para alvenaria não tendo acesso ao interior da obra, não era necessário utilizar-se do duplo manuseio dos materiais. Neste canteiro, observou-se que não havia, por parte da gerência da obra, um intenso direcionamento de recursos

materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a avaliação recebeu a nota 0,50.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação interna foi executada em blocos cerâmicos de face com dimensões (20x20) cm e espessura de 12 cm, os quais pesavam 2,5 kg. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal, e a argamassa de cal e areia era adquirida usinada e a sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era 2,10 m. A altura média era 2,70 m. Os ângulos das paredes eram todos retos (90°). A densidade de paredes no pavimento tipo (área de paredes/área do pavimento) era igual a 1,37. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 18% do total e as internas, 82%.

A forma de fixação horizontal da estrutura/alvenaria utilizada foi argamassa expansiva e, na face lateral, chapisco e argamassa forte. O tipo de junta empregado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais das paredes externas foram totalmente preenchidas com argamassa e as das paredes internas não foram preenchidas. As vergas e contravergas usadas foram pré-moldadas no canteiro de obras.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, sem suporte, dispostos diretamente sobre o piso do pavimento. A sustentação provisória era constituída por andaimes em madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, escantilhão de madeira, nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. O transporte vertical dos materiais era realizado por meio de elevador de carga, os blocos cerâmicos foram transportados sobre um carrinho de base plana com quatro rodas e a argamassa, em jericas. No pavimento, ainda se observava o transporte de blocos cerâmicos de modo manual entre o depósito intermediário e os postos de trabalho, bem como o transporte de argamassa por meio de pá.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia quatro equipes diretas fixas de um pedreiro e um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com um operador de betoneira e dois serventes. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. A empresa oferecia aos trabalhadores almoço e assistência médica-odontológica por meio de convênio com sindicato.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era própria e a forma de pagamento era por produção. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de elevação da alvenaria, bem como pela inserção das vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes. Com relação ao processo de trabalho, algumas vezes ocorriam problemas por causa do elevado absenteísmo no dia de segunda-feira, o que fazia com que os auxiliares das equipes diretas fossem deslocados para outras atividades, gerando sobrecarga de atividades aos pedreiros, alterando o ritmo de produção.

4.1.5 Obra F5

Localizada na cidade de Florianópolis, no Bairro João Paulo, constitui-se de um edifício residencial com oito pavimentos-tipo e dois apartamentos por andar. A estrutura era composta por concreto armado e a alvenaria de vedação, em blocos cerâmicos com face (20x20) cm. Foram coletados 38 dados diários de produtividade, acompanhando-se a execução da alvenaria do segundo ao quarto pavimento-tipo. A seguir são descritas as principais características desta obra.

1. Condições do canteiro de obras:

Este canteiro de obra era bastante restrito, com pouco espaço disponível para a disposição das centrais de produção e almoxarifado. As condições de acesso eram razoáveis, pois a obra situava-se em rua de médio movimento, tendo o inconveniente de ser estreita. Os caminhões de materiais para alvenaria não tinham acesso ao interior da obra, foi necessário o duplo manuseio dos materiais. Havia, por parte da gerência da obra, o direcionamento de recursos materiais e humanos para

a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a avaliação recebeu a nota 0,87.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com face (20x20) cm, na espessura de 12 cm, o qual pesava 2,5 kg. Utilizou-se argamassa mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já maturada e a sua mistura ao cimento era realizada em central montada no pavimento térreo.

O comprimento médio das paredes era igual a 1,84 m, e a altura média igual a 2,2 m. Todos os ângulos das paredes eram retos (90°). A densidade de paredes no pavimento-tipo era igual a 1,17. Do total, 31% das paredes do pavimento-tipo eram externas e 69% eram internas.

A fixação horizontal entre a estrutura e a alvenaria foi realizada com espuma polimérica. A ligação estrutura/alvenaria vertical se deu por meio do uso de argamassa forte. O tipo de junta empregado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais não foram preenchidas com argamassa. As vergas e contravergas foram moldadas no local.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes em madeira para argamassa, sem suporte. A sustentação provisória era composta por cavalete em madeira e tábuas. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, escantilhão de madeira, nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. O transporte vertical dos materiais era realizado por meio de elevador de carga, os blocos cerâmicos eram acondicionados em jericas ou carrinho de mão e a argamassa em jericas, e eram depositados em um depósito intermediário. O transporte do depósito intermediário até o posto de trabalho era realizado manualmente, no caso dos blocos, e com a pá, no caso da argamassa.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia duas equipes diretas fixas de um pedreiro e um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada do transporte dos materiais e da

elaboração da argamassa, era composta por dois profissionais. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras, pelo encarregado e pelo técnico em edificações. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. A empresa oferecia almoço como benefício.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era subcontratada com pagamento baseado na produção. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de elevação da alvenaria, bem como a execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes, cada uma delas era responsável pela execução de um apartamento-tipo. A empresa contava com um bom gerenciamento de materiais e não se observaram problemas de falta de abastecimento.

4.1.6 Obra M1

A obra M1 se localizava na cidade de Maringá, na região do Novo Centro. Tratava-se de um edifício residencial com doze pavimentos-tipo e sete apartamentos por andar. O regime de incorporação foi por administração, também denominado a preço de custo. A estrutura se constitui de concreto armado e a alvenaria de vedação executada em blocos cerâmicos com face (14x19) cm. Foram coletados 85 dados diários de produtividade, acompanhando-se do segundo ao décimo segundo pavimento-tipo. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obra era bastante amplo, com espaço disponível para a disposição das centrais de produção e almoxarifado. As condições de acesso eram boas, uma vez que o canteiro de obras situava-se em uma via de pouco movimento. Os caminhões de materiais para alvenaria tinham acesso ao interior da obra. Nesse canteiro, observou-se que não havia o empenho de recursos materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a avaliação recebeu a nota 0,44.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com face (14x19) cm, na espessura de 9 cm, os quais pesavam 1,7kg. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já pronta e a sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era de 1,86 m. A altura média era igual a 2,35 m. Os ângulos das paredes eram todos retos (90°). A densidade de paredes no pavimento-tipo era igual a 1,20. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 37% do total e as internas, 63%.

A forma de fixação horizontal entre estrutura/alvenaria utilizada foi argamassa expansiva e, na vertical, ferro-cabelo. O tipo de junta empregado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais foram preenchidas com argamassa. As vergas e contravergas foram moldadas no local.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, sem suporte. A sustentação provisória era andaime em madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte dos materiais da alvenaria eram utilizados elevador de carga e jérica.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia uma equipe direta de três a quatro pedreiros e um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com um operador de betoneira/guincho e um servente. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. A empresa não oferecia nenhum tipo de benefício aos trabalhadores, além dos estabelecidos por lei.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era contratada pela própria empresa e a forma de pagamento era por salário mensal. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de marcação e de elevação da alvenaria. Não havia interferência entre equipes. Com relação ao gerenciamento de materiais, não se observaram problemas de desabastecimento.

4.1.7 Obra M2

Localizada na cidade de Maringá, no bairro Novo Centro, constitui-se de um edifício residencial com treze pavimentos-tipo e oito apartamentos por andar, incorporado sob regime de administração. A estrutura foi composta por concreto armado e a alvenaria de vedação por blocos cerâmicos com face (14x19) cm. Foram coletados 78 dados diários de produtividade e acompanhou-se a execução da alvenaria do terceiro ao décimo terceiro pavimento-tipo. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

A área disponível para a organização do canteiro de obra era boa, bem como as condições de acesso, já que era realizado por uma via de baixo tráfego. Nesse canteiro, observou-se que havia, por parte da gerência da obra, o direcionamento de recursos materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a avaliação recebeu a nota 0,71.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com dimensões (14x19x9) cm. Esse bloco foi utilizado em paredes de espessura de 9 cm, internamente, e de 14 cm, externamente, e o peso médio de cada bloco era igual a 1,75 kg. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já maturada e a sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era de 1,87 m. A altura média era igual a 2,16 m. Os ângulos das paredes eram em sua maioria retos (90°), havendo três paredes

externas circulares. A densidade de paredes no pavimento-tipo era igual a 0,87. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 48% do total e as internas, 52%.

A fixação estrutura/alvenaria utilizada na face superior foi executada com tijolos maciços e na face lateral, ferro-cabelo. O tipo de junta empregado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais foram todas preenchidas com argamassa. As vergas foram moldadas no local e as contravergas foram pré-moldadas no próprio canteiro.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, dispostos no piso do pavimento. A sustentação provisória era andaime em madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte dos materiais da alvenaria, eram utilizados elevador de carga e jérica.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia uma equipe direta de até quatro pedreiros para um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com um operador de betoneira e um servente. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. O benefício oferecido aos trabalhadores era a assistência médica-odontológica por convênio com o sindicato da categoria.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era contratada pela própria empresa e a forma de pagamento era por salário mensal. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de marcação e de elevação da alvenaria, bem como a execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes. Com relação ao gerenciamento e disponibilidade de materiais, não se observaram problemas de desabastecimento.

4.1.8 Obra M3

Localizada na cidade de Maringá, na região do Novo Centro, constitui-se de um edifício residencial com quinze pavimentos-tipo e quatro apartamentos por andar, incorporado pelo regime de administração. A estrutura era composta por concreto armado e a alvenaria de vedação em blocos cerâmicos com dimensões (14x19x9) cm. Foram coletados 120 dados diários de produtividade, e acompanhou-se a execução da alvenaria do terceiro ao décimo quinto pavimento-tipo. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obra era bastante restrito, com pouco espaço disponível para a disposição das centrais de produção e almoxarifado. As condições de acesso eram boas, uma vez que o acesso ao canteiro de obras se situava em uma via de pouco movimento. Os caminhões de materiais para alvenaria não tinham acesso ao interior da obra, e foi necessário realizar o duplo manuseio dos blocos cerâmicos. A gerência da obra direcionava recursos materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, a avaliação recebeu a nota 0,73.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com dimensões (14x19x9) cm. As paredes internas foram executadas com espessura de 9 cm e as externas, com 14 cm, os quais pesavam 1,70 kg. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já pronta e a sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era igual a 1,89 m e a altura média 2,18 m. Os ângulos das paredes eram em sua maioria retos (90°), com exceção de duas paredes externas circulares. A densidade de paredes no pavimento-tipo era igual a 1,24. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 33% do total e as internas, 67%.

A forma de fixação estrutura/alvenaria empregada na face superior foi argamassa expansiva e, na face lateral, ferro-cabelo. O tipo de junta utilizado entre os blocos foi

a amarração. As juntas verticais das paredes externas foram preenchidas com argamassa e as das paredes internas não foram preenchidas. As vergas e contravergas foram pré-moldadas no canteiro de obras.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, sem suporte. A sustentação provisória era andaime em madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte dos materiais da alvenaria eram utilizados elevador de carga e jérica.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia duas equipes diretas de três ou quatro pedreiros e um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com um operador de betoneira e dois serventes. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras e pelo encarregado da alvenaria. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. Nenhum benefício adicional era ofertado aos trabalhadores.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era subcontratada e a forma de pagamento era por salário mensal. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de elevação da alvenaria, bem como a execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes. Com relação ao gerenciamento e disponibilidade de materiais, não se observaram problemas de desabastecimento.

4.1.9 Obra M4

A obra M4 localizava-se na cidade de Maringá, na região do Novo Centro. Tratava-se de um edifício residencial com doze pavimentos-tipo e quatro apartamentos por andar, incorporado em regime de administração. A estrutura se constituiu de concreto armado e a alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com dimensões (14x19x9) cm. Foram coletados 53 dados diários de produtividade, acompanhando-

se do segundo ao sétimo pavimento-tipo. A seguir são descritas as principais características desta obras.

1. Condições do canteiro de obras:

O canteiro de obra tinha um bom espaço disponível para a disposição das centrais de produção e de almoxarifado. As condições de acesso eram boas, dado que o canteiro de obras situava-se em vias de movimento não muito intenso. Os caminhões de materiais para alvenaria não tinham acesso ao interior da obra, e necessitou-se de duplo manuseio dos blocos cerâmicos. Nesse canteiro, observou-se que não havia, por parte da gerência da obra, um grande empenho de recursos materiais e humanos para a manutenção da organização e limpeza do canteiro de obras. No diagnóstico das condições do canteiro, segundo Saurim (1997), a avaliação recebeu a nota 0,50.

2. Alvenaria:

A alvenaria de vedação foi executada em blocos cerâmicos com dimensões nominais (14x19x9) cm, com peso médio de 1,8 kg. Executaram-se paredes com espessura de 9 cm, internamente, e 14 cm, externamente. A argamassa para a elevação era mista de cimento e cal. A argamassa de cal e areia era adquirida já pronta e a sua mistura ao cimento era realizada em uma central localizada no pavimento térreo da edificação.

O comprimento médio das paredes era de 1,87 m. A altura média era igual a 2,12 m. Os ângulos das paredes eram em sua maioria retos (90°), com exceção de uma parede externa circular. A densidade de paredes no pavimento-tipo (área de paredes/área do pavimento) era igual a 1,16. Com relação à posição das paredes, a área de alvenaria externa correspondia a 29 % da área total e a interna, 71%.

A fixação estrutura/alvenaria na face superior foi executada com tijolos maciços e na face lateral, ferro-cabelo a cada duas fiadas. O tipo de junta utilizado entre os blocos foi a amarração. As juntas verticais foram preenchidas com argamassa. As vergas e contravergas foram moldadas no local.

3. Ferramentas e equipamentos:

Na produção da alvenaria, utilizaram-se colher de pedreiro e caixotes de madeira para argamassa, sem suporte. A sustentação provisória era realizada por meio de andaimes em madeira. O controle geométrico foi executado com a utilização de prumo de face, esquadro metálico, nível de bolha, mangueira de nível e linha de pedreiro. Para o transporte dos materiais da alvenaria, eram utilizados elevador de carga/passageiros e jerica.

4. Recursos humanos:

A produção da alvenaria envolvia uma equipe direta de dois ou três pedreiros e um servente. A equipe de apoio no térreo, encarregada de misturar a argamassa e transportar blocos cerâmicos e argamassa, contava com dois profissionais. Um deles somente operava o elevador e o outro era responsável por elaborar a argamassa e transportar os materiais. O controle e a supervisão do serviço eram realizados pelo mestre-de-obras. A jornada normal de trabalho era de 9 horas de segunda à quinta-feira e de 8 horas na sexta-feira. Não se oferecia nenhum tipo de benefício aos trabalhadores.

5. Organização da produção:

A mão-de-obra era subcontratada e a forma de pagamento era por salário mensal. A equipe de alvenaria era responsável pela execução dos serviços de marcação e de elevação da alvenaria, bem como pela execução das respectivas vergas e contravergas. Não havia interferência entre equipes. Com relação à disponibilidade de materiais, não se observaram problemas.

4.1.10 Resumo das obras

A seguir, apresenta-se, nas tabelas 3 e 4, o resumo das características das obras.

Tabela 3 - Características das obras de Florianópolis

	F1	F2	F3	F4	F5
Características Gerais					
Cidade	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis
Finalidade	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial
Pavimentos-tipo	9	10	8	10	8
Unidades por pavimento	1	6	4	10	2
Número de dados	27	223	58	71	38
Pavimentos acompanhados	1º ao 9º	1º ao 10º	1º ao 6º	6º ao 10º	2º ao 4º
Certificação - Nível	Sim - D	Sim - A	Sim - A	Sim - A	Sim - A

Canteiro de Obras					
Espaço disponível	Restrito	Amplio	Amplio	Suficiente	Restrito
Condições de acesso	Ruins	Boas	Boas	Boas	Razoáveis
Acesso de caminhões	Não	Sim	Sim	Não	Não
Organização e limpeza	Não	Sim	Muito	Não	Sim
Nota do canteiro	0,62	0,73	0,9	0,5	0,87

Alvenaria					
Área da face do bloco	20x20	20x20	20x20	20x20	20x20
Espessuras de paredes (cm)	12	10, 12 e 20	12 e 14	12	12
Peso do bloco (kg)	2,5	2,2, 2,5 e 3,2	2,5 e 2,8	2,5	2,5
Comp. médio paredes (m)	2,07	2,15	1,99	2,1	1,84
Altura média paredes (m)	2,37	2,44	2,44	2,7	2,2
Ângulos retos	maioria	todos	maioria	todos	todos
Paredes circulares	sim	não	sim	não	não
Densidade de paredes	0,95	0,78	1,02	1,37	1,17
Paredes externas (%)	39	23	32	18	31
Paredes internas (%)	61	77	68	82	69
Fixação horizontal	Argamassa expansiva	Argamassa expansiva	Argamassa expansiva	Argamassa expansiva	Espuma polimérica
Ligação vertical	Argamassa	Argamassa	Argamassa	Argamassa	Argamassa
Preenchimento juntas ver.	sim	Sim	Sim	Só externas	Não
Vergas	Local	Local	Local	Pré-moldada	Local
Contravergas	Local	Pré-moldada	Pré-moldada	Pré-moldada	Local

Recursos humanos					
Número de equipes	1	3	1	4	2
Equipe	2:1	2:1 e 1:1	2:1	1:1	1:1
Nº pessoas equipe de apoio	2	2	2	3	2
Controle e supervisão	Mestre-de-obras	Mestre-de-obras	Mestre-de-obras e Contramestre	Mestre-de-obras	Contramestre e Técnico Edificações
Jornada de trabalho semanal	4x10h + 4h	4x9h + 8h	4x9h + 8h	4x9h + 8h	4x9h + 8h
Benefícios	Nenhum	Vários	Vários	Alguns	Poucos

Organização da Produção					
Contratação de mão-de-obra	Subcontratada	Subcontratada	Própria	Própria	Subcontratada
Forma de pagamento	Produção	Produção	Produção	Produção	Produção
Problemas com materiais	Eventualmente	Eventualmente	Não	Não	Não

Tabela 4 - Características obras de Maringá

	M1	M2	M3	M4
Características Gerais				
Cidade	Maringá	Maringá	Maringá	Maringá
Finalidade	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial
Pavimentos-tipo	12	13	15	12
Unidades por pavimento	7	8	4	4
Número de dados	85	78	120	53
Pavimentos acompanhados	2° ao 12°	3° ao 13°	3° ao 15°	2° ao 7°
Certificação - Nível	Não	Não	Não	Não
Canteiro de Obras				
Espaço disponível	Amplio	Suficiente	Restrito	Suficiente
Condições de acesso	Boas	Boas	Boas	Boas
Acesso de caminhões	Sim	Não	Não	Não
Organização e limpeza	Não	Sim	Sim	Não
Nota do canteiro	0,44	0,71	0,73	0,5
Alvenaria				
Área da face do bloco	14x19	14x19	14x19	14x19
Espessuras de paredes (cm)	9	9 e 14	9 e 14	9 e 14
Peso do bloco (kg)	1,7	1,75	1,7	1,8
Compr. médio paredes (m)	1,86	1,87	1,89	1,87
Altura média paredes (m)	2,35	2,16	2,18	2,12
Ângulos retos	todos	maioria	maioria	maioria
Paredes circulares	não	sim	sim	sim
Densidade de paredes	1,2	0,87	1,24	1,16
Paredes externas (%)	37	48	33	29
Paredes internas (%)	63	52	67	71
Fixação horizontal	Argamassa expansiva	Tijolos maciços	Argamassa expansiva	Tijolos maciços
Ligação vertical	Ferro-cabelo	Ferro-cabelo	Ferro-cabelo	Ferro-cabelo
Preenchimento juntas vert.	Sim	Sim	Só externas	Sim
Vergas	Local	Local	Pré-moldada	Local
Contravergas	Local	Pré-moldada	Pré-moldada	Local
Recursos humanos				
Número de equipes	1	1	2	1
Equipe	4:1 e 3:1	Até 4:1	4:1 e 3:1	2:1 e 3:1
Nº pessoas equipe de apoio	2	2	3	2
Controle e supervisão	Mestre-de-obras	Mestre-de-obras	Mestre-de-obras e Encarregado	Mestre-de-obras
Jornada de trabalho semanal	4x9h + 8h	4x9h + 8h	4x9h + 8h	4x9h + 8h
Benefícios	Nenhum	Poucos	Nenhum	Nenhum
Organização da Produção				
Contratação de mão-de-obra	Própria	Própria	Subcontratada	Subcontratada
Forma de pagamento	Salário	Salário	Salário	Salário
Problemas com materiais	Não	Não	Não	Não

4.2 Dados, categorização e normalização de atributos

Para cada dia de trabalho acompanhado, procedeu-se o cálculo da Razão Unitária de Produção (RUP) do pedreiro no serviço de elevação, a partir dos dados do projeto arquitetônico ou executivo e das anotações diárias das paredes executadas. Com base nas informações advindas dos Formulários A1, A2, A3 e A4, (Apêndices A, B, C e D, respectivamente), do diagnóstico das condições do canteiro (Anexo A) e do relatório de dados climatológicos, montou-se um banco de dados utilizando-se o pacote computacional Microsoft Excel.

Considerando os valores dos atributos observados na amostra, procedeu-se uma categorização inicial dos dados, os quais, posteriormente, foram normalizados diferentemente para os dois tipos de aplicação que foram realizadas: mineração de dados e redes neurais artificiais. A seguir, apresenta-se a forma inicial de categorização dos atributos.

- cidade: Maringá ou Florianópolis;
- obra: número de referência;
- pavimento: número do pavimento- tipo executado;
- dia: cinco categorias – segunda-feira, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira e sexta-feira;
- verga: moldada no local ou pré-moldada;
- equipe: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 4:2, 5:1 e 5:2;
- satisfação: valor médio indicativo da satisfação dos pedreiros da equipe (zero a dez);
- idade: valor da média das idades dos pedreiros que atuam na equipe (anos);
- experiência: valor do tempo médio de experiência na profissão dos pedreiros componentes da equipe (anos);
- pagamento: por produção ou por salário mensal;
- mão-de-obra: se mão-de-obra da própria empresa ou subcontratada;
- controle: quatro categorias – procedimento padronizado pelo sistema de qualidade com controle efetivo, procedimento padronizado pelo sistema de qualidade com controle esporádico, procedimento padronizado pelo sistema de qualidade com análise visual e procedimento não-padronizado com análise visual;

- encarregado: sim, se há a presença de encarregado do serviço de alvenaria na obra, e não, em caso contrário;
- densidade: número resultante da divisão da área de alvenaria do pavimento-tipo pela área do pavimento-tipo, escala de A a D, sendo Classe A relativa aos valores até 0,60, Classe B, de 0,61 a 0,90 e Classe C, de 0,91 a 1,50 e Classe D, acima de 1,51;
- canteiro: valor resultante do diagnóstico das condições do canteiro de obra, escala de avaliação de zero a um;
- comprimento: valor médio do comprimento das paredes executadas no dia (metros);
- altura: valor médio da altura das paredes executadas no decorrer do dia (metros);
- andaime: sim, se foi utilizado andaime para a execução da alvenaria no decorrer do dia, e não, em caso contrário;
- interna/externa: usaram-se três categorias - somente paredes internas, somente paredes externas e paredes internas e externas;
- espessuras: uma, no caso de somente se executar paredes de mesma espessura, e mais de uma, em caso contrário;
- comprimento de corte: valor percentual (%) do comprimento das paredes em que foi necessário realizar corte de blocos em relação ao comprimento total de paredes do pavimento tipo;
- área circular: valor percentual (%) de área de alvenaria circular em relação à área total de paredes do pavimento-tipo;
- junta vertical: preenchida ou não-preenchida;
- pessoal administrativo: valor da relação entre o número de homens-horas mensal de pessoal administrativo no canteiro e a área de construção;
- chuva: número indicativo da média diária de precipitação (mm);
- temperatura: valor da temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$);
- umidade: valor médio da umidade relativa do ar (%).

O valor do indicador de produtividade (RUP) permaneceu entre os valores zero e um, e foram divididos em quatro classes, as quais são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes de RUP

Classe	Intervalo de RUP
Classe 1	até 0,38 Hh/m ²
Classe 2	0,38-0,57 Hh/m ²
Classe 3	0,58-0,76 Hh/m ²
Classe 4	0,77-0,99 Hh/m ²

Coletou-se 730 dados diários de produtividade do trabalho do serviço alvenaria de vedação. Destes, 416 foram relativos à cidade de Florianópolis e 314 à cidade de Maringá.

Na Tabela 6 consta a distribuição das RUPs por classe. Os dados das cidades de Florianópolis e Maringá são os referentes às condições reais dos processos de produção observados, respeitando-se as especificidades de processo. Quando se apresenta os dados provindos das duas cidades conjuntamente, expõe-se a classificação, considerando a apropriação real e a elaborada a partir da aplicação do fator de correção relacionado à dimensão dos blocos cerâmicos.

Tabela 6 - Distribuição das RUPs por classe

Classe	Florianópolis		Maringá		Global (real)		Global (correção)	
	Número	%	Número	%	Número	%	Número	%
Classe 1	204	49	2	1	206	28	214	29
Classe 2	170	41	54	17	224	32	325	45
Classe 3	30	7	127	40	157	22	159	22
Classe 4	12	3	131	42	143	20	32	4
Total	416	100	314	100	730	100	730	100

Para o uso da base de dados no sistema fundamentado em redes neurais artificiais, cada uma das categorias foi normalizada entre os valores -1 e 1. Posteriormente, os dados foram organizados para se criar um arquivo texto no formato adequado (ascii).

Já para o uso desses dados na descoberta de conhecimento, foi necessário transformá-los e normalizá-los para se criar um arquivo .arff, o qual é apresentado na Figura 22, em sua forma final.

```
% produtividade com todos os atributos e RUP normalizadas em quatro classes
@relation produtividade
```

```
@attribute obra {1,2,3,5,6,7,8,9,10}
@attribute cidade {Fpolis,Mga}
@attribute pvto {ate-2,3-a-6,acima-7}
@attribute dia {Seg,Ter,Qua,Qui,Sex}
@attribute verga {loco,pre}
@attribute equipe {1,1:1,2:1,3:1,Outros}
@attribute satisfacao {baixa,media,alta}
@attribute idade {ate-35,35-40,40-45,acima-45}
@attribute experiencia {ate-10,10-15,15-20,20-25,25-30}
@attribute pagamento {Prod,Sal}
@attribute mao-obra {pro,subc}
@attribute controle {padr-efetivo,padr-espomad,padr-visual,visual}
@attribute encarregado {sim,nao}
@attribute densidade {A,B,C,D}
@attribute canteiro {0.41-0.50,0.51-0.60,0.61-0.70,0.71-0.80,0.81-0.90}
@attribute comprimento {ate-1.5,1.51-1.7,1.71-1.9,1.91-2.3,2.31-2.7,acima-2.71}
@attribute altura {ate-1.0,1.01-1.4,1.41-1.8,1.81-2.0,acima-2.01}
@attribute andaime {sim,nao}
@attribute int-ext {Int,Ext,Int-Ext}
@attribute espessura {Uma, Mais}
@attribute compr-corte {ate-0.40,0.41-0.8,0.81-1.0}
@attribute area-circ {0,2.0-4.0,4.01-8.0}
@attribute junta-vertical {Sim, Nao}
@attribute pess-adm {Alta, Media, Baixa}
@attribute chuva {nada,ate-15,15-37,acima-38}
@attribute temperatura {Ate-17C,18C-20C,20C-22C,22C-24C,24C-26C,26C-28C,Acima-28C}
@attribute umidade {Ate-53,53-63,63-73,73-83,Acima-83}
@attribute rup {ate-0.38,0.39-0.57,0.58-0.76,0.77-0.99}
```

```
@DATA
```

```
7,Mga,acima-7,Ter,loco,3:1,baixa,acima-45,20-25,Sal,pro,visual,nao,B,5,1.51-1.7,acima-2.01,sim,Int,Uma,ate-0.40,0,Sim,Baixa,nada,18C-20C,Acima-83,0.39-0.57
```

```
....
```

Figura 22 - Arquivo de dados de produtividade arff

4.3 Seleção de atributos

Para a seleção de atributos, utilizou-se os métodos *Information Gain*, Qui-quadrado

e a heurística CFS em conjunto com o método de busca *best-first*. Estes métodos foram implementados por meio do pacote de algoritmos Weka.

Proce deu-se o processo de seleção de atributos considerando a base de dados para cada uma das cidades com registro de dados, bem como para o conjunto global dos dados.

Foram usados dois níveis de corte para definição dos atributos de maior relevância, percentual acumulado mínimo de 90% e de 80% para a avaliação pelos métodos *Information Gain* e Qui-quadrado, considerando simultaneamente o conjunto de fatores selecionados pela heurística CFS, obtendo-se, deste modo, os atributos mais significativos. Estes dois níveis foram definidos para posteriormente se realizar a experimentação, tanto de mineração de dados quanto do sistema baseado em redes neurais artificiais.

4.3.1 Florianópolis

Usou-se o procedimento descrito anteriormente para a base de dados da cidade de Florianópolis, representados por um conjunto de 416 instâncias. Retirou-se os dados relativos às classes 3 e 4 devido ao baixo número de exemplos em cada uma destas categorias. Excluiu-se da análise os atributos cidade, pagamento e obra, os dois primeiros em função de serem variáveis iguais para todas as instâncias, e o último para realizar a análise independentemente da obra acompanhada, restando então 24 atributos para análise.

Os resultados produzidos pelo Weka para os três métodos, considerando somente o conjunto de dados da cidade de Florianópolis, são apresentados no Quadro 5 e nas tabelas 7 e 8.

CFS
Controle
Comprimento
Altura
Interna-Externa
Temperatura
Umidade

Quadro 5 - Conjunto de atributos selecionados pela heurística CFS - Florianópolis

Tabela 7 - Ranque dos atributos pela medida *Information Gain* - Florianópolis

Info Gain	Atributo	%	% acum
0.083	Comprimento	0.116	0.116
0.078	Temperatura	0.109	0.225
0.070	Altura	0.099	0.324
0.059	Controle	0.083	0.407
0.051	Experiência	0.072	0.479
0.051	Canteiro	0.071	0.551
0.041	Interna-Externa	0.057	0.608
0.034	Umidade	0.048	0.655
0.028	Pessoal administrativo	0.040	0.695
0.028	Comprimento corte	0.040	0.735
0.027	Idade	0.038	0.773
0.024	Mão-de-obra	0.034	0.807
0.019	Densidade	0.026	0.834
0.018	Dia	0.025	0.858
0.017	Área circular	0.024	0.882
0.015	Andaime	0.021	0.903
0.013	Espessura	0.019	0.921
0.012	Encarregado	0.017	0.938
0.010	Satisfação	0.014	0.952
0.009	Repetição	0.013	0.965
0.008	Junta vertical	0.011	0.976
0.007	Chuva	0.010	0.986
0.006	Equipe	0.009	0.995
0.004	Verga	0.005	1.000

Adotando-se como limite o percentual acumulado mínimo aproximado de 90%, considerando-se simultaneamente as classificações dos fatores pelos métodos *Information Gain* e Qui-quadrado, tem-se 18 atributos: comprimento, temperatura, altura, controle, experiência, canteiro, interna-externa, umidade, pessoal administrativo, comprimento de corte, idade, mão-de-obra, densidade, dia, área circular, andaime, espessura e encarregado.

Considerando o limite de percentual acumulado mínimo de 80%, obteve-se 12 atributos: comprimento, temperatura, altura, controle, experiência, canteiro, interna-externa, umidade, pessoal administrativo, comprimento de corte, idade e mão-de-obra.

Tabela 8 - Ranque dos atributos pela medida Qui-quadrado - Florianópolis

χ^2	Atributo	%	% acum
54.854	Temperatura	0.143	0.143
50.260	Comprimento	0.131	0.274
38.472	Altura	0.100	0.375
27.442	Controle	0.072	0.447
25.863	Experiência	0.068	0.514
25.370	Canteiro	0.066	0.580
23.198	Interna-externa	0.061	0.641
15.517	Umidade	0.041	0.681
13.309	Idade	0.035	0.716
12.146	Pessoal administrativo	0.032	0.748
12.146	Comprimento corte	0.032	0.780
9.954	Mão-de-obra	0.026	0.806
9.590	Dia	0.025	0.831
8.591	Densidade	0.022	0.853
8.218	Andaime	0.021	0.874
7.688	Espessura	0.020	0.895
7.344	Encarregado	0.019	0.914
6.836	Área circular	0.018	0.932
5.940	Satisfação	0.016	0.947
5.320	Repetição	0.014	0.961
4.977	Junta vertical	0.013	0.974
3.912	Chuva	0.010	0.984
3.488	Equipe	0.009	0.993
2.583	Verga	0.007	1.000

4.3.2 Maringá

Para selecionar os atributos para a base de dados da cidade de Maringá, utilizou-se o procedimento já descrito. Selecionou-se o conjunto de 314 instâncias (exemplos) e 22 atributos, os quais foram avaliados mediante à classificação RUP. Os atributos cidade, pessoal administrativo, tipo de bloco e pagamento foram suprimidos da análise por causa do fato de estes serem constantes para toda a amostra, não alterando, portanto, o resultados pois afetam todos de modo igual. Não foi considerado também na análise o atributo obra.

As classes 1 e 2 foram suprimidas da análise por não serem relevantes neste caso, uma vez que são pouco representativas pelo baixo número de instâncias dessas classes, 17% do total de dados.

Os resultados produzidos pelo Weka, pelos três métodos, relativos ao conjunto composto por dados da cidade de Maringá, são apresentados no Quadro 6 e nas tabelas 9 e 10.

CFS
Experiência
Altura

Quadro 6 - Conjunto de atributos selecionados pela heurística CFS - Maringá

Tabela 9 - Ranque dos atributos pela medida *Information Gain* - Maringá

Info Gain	Atributo	%	% acum
0.163	Altura	0.142	0.142
0.153	Experiência	0.133	0.275
0.087	Área circular	0.076	0.351
0.080	Interna-Externa	0.070	0.421
0.077	Comprimento corte	0.067	0.488
0.077	Satisfação	0.067	0.555
0.066	Densidade	0.058	0.613
0.065	Idade	0.056	0.669
0.049	Equipe	0.043	0.712
0.048	Temperatura	0.041	0.753
0.042	Andaime	0.037	0.790
0.039	Comprimento	0.034	0.824
0.034	Espessura	0.030	0.853
0.033	Encarregado	0.029	0.882
0.033	Pavimento	0.029	0.910
0.027	Junta vertical	0.024	0.934
0.017	Chuva	0.015	0.949
0.017	Umidade	0.015	0.964
0.012	Dia	0.010	0.974
0.010	Mão-de-obra	0.009	0.983
0.010	Verga	0.009	0.992
0.008	Canteiro	0.007	1.000

Considerando como limite o percentual acumulado mínimo de aproximado de 90%, considerando-se simultaneamente as classificações dos fatores pelos métodos *Information Gain* e Qui-quadrado, obteve-se 16 atributos: altura, experiência, área circular, interna-externa, comprimento de corte, satisfação, densidade, idade, equipe, temperatura, andaime, comprimento, espessura, encarregado, pavimento e junta vertical.

Tabela 10 - Ranque dos atributos pela medida Qui-quadrado - Maringá

χ^2	Atributo	%	% acum
64.84	Altura	0.137	0.137
61.27	Experiência	0.129	0.266
35.33	Área circular	0.074	0.340
32.80	Interna-Externa	0.069	0.409
29.77	Comprimento corte	0.063	0.472
29.77	Satisfação	0.063	0.535
27.27	Idade	0.057	0.592
25.59	Equipe	0.054	0.646
24.87	Densidade	0.052	0.699
23.85	Temperatura	0.050	0.749
18.19	Andaime	0.038	0.787
17.64	Comprimento	0.037	0.824
14.66	Espessura	0.031	0.855
13.88	Junta vertical	0.029	0.884
13.88	Encarregado	0.029	0.914
11.80	Pavimento	0.025	0.939
7.23	Chuva	0.015	0.954
6.98	Umidade	0.015	0.969
4.48	Dia	0.009	0.978
3.74	Mão-de-obra	0.008	0.986
3.74	Verga	0.008	0.994
2.98	Canteiro	0.006	1.000

Adotando-se o limite de percentual acumulado mínimo de 80%, tem-se 12 atributos: altura, experiência, área circular, interna-externa, comprimento de corte, satisfação, densidade, idade, equipe, temperatura, andaime e comprimento.

Observa-se que os atributos altura e experiência sobressaíram-se no conjunto, em termos de classificação, quando comparado com os demais atributos.

4.3.3 Dados globais

Na análise, foi utilizado o conjunto total de dados composto por dados da cidade de Florianópolis e de Maringá, ao qual foi aplicado o fator de correção por causa da diferença de dimensões dos blocos cerâmicos, o que perfaz um total de 730 instâncias, classificadas em quatro classes. Nessa análise, foram retirados os fatores cidade e obra, uma vez que se busca analisar o conjunto dos dados independente do local onde foram coletados.

Após a implementação, foram comparados os resultados da avaliação realizada por cada um dos métodos e selecionaram-se os atributos que melhor representam o conjunto de dados analisado.

Os resultados produzidos pelo Weka para o conjunto total de dados são apresentados no Quadro 7 e nas tabelas 11 e 12.

CFS
Pagamento
Altura
Experiência

Quadro 7 - Conjunto de atributos selecionados pela heurística CFS - Global

Tabela 11 - Ranque dos atributos pela medida *Information Gain* - Global

Info Gain	Atributo	%	% acum
0.271	Pagamento	0.141	0.141
0.238	Densidade	0.124	0.265
0.190	Experiência	0.099	0.363
0.180	Controle	0.094	0.457
0.147	Área circular	0.077	0.534
0.115	Equipe	0.060	0.593
0.099	Umidade	0.051	0.645
0.091	Canteiro	0.047	0.692
0.081	Temperatura	0.042	0.734
0.073	Pessoal administrativo	0.038	0.772
0.070	Altura	0.037	0.809
0.058	Comprimento	0.030	0.839
0.045	Encarregado	0.023	0.862
0.041	Verga	0.021	0.883
0.039	Idade	0.020	0.904
0.029	Espessura	0.015	0.919
0.026	Mão-de-obra	0.014	0.932
0.025	Chuva	0.013	0.945
0.023	Comprimento corte	0.012	0.957
0.023	Interna-externa	0.012	0.969
0.021	Satisfação	0.011	0.980
0.016	Pavimento	0.008	0.989
0.010	Andaime	0.005	0.994
0.008	Dia	0.004	0.998
0.004	Junta-vertical	0.002	1.000

Tabela 12 - Ranque dos atributos pela medida Qui-quadrado - Global

χ^2	Atributo	%	% acum
238.72	Pagamento	0.130	0.130
216.31	Densidade	0.118	0.248
202.30	Experiência	0.110	0.358
167.94	Controle	0.091	0.449
133.73	Área circular	0.073	0.522
95.44	Umidade	0.052	0.574
94.03	Equipe	0.051	0.625
92.12	Canteiro	0.050	0.675
85.09	Temperatura	0.046	0.722
67.68	Pessoal administrativo	0.037	0.759
65.28	Altura	0.036	0.794
56.83	Comprimento	0.031	0.825
46.34	Encarregado	0.025	0.850
41.69	Verga	0.023	0.873
39.52	Idade	0.022	0.894
30.69	Mão-de-obra	0.017	0.911
27.55	Espessura	0.015	0.926
26.29	Comprimento corte	0.014	0.940
24.22	Interna-externa	0.013	0.954
24.02	Chuva	0.013	0.967
21.88	Satisfação	0.012	0.979
17.14	Pavimento	0.009	0.988
10.09	Andaime	0.005	0.993
7.90	Dia	0.004	0.998
4.06	Junta vertical	0.002	1.000

Adotando-se como limite o percentual acumulado mínimo de de 90%, considerando-se simultaneamente as classificações dos fatores pelos métodos *Information Gain* e Qui-quadrado, obtém-se 17 atributos: pagamento, densidade, experiência, controle, área circular, equipe, umidade, canteiro, temperatura, pessoal administrativo, altura, comprimento, encarregado, verga, idade, espessura e mão-de-obra.

Considerando o limite de percentual acumulado mínimo de 80%, tem-se 11 fatores: pagamento, densidade, experiência, controle, área circular, equipe, umidade, canteiro, temperatura, pessoal administrativo e altura.

Pode-se observar que, nesse conjunto, o atributo pagamento fornece a maior informação a respeito do indicador de produtividade.

4.3.4 Análise

O Quadro 8 sintetiza os atributos selecionados conjuntamente, quando se considera o limite de percentual acumulado mínimo de 80% para a avaliação pelos métodos *Information Gain* e Qui-quadrado e o conjunto de fatores selecionados pela heurística CFS, e os classificam em cinco áreas: gerencial, pessoal, projeto, clima e característica local do posto de trabalho.

FLORIANÓPOLIS	MARINGÁ	GLOBAL
Gerencial	Gerencial	Gerencial
Canteiro Controle Mão-de-obra Pessoal administrativo	Equipe	Canteiro Controle Equipe Pagamento Pessoal administrativo
Pessoal	Pessoal	Pessoal
Experiência Idade	Experiência Idade Satisfação	Experiência
Projeto	Projeto	Projeto
Comprimento corte	Área circular Comprimento corte Densidade	Área circular Densidade
Clima	Clima	Clima
Temperatura Umidade	Temperatura	Temperatura Umidade
Característica local	Característica local	Característica local
Altura Comprimento Interna-externa	Andaime Altura Comprimento Interna-externa	Altura

Quadro 8 - Classificação dos atributos selecionados

Ao analisar-se a base de dados das duas cidades conjuntamente, os atributos relativos à área gerencial tendem a ter maior importância.

Quando se passa a analisar separadamente os dados por cidade, tem-se que, para Florianópolis (pagamento por produção), os fatores gerenciais mantêm sua importância e a característica local do posto de trabalho assume maior influência.

Já, ao se apreciar os dados da cidade de Maringá (pagamento por salário), observa-se a redução da influência de fatores ligados à gerência e um aumento de

importância dos relacionados às áreas de pessoal e de característica local do posto de trabalho.

4.4 Mineração de dados

Na mineração de dados, para execução da tarefa de classificação, usou-se a técnica de árvores de decisão. A implementação se deu a partir do algoritmo de classificação J48, uma versão modificada do algoritmo C4.5, disponível no pacote de algoritmos Weka.

Foram elaboradas árvores de decisão para o conjunto de dados de cada uma das cidades com registro de dados, separadamente, bem como para a base de dados global, considerando os atributos selecionados na etapa anterior. No entanto, optou-se por somente apresentar os resultados com os atributos selecionados, considerando o limite de percentual acumulado mínimo de 80%, dado que, nesse caso, as árvores de decisão obtidas geraram regras mais claras e utilizáveis.

4.4.1 Florianópolis

Aplicou-se o esquema de classificação *weka.classifiers.trees.J48 -C 0.05 -M 2* (confiabilidade de 95%) ao conjunto dos 12 atributos selecionados anteriormente com 416 instâncias (exemplos) correspondentes à cidade de Florianópolis, dado que esse conjunto resulta em regras mais claras e úteis. O teste foi realizado por validação cruzada. Tal aplicação resultou na árvore de decisão apresentada de duas maneiras diferentes, a seguir e na Figura 23:

```

comprimento = ate-1.5: 0.39-0.57 (26.0/13.0)
comprimento = 1.51-1.7: 0.39-0.57 (19.0/7.0)
comprimento = 1.71-1.9: 0.39-0.57 (45.0/21.0)
comprimento = 1.91-2.3: ate-0.38 (194.0/82.0)
comprimento = 2.31-2.7
|   compr-corte = ate-0.40: 0.39-0.57 (73.0/31.0)
|   compr-corte = 0.41-0.8: ate-0.38 (22.0/8.0)
|   compr-corte = 0.81-1.0: ate-0.38 (14.0/2.0)
comprimento = acima-2.71: ate-0.38 (23.0/9.0)

```

Para exemplificar a forma de interpretação da árvore de decisão, toma-se como exemplo a primeira linha da árvore “comprimento = ate-1,5: 0,39-0,57 (26,0/13,0)”;

isso quer dizer que, com 95% de confiabilidade, se o comprimento médio das paredes executadas for de até 1,50 metros, 50% das RUPs ficam entre 0,39 e 0,57Hh/m², dado que dos 26 exemplos que se enquadram nessa categoria, 13 obedecem a essa regra (50%).

A quinta linha da árvore de decisão passa a contar com a presença de um segundo fator (presentes na sexta, sétima e oitava linhas). Tomando-se a quinta e sexta linha, a interpretação seria: com 95% de confiabilidade, se o comprimento médio estiver entre 2,31 e 2,70 metros e o comprimento de corte for de até 0,40 metros, 42% dos indicadores de produtividade permanecem entre 0,39 e 0,57 Hh/m², uma vez que, dos 73 exemplos que se enquadraram nesta categoria, 31 se classificaram nesta classe (42%). Tomando-se agora a quinta e sétima linhas, a interpretação seria: com 95% de confiabilidade, se o comprimento médio permanece entre 2,31 e 2,70 metros e o comprimento de corte for entre 0,41 a 0,80 metros, 36% das RUPs são de até 0,38 Hh/m², uma vez que, dos 22 exemplos que se enquadram nesta categoria, 8 se classificaram nesta classe (36%).

O principal fator que diferenciou as classes foi o comprimento médio da alvenaria executada no dia de trabalho. 46% dos exemplos com comprimento médio de paredes de até 1,90 metros pertenciam à Classe 2 (RUP entre 0,39 e 0,57 Hh/m²) e 40% das instâncias que possuíam comprimento médio de paredes acima de 1,91 metros foram classificadas na Classe 1 (RUP de até 0,38 Hh/m²).

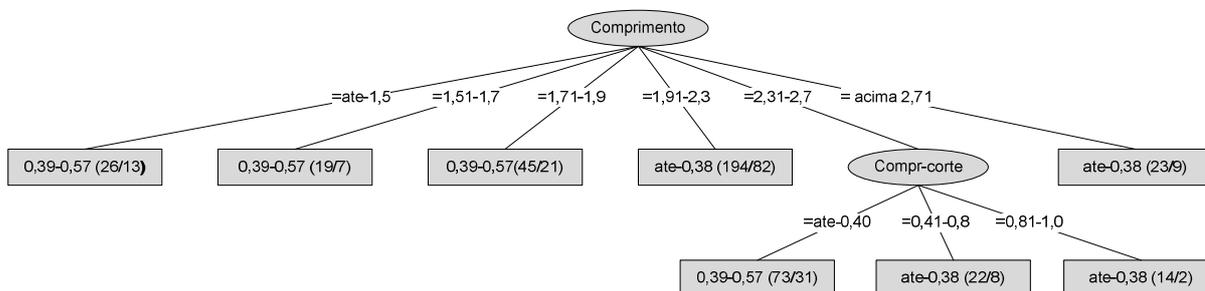


Figura 23 - Árvore de decisão para dados de Florianópolis

As taxas obtidas de acerto e erro para o conjunto de dados do município de Florianópolis são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Avaliação da classificação - Florianópolis

	Acerto	Erro
Classe 1	68,10%	31,90%
Classe 2	46,50%	53,50%
Média	57,30%	42,70%

As Classes 3 e 4 foram suprimidas da análise por serem pouco representativas, uma vez que somente 30 exemplos pertenciam à Classe 3, e 12 a Classe 4, o que no total correspondia a 10% dos dados.

Quando se analisa os resultados da cidade de Florianópolis, cujo pagamento aos funcionários ocorre mediante um acréscimo ao salário-base proporcionalmente à sua produção, observa-se a tendência do fator comprimento ter maior importância na categorização dos indicadores de produtividade, os quais tendem a assumir valores melhores, quando os comprimentos médios são maiores.

4.4.2 Maringá

O esquema de classificação *weka.classifiers.trees.J48 -C 0.05 -M 2* foi aplicado ao conjunto dos 12 atributos pré-selecionados, com 314 instâncias correspondentes à cidade de Maringá. O teste foi realizado por validação cruzada e resultou na árvore de decisão apresentada a seguir e na Figura 24:

experiencia = 10-15: 0.77-0.99 (118.0/39.0)

experiencia = 15-20: 0.58-0.76 (113.0/66.0)

experiencia = 20-25: 0.58-0.76 (84.0/39.0)

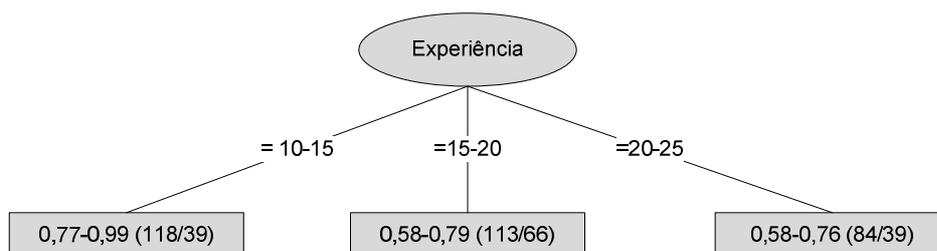


Figura 24 - Árvore de decisão para dados de Maringá

As taxas obtidas de acerto e erro são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Avaliação da classificação - Maringá

	Acerto	Erro
Classe 3	68,50%	31,50%
Classe 4	59,10%	40,90%
Média	63,80%	36,20%

As classes 1 e 2 foram suprimidas da análise por não serem relevantes neste caso, uma vez que são pouco representativas pelo baixo número de instâncias dessas classes: 2 pertencem à classe 1 e 54, à classe 2 (17% do total de dados).

Pelos resultados obtidos para a cidade de Maringá, cujo pagamento aos funcionários é por salário fixo mensal, observa-se que o atributo que assume a maior importância na categorização dos indicadores de produtividade é a experiência dos pedreiros. A tendência que se observa é de que, quanto maior for a experiência do profissional, melhor será a sua produtividade.

4.4.3 Dados globais

Aplicou-se o esquema de classificação *weka.classifiers.trees.J48 -C 0.05 -M 2* ao conjunto dos 11 atributos selecionados anteriormente com 753 instâncias (exemplos) que contemplam dados das cidades de Florianópolis e Maringá. O teste foi realizado por validação cruzada. A árvore de decisão é apresentada a seguir e na Figura 25:

```

pagamento = Produção
| altura = ate-1.0: 0.39-0.57 (89.0/43.0)
| altura = 1.01-1.4: ate-0.38 (153.0/70.0)
| altura = 1.41-1.8: ate-0.38 (116.0/52.0)
| altura = 1.81-2.0: ate-0.38 (36.0/14.0)
| altura = acima-2.01: ate-0.38 (22.0/10.0)
pagamento = Salário
| experiencia = ate-10: 0.39-0.57 (0.0)
| experiencia = 10-15: 0.58-0.76 (126.0/60.0)
| experiencia = 15-20: 0.39-0.57 (119.0/55.0)
| experiencia = 20-25: 0.39-0.57 (85.0/23.0)
| experiencia = 25-30: 0.39-0.57 (0.0)

```

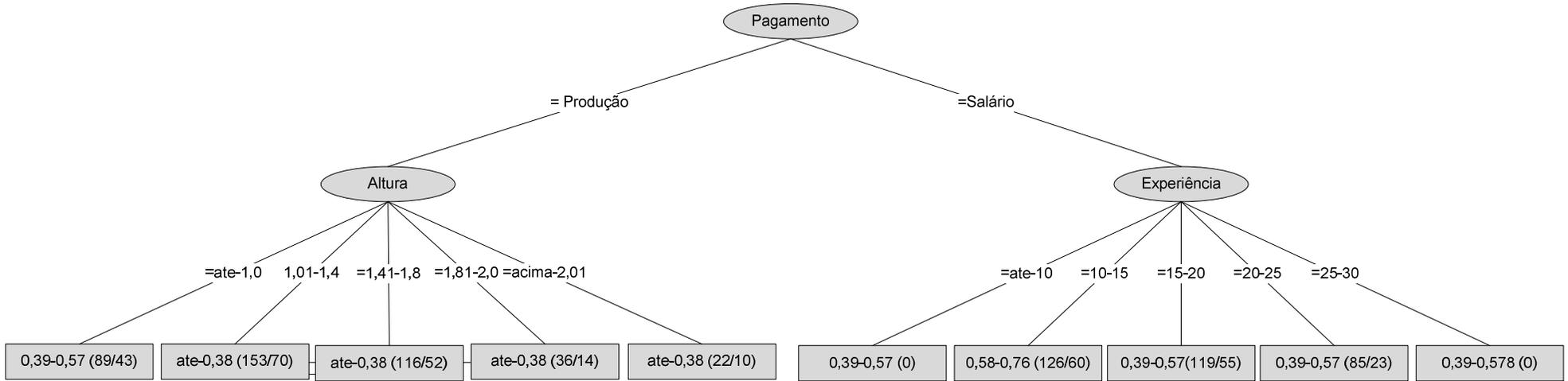


Figura 25 - Árvore de decisão - 11 atributos

Considerando as quatro faixas de classificação da RUP, observam-se as taxas obtidas de acerto e erro na Tabela 15.

Tabela 15 - Avaliação da classificação - Global

	Acerto	Erro
Classe 1	79,91%	20,09%
Classe 2	51,21%	48,79%
Classe 3	41,18%	58,82%
Classe 4	8,16%	91,84%

A melhor taxa de classificação foi obtida pela Classe 1, a qual corresponde à faixa de RUP entre 0,25 e 0,39 Hh/m². Para a Classe 4, observa-se baixa acuidade por causa do pequeno número de instâncias nesta faixa, fato que compromete este resultado.

Da árvore de decisão, pode-se concluir, com 95% de confiabilidade, que:

- Em torno de 48% dos dados de produtividade, quando o pagamento é por produção e a altura é de até 1,0m, ficam entre 0,39 e 0,57 Hh/m² (Classe 2), ou seja, entre 2,56 a 1,75 m²/Hh.
- Quando o pagamento é por produção e a altura entre 1,01m e 1,40m, 45,8% das RUPs estão entre 0,25 e 0,39 Hh/m² (Classe 1), ou seja, entre 4,00 e 2,63m²/Hh.
- 44,8% dos dados de produtividade, quando o pagamento é por produção e a altura permanece entre 1,41m e 1,80m, ficam entre 0,25 e 0,39 Hh/m² (Classe 1), ou seja, entre 4,00 e 2,63m²/Hh.
- Quando o pagamento é por produção e a altura entre 1,81m e 2,00m, 38,9% das RUPs estão entre 0,25 e 0,39 Hh/m² (Classe 1), ou seja, entre 4,00 e 2,63m²/Hh.
- 45,5% das instâncias, quando o pagamento é por produtividade e a altura é maior que 2,01m, ficam entre 0,25 e 0,39 Hh/m² (Classe 1), ou seja, entre 4,00 e 2,63m²/Hh.
- Quando o pagamento é por salário mensal e a experiência do pedreiro é de 10 a 15 anos, 47,6% das RUPs ficam entre 0,58-0,76 Hh/m² (Classe 3), ou seja, entre 1,72 a 1,31m²/Hh.

- Quando o pagamento é por salário mensal e a experiência do pedreiro é de 15,1 a 20 anos, 46,2% das RUPs ficam entre 0,39 e 0,57 Hh/m² (Classe 2), ou seja, entre 2,56 a 1,75 m²/Hh.
- Quando o pagamento é por salário mensal e a experiência do pedreiro é de 20,1 a 25 anos, 27,1% das RUPs ficam entre 0,39 e 0,57 Hh/m² (Classe 2), ou seja, entre 2,56 a 1,75 m²/Hh.

Pelos resultados obtidos, observa-se que:

- 1) quando o pagamento é por produtividade, a execução de paredes com baixas alturas (poucas fiadas) conduzem a menores índices de produtividade. Portanto, para obter-se produtividades melhores, a programação do serviço deve evitar o espalhamento. Deve favorecer a execução de menor número de paredes, com maior altura de execução possível;
- 2) quando o pagamento é por salário mensal, a experiência do pedreiro é o diferencial para se obter melhores índices de produtividade. Profissionais com maior tempo de experiência tendem a produzir mais que os com menor experiência.

Pode-se concluir que, quando a Empresa Construtora adota a política de pagamento em função da produção do pedreiro, os índices de produtividade alcançados são melhores.

4.5 Sistema de informação - SisRN

O sistema, denominado SisRN, desenvolvido neste trabalho, foi feito para o ambiente Windows, escrito com a linguagem Visual Basic 5.0. Um dos motivos da utilização dessa ferramenta é a boa interface entre o usuário-programa que facilita a utilização. Nesta seção são descritas as janelas do programa e os algoritmos de treinamento e teste.

Na Figura 26, apresenta-se a janela inicial do SisRN, a qual contém os ícones de acesso aos módulos de ENTRADA DE DADOS, de TREINAMENTO, de TESTE, de PODA, de GRÁFICO EQM e de SAIR.

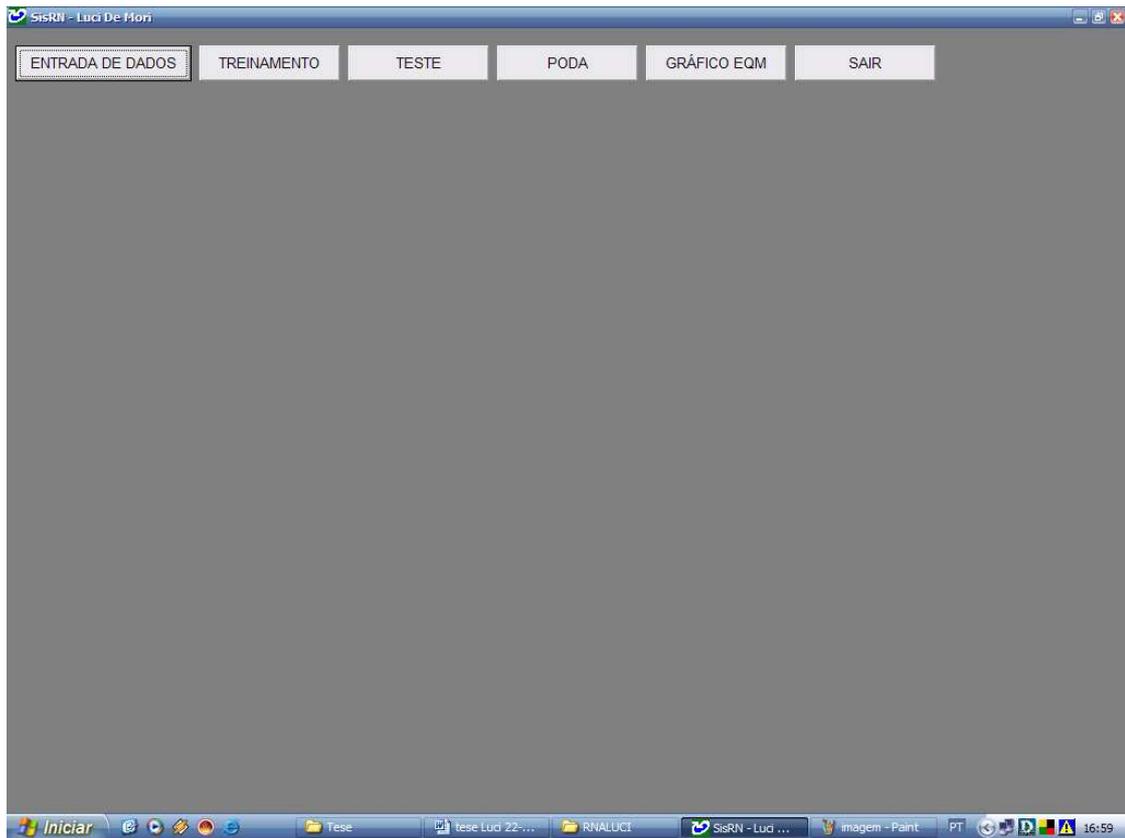


Figura 26 - Janela inicial SisRN

O módulo ENTRADA DE DADOS é o responsável por receber o arquivo de dados. Na Figura 27, apresenta-se a janela ENTRADA DE DADOS, nela inserem-se os nomes da rede neural artificial a ser testada, do arquivo de treinamento e do arquivo de teste. Ao se acionar o ícone “Carregar Dados”, o sistema cria a rede neural artificial.

Os arquivos de treinamento e os de teste devem ser no formato .cvc. A primeira coluna deve conter a classe da entrada, seguida por seus atributos separados por ponto e vírgula.

Os dados de entrada devem estar normalizados, dentro de um intervalo de (-1 a 1), de modo que a média seja próxima a zero.

Figura 27 - Janela ENTRADA DE DADOS

Após determinarem-se os elementos citados anteriormente, a janela se expande para que os demais parâmetros da rede neural artificial possam ser definidos. A Figura 28 apresenta a tela na qual são feitas tais inserções. Ela apresenta o número de atributos para treinamento e teste (entradas da rede neural artificial), o número de classes para a classificação e o número de amostras utilizadas para treinamento e teste.

Figura 28 - Janela de entrada de parâmetros da RN

A partir desta janela, procede-se a definição dos demais parâmetros da rede neural artificial. Definem-se o número de neurônios da camada oculta, a taxa de aprendizagem e a constante de momento a serem utilizados no treinamento, assim como se os exemplos serão apresentados aleatoriamente à rede neural artificial durante o treinamento.

O treinamento da rede neural artificial é executado a partir da janela TREINAMENTO, apresentada na Figura 29. Seleciona-se a rede neural artificial a ser treinada dentre as disponíveis na lista de redes neurais artificiais. Posteriormente, definem-se os critérios de parada do treinamento, ou seja: o número máximo de épocas e o erro de parada. A rede pára o treinamento ao atingir o primeiro deles. O ícone treinamento desencadeia o processo.

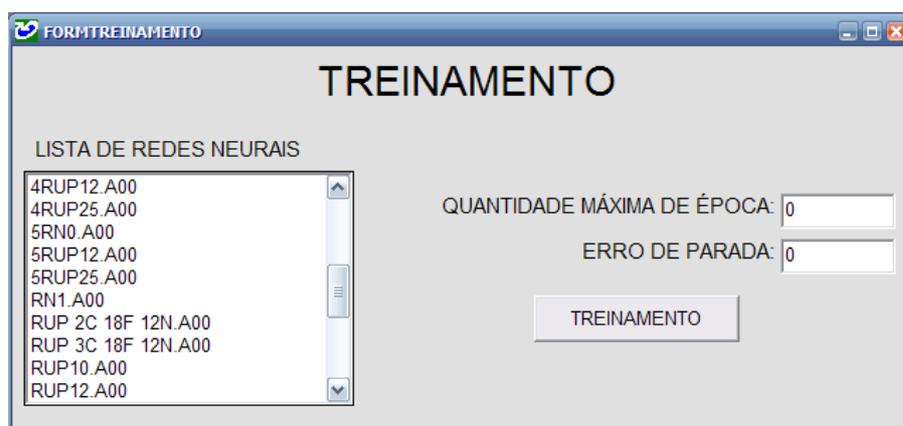


Figura 29 - Janela TREINAMENTO

A Figura 30 apresenta a janela TESTE. Ao se selecionar a rede neural artificial dentre as listadas e se acionar o ícone TESTE, inicia-se o procedimento de teste da rede neural artificial com o conjunto de exemplos inserido no sistema no módulo de ENTRADA DE DADOS.

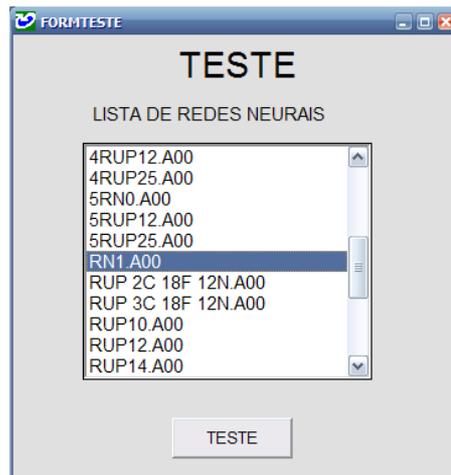


Figura 30 - Janela TESTE

Ao finalizar o teste, o sistema apresenta a janela na qual constam os resultados obtidos (Figura 31).

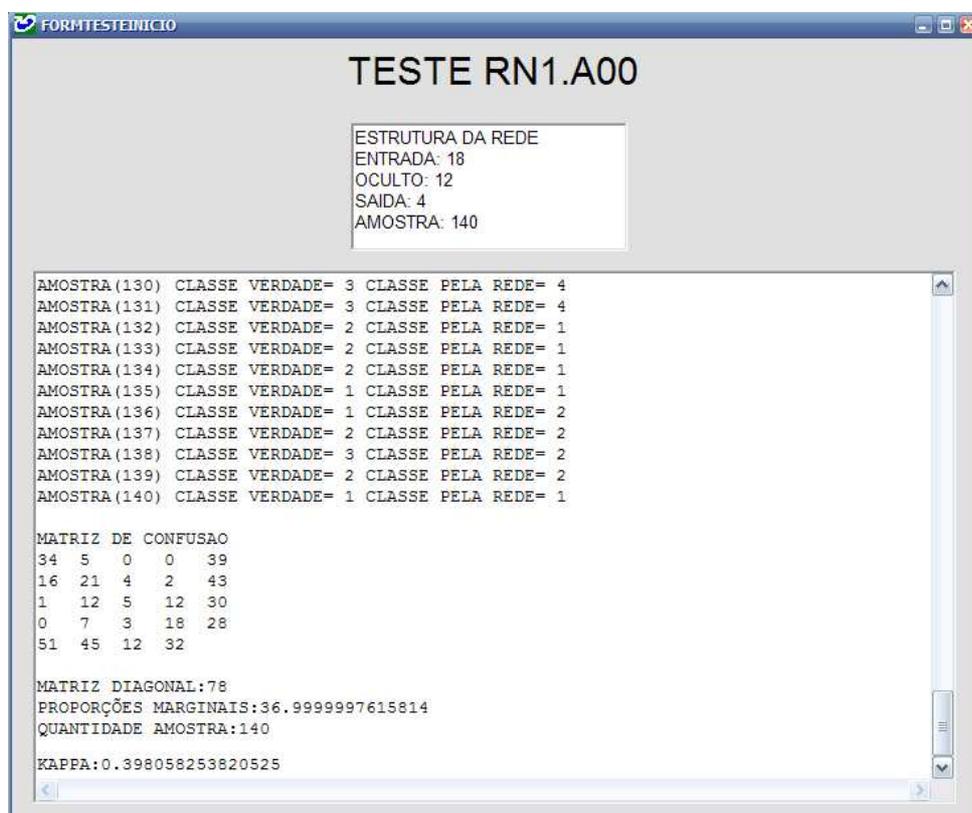


Figura 31 - Janela TESTE: resultados

Inicialmente, a janela apresenta as características e os parâmetros da rede neural artificial testada e, posteriormente, apresenta uma listagem indicando a classe a que pertence cada uma das instâncias testadas (classe real) seguida da classe em que a rede neural artificial a classificou (predição). Ao final, apresenta os parâmetros para avaliação do desempenho da rede neural artificial em experimentação, como matriz de confusão, somatória da diagonal da matriz de confusão (totalização das classificações corretas) e o Coeficiente Kappa.

A janela PODA (Figura 32) é a forma para se proceder a análise de poda da rede. Para tal é necessário, após selecionar a rede neural artificial, escolher a entrada a ser suprimida no teste.

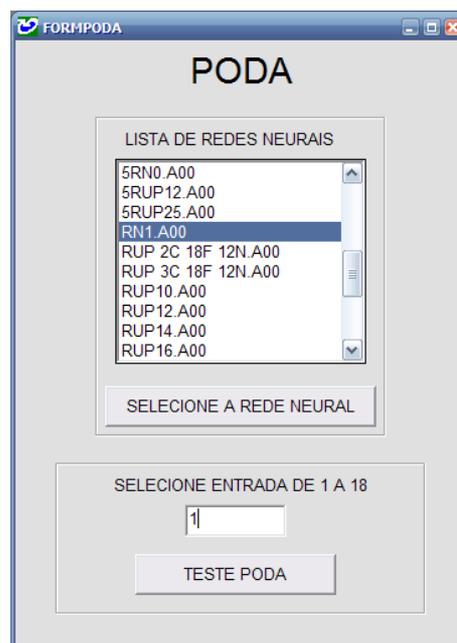


Figura 32 - Janela PODA: entrada de dados

Desse modo, será possível analisar o desempenho da rede sem essa determinada entrada, a partir da matriz de confusão, do somatório da diagonal da matriz de confusão e do Coeficiente Kappa (Figura 33).

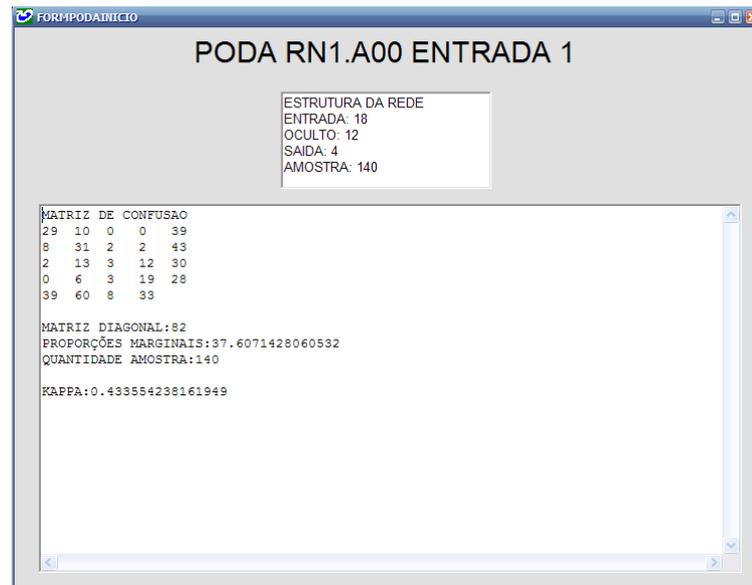


Figura 33 - Janela PODA: resultados

O sistema apresenta, a partir da Janela GRÁFICO EQM (Figura 34), a possibilidade de se analisar o gráfico da evolução do treinamento a partir da análise da redução do erro quadrático médio (EQM) com o aumento do número de apresentação dos padrões à rede neural artificial.

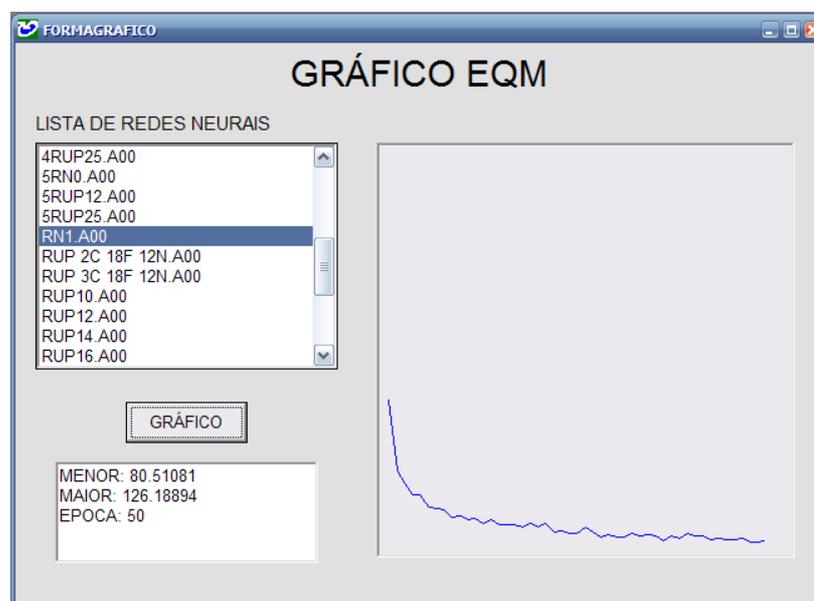


Figura 34 - Janela GRÁFICO EQM

A Figura 35 apresenta o fluxograma de síntese de aplicação do sistema de informações gerenciais SisRN, considerando as várias etapas a serem desenvolvidas ao longo de sua utilização.

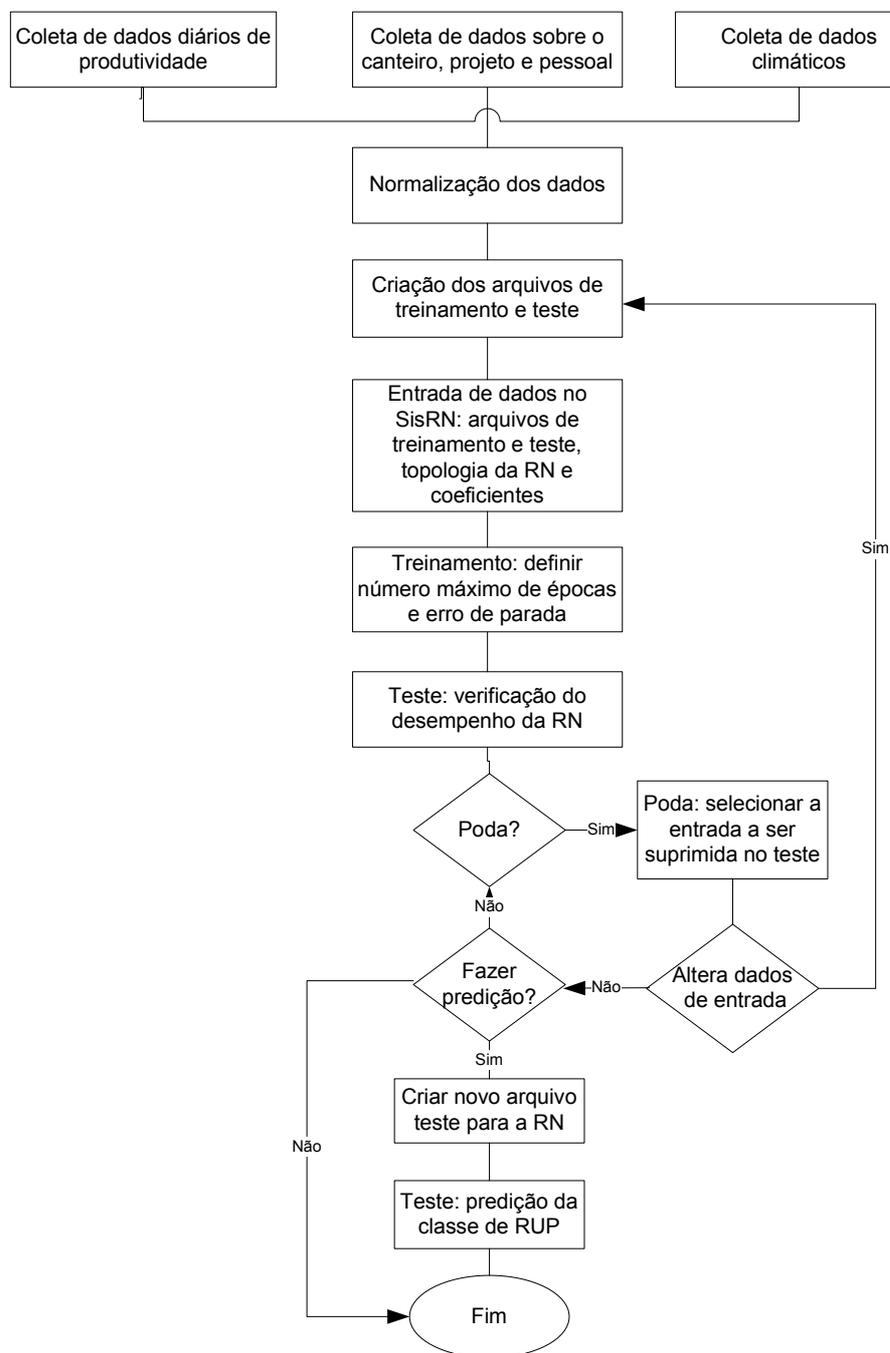


Figura 35 - Síntese da aplicação do SisRN

O Algoritmo 1 e 2, transcritos a seguir, descrevem os algoritmos de treinamento e teste, usados na implementação do SisRN, com suas principais rotinas.

Algoritmo 1: Treinamento

```

vm_epoca = 1
while vm_epoca ≤ vm_epoca_max do
  {vm_epoca_max número máximo de épocas}
  if vm_ran then
    F_ran_conf {Randomiza a ordem dos padrões}
  end if
  for N=1 to vm_m do
    {vm_m tamanho do conjunto de treinamento}
    Call f_entrada (N, 1) {Insere os dados da amostra na matriz Y}
    Call f_frente(N) {Calcula a fase para frente da rede}
    f_erro (N) {Calcula o erro entre a saída desejada e saída da rede}
    f_tras (N) {Calcula a fase para trás da rede}
    call f_ajuste (N) {Ajuste de pesos - modo sequencial}
  end for
  call f_eqm {Cálculo do Erro Quadrático Médio (EQM) da época}
  if EQM (vm_epo_atu) ≤ vm_erro_parada then
    exit do {Encerra-se, EQM atingiu o erro de parada}
  end if
  vm_epoca = vm_epoca + 1
end while
End Sub

```

Algoritmo 2: Teste

```

for N =1 to vm_m do
  {vm_m tamanho do conjunto de treinamento}
  Call f_entrada (N, 3) {Insere os dados da amostra na matriz Y}
  Call f_frente (N) {Calcula a fase para frente da rede}
  f_compara (N) {Compara se a rede classificou certo ou errado e cria a
  {matriz de confusão}
end for
f_kappa {Calcula o coeficiente Kappa}
End Sub

```

4.6 Experimentação

Este item descreve os experimentos realizados, aplicando-se ao sistema de informações gerado os dados de produtividade de alvenaria de elevação em blocos cerâmicos. Estuda-se qual a melhor topologia da rede e qual a melhor taxa de aprendizagem e coeficiente de momento para treinamento para a base de dados disponível, a fim de se obter as redes neurais artificiais que melhor generalizam.

As experiências foram divididas em três grupos: experimentos com o conjunto de dados da cidade de Florianópolis, experimentos usando a base de dados da cidade de Maringá e, por fim, experimentos usando a base de dados globais.

Foi escolhida uma nomenclatura para as redes de forma a representar, pela ordem, as seguintes características: letra caracterizando a origem do conjunto de dados (F – Florianópolis, M – Maringá ou G – dados globais), seguida de um número correspondente ao número de parâmetros de entrada (quantidade de variáveis de entrada), do número de neurônios na camada oculta e do número de neurônios na camada de saída. Por exemplo, F10252 é uma rede neural artificial com dados da cidade de Florianópolis, com 10 entradas, 25 neurônios na camada oculta e 2 neurônios na camada de saída.

4.6.1 Florianópolis

A Tabela 16 apresenta a quantificação dos grupos de treinamento e teste e suas respectivas classes. Foram suprimidas as instâncias das Classes 3 e 4 do conjunto de dados, uma vez que o número de exemplos dessas classes se mostrou insuficiente para proporcionar aprendizado da rede para essas categorias. Retirou-se da amostra 42 exemplos, 34 do conjunto de treinamento e 8 do conjunto de teste.

Tabela 16 - Distribuição dos exemplos por classe - Florianópolis

Classe	Total	Treino	Teste
1	204	165	39
2	170	137	33
3	30	24	6
4	12	10	2
Total	416	336	80

Os intervalos de RUP adotados para as classes são os apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Classes de RUP - Florianópolis

Classe	Intervalo de RUP
Classe 1	Até 0,38 Hh/m ²
Classe 2	0,38-0,57 Hh/m ²

A seguir, apresentam-se os testes relativos à topologia e aos parâmetros de treinamento.

4.6.1.1 Topologia da rede neural artificial

Empregou-se, inicialmente, a rede neural artificial com uma camada de entrada consistindo de 18 nós que representam os seguintes fatores: comprimento, temperatura, altura, controle, experiência, canteiro, interna-externa, umidade, pessoal administrativo, comprimento de corte, idade, mão-de-obra, densidade, dia, área circular, andaime, espessura e encarregado; uma camada oculta, na qual se variou o número de neurônios (10, 15, 20, 25 e 30) e uma camada de saída com dois neurônios, os quais indicam a classe a que pertence o valor da Razão Unitária de Produção (RUP) diária (Classe 1 e Classe 2).

Com os experimentos, observou-se que o melhor resultado foi obtido com 10 neurônios na camada oculta, tendo a rede neural artificial de topologia 18-10-2 o melhor desempenho de classificação, conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultado dos testes de topologia da RN – Florianópolis

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
F18102	18	10	0,462	53,0	0,74
F18152		15	0,437	52,5	0,73
F18202		20	0,442	52,5	0,73
F18252		25	0,438	52,5	0,73
F18302		30	0,433	52,0	0,72

Procedeu-se também o treino de RNs, considerando na camada de entrada, os 24 atributos monitorados e os 6 atributos que foram suprimidos durante a seleção de

atributos descrita no item 4.3. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados RN 24 atributos e 6 atributos excluídos - Florianópolis

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
F24102	24	10	0,180	43,0	0,60
F24152		15	0,187	44,0	0,61
F24202		20	0,289	47,0	0,65
F24252		25	0,179	43,0	0,60
F24302		30	0,266	46,0	0,64
FE6102	6	10	0,289	47,0	0,65
FE6152		15	0,225	45,0	0,63
FE6202		20	0,283	47,0	0,65
FE6252		25	0,273	46,0	0,64
FE6302		30	0,230	45,0	0,63

Os desempenhos destas redes neurais artificiais são expressivamente inferiores ao da rede neural artificial de topologia 18-10-2, composta pelos 18 fatores obtidos pela seleção de atributos.

4.6.1.2 Poda da rede

O Quadro 9 apresenta a relação dos atributos, conforme foram suprimidos em função da poda dos fatores.

Para cada um dos conjuntos de atributos relacionados no Quadro 9, foram treinados e testadas redes neurais artificiais para se avaliar o desempenho destas, as quais são caracterizadas por diferentes conjuntos de atributos.

Conforme pode ser observado na Tabela 20, a rede neural artificial com melhor desempenho foi a de topologia 15-30-2. As entradas dessa rede são os seguintes atributos: experiência, mão-de-obra, controle, canteiro, comprimento, altura, comprimento de corte, pessoal administrativo, temperatura, idade, encarregado, alvenaria/tipo, espessuras, área circular e umidade. Para essa rede, o percentual de acerto chegou a 76%.

16 Fatores	15 Fatores	14 Fatores	13 Fatores	10 Fatores	9 Fatores	8 Fatores
Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura
Densidade	Densidade	Densidade	Densidade			
Área circular	Área circular	Área circular	Área circular			
Canteiro	Canteiro	Canteiro	Canteiro	Canteiro	Canteiro	
Compr. corte	Compr. corte	Compr. corte				
Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento
Controle	Controle	Controle	Controle	Controle		
Encarregado	Encarregado	Encarregado	Encarregado	Encarregado	Encarregado	Encarregado
Espessuras	Espessuras	Espessuras				
Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência
Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade
Interna-externa						
Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra
Pessoal adm.	Pessoal adm.	Pessoal adm.				
Temperatura	Temperatura					
Umidade	Umidade	Umidade	Umidade			

Quadro 9 - Poda de rede para redução do número de fatores – Florianópolis

Tabela 20 - Teste de poda - Florianópolis

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
F16102	16	10	0,470	53,0	0,74
F16152		15	0,433	52,0	0,72
F16202		20	0,472	53,0	0,74
F16252		25	0,430	52,0	0,72
F16302		30	0,433	52,0	0,72
F15102	15	10	0,474	53,0	0,74
F15152		15	0,460	53,0	0,74
F15202		20	0,482	54,0	0,75
F15252		25	0,425	51,0	0,71
F15302		30	0,517	55,0	0,76
F14102	14	10	0,382	50,0	0,69
F14152		15	0,417	51,0	0,71
F14202		20	0,484	54,0	0,75
F14252		25	0,465	53,0	0,74
F14302		30	0,332	48,0	0,67
F13102	13	10	0,316	48,0	0,67
F13152		15	0,336	49,0	0,68
F13202		20	0,329	48,0	0,67
F13252		25	0,313	48,0	0,67
F13302		30	0,271	46,5	0,65
F10102	10	10	0,266	46,0	0,64
F10152		15	0,252	46,0	0,64
F10202		20	0,287	46,5	0,65
F10252		25	0,261	46,0	0,64
F10302		30	0,272	46,5	0,65
F8102	8	10	0,271	46,0	0,64
F8152		15	0,238	45,0	0,63
F8202		20	0,258	45,5	0,63
F8252		25	0,289	47,0	0,65
F8302		30	0,227	45,0	0,63

A Tabela 21 apresenta os melhores resultados obtidos nas simulações para as diferentes redes neurais artificiais. Pode-se observar que houve uma melhora no desempenho da RN com a redução do número de nós de entrada (atributos), atingindo o máximo desempenho de generalização com 15 atributos. Na seqüência, ao se reduzir ainda mais o número de atributos, o desempenho tendeu a uma piora. Isso pode ser constatado a partir dos valores do coeficiente Kappa e do percentual de acertos.

Tabela 21 - Melhores desempenhos - Florianópolis

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
F24202	24	20	0,289	47,0	0,65
F18102	18	10	0,462	53,0	0,74
F16102	16	10	0,470	53,0	0,74
F15302	15	30	0,517	55,0	0,76
F14202	14	20	0,484	54,0	0,75
F13152	13	15	0,316	49,0	0,68
F10202	10	20	0,287	46,5	0,65
F8252	8	25	0,289	47,0	0,65
FE6102	6E	10	0,289	47,0	0,65

Considerando que os valores de Kappa situados entre 0,40 e 0,75 representam concordâncias de suficiente à boa, pode-se dizer que para a simulação F15302, considerada a melhor, houve um desempenho mediano na generalização, uma vez que o coeficiente Kappa para esta rede neural artificial foi igual a 0,517.

Na matriz de confusão da rede neural artificial F15302, mostrada na Tabela 22, pode-se observar que houve uma boa generalização para a Classe 1, chegando a atingir 92% de acerto na classificação.

Tabela 22 - Matriz de confusão da rede neural artificial F15302

	Classe 1	Classe 2	Total	% Acerto
Classe 1	32	7	39	0,92
Classe 2	10	23	33	0,70
Total	42	30	72	

4.6.1.3 Parâmetros de treinamento

Observando os resultados apresentados na Tabela 23, conclui-se que os melhores parâmetros para o treinamento da rede neural artificial analisada são taxa de aprendizagem igual a 0,1 e coeficiente de momento igual a 0,0.

Tabela 23 - Resultado dos testes de parâmetros de treinamento - Florianópolis

Rede	lr	mc	Kappa	Acertos	Acertos (%)
FP10	0,1	0,0	0,517	55,0	0,76
FP11	0,1	0,1	0,424	52,0	0,72
FP15	0,1	0,5	0,364	50,0	0,69
FP19	0,1	0,9	0,223	43,0	0,60
FP50	0,5	0,0	0,321	47,0	0,65
FP51	0,5	0,1	0,043	35,0	0,49
FP55	0,5	0,5	0,091	37,0	0,51
FP59	0,5	0,9	-0,047	34,0	0,47
FP90	0,9	0,0	0,075	40,0	0,56
FP91	0,9	0,1	0,000	33,0	0,46
FP95	0,9	0,5	-0,013	33,0	0,47
FP99	0,9	0,9	-0,013	33,0	0,46

4.6.2 Maringá

Inicialmente, usou-se a rede neural artificial com a camada de entrada consistindo de 16 nós, conforme as variáveis obtidas na seleção de atributos descrita no item 4.3, ou seja: altura, experiência, área circular, interna-externa, comprimento de corte, satisfação, densidade, idade, equipe, temperatura, andaime, comprimento, espessura, encarregado, pavimento e junta vertical; uma camada oculta e uma camada de saída com dois neurônios, os quais indicam a classe a que pertence o valor da Razão Unitária de Produção (RUP) diária. Dado ao fato da amostra contemplar poucos exemplos das classes 1 e 2, foram retirados tais exemplos do conjunto de dados, uma vez que esse número se mostrou insuficiente para o aprendizado da rede. Suprimiu-se da amostra 56 exemplos, 46 do conjunto de treinamento e 10 do conjunto de teste (Tabela 24).

Tabela 24 - Distribuição dos exemplos por classes - Maringá

Classe	Total	Treino	Teste
1	2	2	0
2	54	44	10
3	127	103	24
4	131	105	26
Total	314	254	60

Os intervalos de RUP adotados para as classes são os apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Classes de RUP - Maringá

Classe	Intervalo de RUP
Classe 3	0,58-0,76 Hh/m ²
Classe 4	0,77-0,99 Hh/m ²

A seguir, apresentam-se os testes relativos à topologia e aos parâmetros de treinamento para o conjunto de dados de Maringá.

4.6.2.1 Topologia da rede neural artificial

Ao realizar os experimentos, observou-se que os melhores resultados foram obtidos com 15 neurônios na camada oculta, tendo a rede neural artificial de topologia 16-15-2 o melhor desempenho de classificação, conforme apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Resultado dos testes de topologia da RN – Maringá

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
M16102	16	10	0,228	30,0	0,60
M16152		15	0,248	31,0	0,62
M16202		20	0,160	29,0	0,58
M16252		25	0,158	29,0	0,58
M16302		30	0,175	30,0	0,60

Realizou-se também o treino de redes neurais artificiais, considerando os 24 atributos monitorados e os 6 atributos que foram suprimidos durante a seleção de atributos descrita no item 4.3. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados RN 22 atributos e 6 atributos excluídos - Maringá

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
M22102	22	10	0,023	26,0	0,52
M22152		15	0,068	27,0	0,54
M22202		20	-0,038	24,0	0,48
M22252		25	-0,045	24,0	0,48
M22302		30	0,077	27,0	0,54
ME6102	6E	10	0,106	27,0	0,54
ME6152		15	0,097	26,0	0,52
ME6202		20	0,183	28,0	0,56
ME6252		25	0,094	26,5	0,53
ME6302		30	0,038	26,0	0,52

Os desempenhos dessas redes neurais artificiais foram inferiores ao da rede neural artificial de topologia 16-10-2, composta pelos 16 fatores obtidos pela seleção de atributos.

4.6.2.2 Poda da rede

Realizou-se a poda da rede, conforme processo descrito anteriormente. O Quadro 10 apresenta a relação dos atributos, conforme foram sendo suprimidos em função da execução da poda dos fatores.

15 Fatores	12 Fatores	9 Fatores	8 Fatores	7 Fatores	6 Fatores	5 Fatores	4 Fatores
Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura
Densidade	Densidade	Densidade	Densidade	Densidade	Densidade		
Andaime	Andaime						
Área circular	Área circular	Área circular	Área circular				
Compr. corte	Compr. corte	Compr. corte	Compr. corte	Compr. corte			
Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento
Encarregado	Encarregado	Encarregado					
Equipe	Equipe	Equipe	Equipe	Equipe	Equipe	Equipe	Equipe
Espessuras	Espessuras						
Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência
Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	
Interna-externa							
Junta vertical							
Pavimento							
Satisfação	Satisfação						

Quadro 10 - Poda de rede para redução do número de fatores - Maringá

Para cada um dos conjuntos de atributos relacionados no Quadro 10, foram treinados e testados RNs para se avaliar o desempenho destas, as quais são caracterizadas por diferentes conjuntos de atributos.

Conforme pode ser observado na Tabela 28, a rede neural artificial com melhor desempenho foi a de topologia 5-15-2.

Tabela 28 - Teste de poda – Maringá

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
M15102	15	10	0,248	31,5	0,63
M15152		15	0,230	31,0	0,62
M15202		20	0,146	29,0	0,58
M15252		25	0,161	29,0	0,58
M15302		30	0,233	31,0	0,62
M12102	12	10	0,353	34,0	0,68
M12152		15	0,363	34,0	0,68
M12202		20	0,355	34,0	0,68
M12252		25	0,228	31,0	0,62
M12302		30	0,269	32,0	0,64
M9102	9	10	0,400	35,0	0,70
M9152		15	0,398	35,0	0,70
M9202		20	0,361	34,0	0,68
M9252		25	0,390	35,0	0,70
M9302		30	0,223	31,0	0,62
M8102	8	10	0,400	35,0	0,70
M8152		15	0,268	32,0	0,64
M8202		20	0,402	35,0	0,70
M8252		25	0,304	32,5	0,65
M8302		30	0,356	34,0	0,68
M7102	7	10	0,416	35,5	0,71
M7152		15	0,394	35,0	0,70
M7202		20	0,396	35,0	0,70
M7252		25	0,358	34,0	0,68
M7302		30	0,396	35,0	0,70
M6102	6	10	0,302	33,0	0,66
M6152		15	0,421	35,5	0,71
M6202		20	0,254	31,5	0,63
M6252		25	0,132	29,0	0,58
M6302		30	0,369	34,0	0,68
M5102	5	10	0,274	32,0	0,64
M5152		15	0,449	37,0	0,74
M5202		20	0,435	36,0	0,72
M5252		25	0,432	36,0	0,72
M5302		30	0,396	35,0	0,70
M4102	4	10	0,106	27,0	0,54
M4152		15	0,311	33,0	0,66
M4202		20	0,095	28,0	0,56
M4252		25	0,225	31,0	0,62
M4302		30	0,175	30,0	0,60

As entradas dessa rede são os seguintes atributos: equipe, idade, experiência, comprimento e altura. Para esta rede, o percentual de acerto chegou a 72%.

Na Tabela 29, na qual se apresenta os melhores resultados das experimentações, pode-se visualizar a melhoria do desempenho na generalização da rede neural artificial ao se reduzir o número de entradas, atingindo o máximo com 5 nós de entrada. Pode-se observar que, mesmo para a melhor simulação, M5152, o desempenho foi pouco satisfatório, já que o coeficiente Kappa foi igual a 0,439, um pouco acima do limite mínimo considerado pela literatura como concordância de suficiente a boa.

Tabela 29 - Melhores desempenhos - Maringá

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
M22152	22	15	0,068	27,0	0,54
M16102	16	10	0,228	30,0	0,60
M15102	15	10	0,248	31,5	0,63
M12152	12	15	0,363	34,0	0,68
M9102	9	10	0,400	35,0	0,70
M8102	8	10	0,400	35,0	0,70
M7102	7	10	0,416	35,5	0,71
M6152	6	15	0,421	35,5	0,71
M5152	5	15	0,439	36,0	0,72
M4152	4	15	0,311	33,0	0,66
ME6202	6E	20	0,183	28,0	0,56

Apresenta-se na Tabela 30 a matriz de confusão da rede neural artificial M5152. Nessa pode-se observar que para as Classes 3 e 4 houve uma razoável generalização, atingindo um acerto em torno de 70% das instâncias do conjunto de teste.

Tabela 30 - Matriz de confusão da rede neural artificial M5152

	Classe 3	Classe 4	Total	% Acerto
Classe 3	17	7	24	0,71
Classe 4	7	19	26	0,73
Total	24	26	50	

4.6.2.3 Parâmetros de treinamento

A partir do uso da melhor topologia de rede neural artificial encontrada na etapa anterior, 5-15-2, realizou-se a investigação da melhor combinação de parâmetros de treinamento.

Observando os resultados dos experimentos (Tabela 31), conclui-se que os melhores parâmetros para o treinamento da rede neural artificial analisada são taxa de aprendizagem igual a 0,1 e coeficiente de momento igual a 0,0.

Tabela 31 - Resultado dos testes de parâmetros de treinamento - Maringá

Rede	lr	mc	Kappa	Acertos	Acertos (%)
MP10	0,1	0,0	0,435	36,0	0,72
MP11	0,1	0,1	0,267	32,0	0,64
MP15	0,1	0,5	0,194	30,0	0,60
MP19	0,1	0,9	0,346	33,5	0,67
MP50	0,5	0,0	0,089	28,0	0,56
MP51	0,5	0,1	0,366	34,0	0,68
MP55	0,5	0,5	0,125	28,5	0,57
MP59	0,5	0,9	0,000	26,0	0,52
MP90	0,9	0,0	0,000	26,0	0,52
MP91	0,9	0,1	0,180	30,0	0,60
MP95	0,9	0,5	0,000	26,0	0,52
MP99	0,9	0,9	0,000	25,0	0,50

4.6.3 Dados globais

A topologia inicialmente experimentada foi a rede neural artificial com uma camada de entrada, consistindo de 17 nós, conforme as variáveis obtidas na seleção de atributos descrita no item 4.3, ou seja: pagamento, densidade, experiência, controle, área circular, equipe, umidade, canteiro, temperatura, pessoal administrativo, altura, comprimento, encarregado, verga, idade, espessura e mão-de-obra; uma camada oculta e uma camada de saída com quatro neurônios que indicam a classe a que pertence o valor da Razão Unitária de Produção (RUP) diária.

A Tabela 32 apresenta a quantificação dos grupos de treinamento e teste por classe e no total.

Tabela 32 - Distribuição dos exemplos por classe

Classe	Total	Treino	Teste
1	214	175	39
2	325	260	65
3	159	130	29
4	32	25	7
Total	730	590	140

A seguir, apresentam-se testes referentes à topologia (número de neurônios na camada oculta) e aos parâmetros de treinamento, buscando identificar as características da rede neural artificial que proporcionam a melhor generalização.

4.6.3.1 Topologia da rede neural artificial

Após a execução dos vários testes, constatou-se que os melhores resultados para essa topologia ocorrem quando se usa 10 neurônios na camada oculta, tendo a rede neural artificial de topologia 17-10-4 o melhor desempenho de classificação, atingindo um percentual de 64% de acerto, conforme Tabela 33.

Tabela 33 - Resultado dos testes de topologia da RN - Global

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
G17104	17	10	0,457	89,0	0,64
G17154		15	0,380	83,0	0,59
G17204		20	0,379	83,0	0,59
G17254		25	0,363	81,0	0,58
G17304		30	0,394	84,0	0,60
G17404		40	0,376	84,0	0,60

Procedeu-se também o treino de redes neurais artificiais, considerando todos os 24 atributos monitorados e os 8 atributos que foram suprimidos pela seleção de atributos descrita no item 4.3. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 34.

O desempenho dessas duas redes neurais artificiais foram inferiores à de topologia 17-10-4, composta pelos 17 fatores obtidos pela seleção de atributos.

Tabela 34 - Resultados RN 24 atributos e 8 atributos excluídos – Global

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
G24104	24	10	0,305	78,0	0,56
G24154		15	0,365	82,0	0,59
G24204		20	0,361	79,0	0,56
G24254		25	0,290	72,0	0,51
G24304		30	0,290	72,0	0,51
G24404		40	0,322	76,0	0,54
GE8104	E8	10	0,379	83,0	0,59
GE8154		15	0,171	73,0	0,52
GE8204		20	0,326	78,0	0,56
GE8254		25	0,310	76,0	0,54
GE8304		30	0,318	77,0	0,55
GE8404		40	0,350	81,0	0,58

4.6.3.2 Poda da rede

Prodeceu-se a poda da rede, conforme processo descrito anteriormente. No Quadro 11, é apresentada a relação dos atributos, conforme foram sendo suprimidos em função da poda dos fatores.

Conforme pode ser observado na Tabela 35, após treino e testes realizados, a rede neural artificial com melhor desempenho foi a de topologia 8-15-4. As entradas dessa rede são os seguintes atributos: altura, área circular, comprimento, equipe, espessura, idade, mão-de-obra e pagamento. Para essa rede, o percentual de acerto chegou a 66%.

Na Tabela 36, resume-se as simulações que apresentaram melhores resultados. Pode-se observar pequena melhoria do desempenho na generalização da rede neural artificial ao se reduzir o número de entradas, indicada pelo aumento do valor do coeficiente Kappa e pelo aumento de precisão de acertos, atingindo o máximo com 8 nós de entrada, e voltando a decair com a redução de fatores.

14 Fatores	11 Fatores	10 Fatores	9 Fatores	8 Fatores	7 Fatores	6 Fatores	5 Fatores
Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura
Densidade	Densidade						
Área circular	Área circular	Área circular	Área circular	Área circular	Área circular		
Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento	Comprimento
Equipe	Equipe	Equipe	Equipe	Equipe			
Espessuras	Espessuras	Espessuras	Espessuras	Espessuras	Espessuras	Espessuras	
Experiência	Experiência	Experiência	Experiência				
Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade	Idade
Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra
Pessoal adm.	Pessoal adm.	Pessoal adm.					
Pagamento	Pagamento	Pagamento	Pagamento	Pagamento	Pagamento	Pagamento	Pagamento
Temperatura							
Umidade							
Verga							

Quadro 11 - Poda de rede para redução do número de fatores – Global

Tabela 35 - Teste de poda - Global

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
G14104	14	10	0,424	88,0	0,63
G1415		15	0,395	84,0	0,60
G14204		20	0,401	86,5	0,62
G14254		25	0,419	85,0	0,61
G14304		30	0,403	85,0	0,61
G14404		40	0,384	85,0	0,61
G11104	11	10	0,429	88,0	0,63
G11154		15	0,423	90,0	0,64
G11204		20	0,378	79,5	0,57
G11254		25	0,402	86,0	0,61
G11304		30	0,400	86,0	0,61
G11404		40	0,393	87,0	0,62
G10104	10	10	0,448	89,5	0,64
G10154		15	0,421	88,0	0,63
G10204		20	0,407	87,0	0,62
G10254		25	0,416	88,0	0,63
G10304		30	0,405	87,7	0,63
G10404		40	0,422	87,4	0,62
G9104	9	10	0,408	89,0	0,64
G9154		15	0,443	90,0	0,64
G9204		20	0,439	89,0	0,64
G9254		25	0,443	91,0	0,65
G9304		30	0,428	90,0	0,64
G9404		40	0,436	89,0	0,64
G8104	8	10	0,439	91,0	0,65
G8154		15	0,487	93,0	0,66
G8204		20	0,428	85,0	0,61
G8254		25	0,427	86,0	0,61
G8304		30	0,445	90,0	0,64
G8404		40	0,414	83,0	0,59
G7104	7	10	0,442	90,0	0,64
G7154		15	0,437	88,5	0,63
G7204		20	0,424	86,5	0,62
G7254		25	0,439	88,0	0,63
G7304		30	0,464	90,0	0,64
G7404		40	0,361	84,0	0,60
G6104	6	10	0,445	90,0	0,64
G6154		15	0,464	90,0	0,64
G6204		20	0,410	86,0	0,61
G6254		25	0,436	90,0	0,64
G6304		30	0,426	88,0	0,63
G6404		40	0,451	89,0	0,64
G5104	5	10	0,446	88,0	0,63
G5154		15	0,406	83,5	0,60
G5204		20	0,403	84,0	0,60
G5254		25	0,452	89,0	0,64
G5304		30	0,452	89,0	0,64
G5404		40	0,357	86,0	0,61

Tabela 36 - Melhores desempenhos - Global

Rede	Entrada	Oculto	Kappa	Acertos	% Acertos
G24154	24	15	0,365	82,0	0,59
G17104	17	10	0,457	89,0	0,64
G14104	14	10	0,424	88,0	0,63
G13204	13	20	0,429	86,5	0,62
G11154	11	15	0,423	90,0	0,64
G10104	10	10	0,448	89,5	0,64
G9254	9	25	0,443	91,0	0,65
G8154	8	15	0,487	93,0	0,66
G7304	7	30	0,464	90,0	0,64
G6154	6	15	0,464	90,0	0,64
G5254	5	25	0,452	89,0	0,64
GE8104	E8	10	0,379	83,0	0,59

Pode-se observar que, mesmo para a melhor simulação, G8154, o desempenho não chegou a ser muito satisfatório, uma vez que o coeficiente Kappa, quando se considera o máximo valor atingido foi igual a 0,487.

A matriz de confusão da rede neural artificial G8154 é apresentada na Tabela 37, onde pode-se observar que para as Classes 1, 2 e 3 houve uma boa generalização. No entanto, para a Classe 4, houve uma péssima generalização, uma vez que as instâncias dessa classe, contidas no conjunto de teste, foram classificadas como pertencentes às classes 2 ou 3. O baixo número de instâncias na Classe 1 não favoreceu o aprendizado da rede neural artificial.

Tabela 37 - Matriz de confusão da rede neural artificial G8154

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total	% Acerto
Classe 1	27	12	0	0	39	0,69
Classe 2	11	51	3	0	65	0,78
Classe 3	1	13	15	0	29	0,52
Classe 4	0	4	3	0	7	0,00
Total	39	80	21	0	140	

4.6.3.3 Parâmetros de treinamento

Utilizando-se a melhor arquitetura encontrada na etapa anterior, 8-15-4, realizou-se a pesquisa da melhor combinação dos parâmetros de treinamento, tal como descrito anteriormente no item 4.6.1.3.

Pelos valores obtidos, concluiu-se que os melhores parâmetros para o treinamento da rede neural artificial analisada são: taxa de aprendizagem igual a 0,1 e coeficiente de momento igual a 0,0, como pode ser constatado na Tabela 38.

Tabela 38 - Resultado dos testes de parâmetros de treinamento – Global

Rede	lr	mc	Kappa	Acertos	Acertos (%)
GP10	0,1	0,0	0,447	91,5	0,65
GP11	0,1	0,1	0,465	90,0	0,64
GP15	0,1	0,5	0,446	86,0	0,61
GP19	0,1	0,9	0,110	71,0	0,51
GP50	0,5	0,0	0,304	70,0	0,50
GP51	0,5	0,1	0,152	72,0	0,51
GP55	0,5	0,5	0,000	65,0	0,46
GP59	0,5	0,9	0,046	43,0	0,31
GP90	0,9	0,0	0,000	39,0	0,28
GP91	0,9	0,1	0,034	33,0	0,24
GP95	0,9	0,5	-0,019	7,0	0,05
GP99	0,9	0,9	0,017	35,0	0,25

4.6.4 Análise conjunta

O Quadro 12 apresenta o conjunto de fatores selecionados por meio da melhor topologia de cada uma dos três tipos de redes neurais artificiais experimentados.

Florianópolis	Maringá	Global
Altura	Altura	Altura
Densidade		
Área circular		Área circular
Canteiro		
Comprimento	Comprimento	Comprimento
Comprimento corte		
Controle		
Encarregado		
	Equipe	Equipe
Espessuras		Espessuras
Experiência	Experiência	
Idade	Idade	Idade
Mão-de-obra		Mão-de-obra
		Pagamento
Pess administrativo		
Temperatura		
Umidade		

Quadro 12 - Conjunto de fatores selecionados

O número de fatores que levaram ao melhor desempenho permaneceu em 15 para Florianópolis, 5 para Maringá e 8 para os dados globais. Considerando o número inicial de fatores considerados, o uso da poda proporcionou uma redução no número de entradas da rede neural artificial em 37,50% para Florianópolis, 77,27% para Maringá e de 66,67% para os dados globais. Isso demonstra a possibilidade da ferramenta para triagem dos fatores significativos sem perda de acurácia e simplificação do processo.

No Quadro 12, constata-se que:

- o atributo pagamento aparece somente no conjunto global, dado que na análise por cidades ele foi desconsiderado por causa do fato de cada cidade utilizar uma forma diferenciada de pagamento. Em Florianópolis remunera-se por produção e em Maringá por salário fixo mensal;
- três fatores permaneceram simultaneamente nos três conjuntos: altura, comprimento e idade;
- o atributo experiência foi selecionado na análise isolada por município, mas não na global;
- com exceção do fator pagamento, o conjunto de fatores selecionados na análise global é composto por fatores que aparecem em ambas as cidades ou ora em um, ora em outro conjunto. O conjunto selecionado na análise global é uma combinação de fatores selecionados nos conjuntos isolados.

Na Tabela 39, apresenta-se o resumo de desempenho das melhores experimentações realizadas. A rede neural artificial alimentada com dados de Florianópolis obteve o melhor desempenho dentre as três, com o melhor coeficiente Kappa e o maior percentual de acerto nos testes, indicando que a rede neural artificial para esses dados conseguiu mapear a função com melhor precisão.

Tabela 39 - Resumo de desempenho nas experimentações

		Florianópolis	Maringá	Global
Coef. Kappa		0,517	0,439	0,487
Acerto (%)		76	74	66
Acerto (%)	Classe 1	92		69
	Classe 2	70		78
	Classe 3		71	52
	Classe 4		73	0

5 Conclusões

Este capítulo tem como finalidade sintetizar os resultados obtidos na pesquisa, explicitar a consecução dos objetivos e as contribuições geradas pela pesquisa, para o estado da arte da produtividade do trabalho, focando o serviço de alvenaria de elevação.

A importância do serviço de alvenaria de elevação para a totalidade da execução da obra, aliada à importância de indicadores de produtividade como ferramenta gerencial, evidencia a relevância do desafio proposto neste trabalho: a busca de um processo de predição de índices de produtividade esperados para atividade de alvenaria de elevação, o qual considere os condicionantes ambientais predeterminados.

A presente tese permitiu verificar que é possível desenvolver um sistema de informações gerenciais que identifique qual é o conjunto de fatores mais influentes na produtividade do trabalho do serviço de alvenaria de elevação. Permitiu também prever a faixa em que se enquadrará os índices de produtividade que devem ser esperados, frente a um suposto conjunto de condições ambientais que represente o contexto e o conteúdo em que o trabalho será realizado.

O sistema de informações gerenciais, denominado SisRN, foi elaborado por meio da associação da técnica de mineração de dados designada árvore de decisão e de redes neurais artificiais. O SisRN desenvolve a capacidade de predição de índices de produtividade esperados, a partir de seu aprendizado, o qual é realizado com base em dados reais.

A pesquisa desenvolvida permitiu verificar a validação dos seguintes objetivos:

- 1) Identificar, na bibliografia da área, os fatores que afetam a produtividade do trabalho na construção civil, modelos de análise de produtividade e estudos relacionados à produtividade no processo de elevação de alvenaria.

Os primeiros resultados gerados pela pesquisa se relacionam ao referencial bibliográfico estudado. Foram percorridas fontes de bibliografias referentes à produtividade dos recursos humanos vinculados à produção na construção civil,

como meio de distinguir os fatores que a afetam. Identificou-se os modelos propostos para analisar a produtividade na construção civil e os estudos realizados no Brasil, especificamente, sobre o serviço de alvenaria de vedação.

- 2) Estruturar um banco de dados de índices de produtividade do serviço de alvenaria de elevação que contenha informações acerca do trabalho realizado e das condições em que este foi executado.

Foi criado um banco de dados de índices diários de produtividade para o serviço de alvenaria de elevação relacionados às suas condições de obtenção, composto por dados das cidades de Maringá e Florianópolis. As condições ambientais sob as quais os dados foram expressas por meio de 24 fatores monitorados: cidade, obra, pavimento, dia da semana, verga, equipe, satisfação, idade, experiência, pagamento, mão-de-obra, controle, encarregado, densidade de paredes, canteiro, comprimento, altura, andaime, interna-externa, espessuras, comprimento de corte, área circular, junta vertical, pessoal administrativo, chuva, temperatura e umidade.

- 3) Identificar os fatores de maior influência na produtividade da mão-de-obra na execução de alvenaria de elevação.

A partir do processo de seleção de atributos, o qual proporcionou uma redução dos fatores a serem considerados, os dados foram submetidos à mineração, por meio da técnica de árvore de decisão. Esse procedimento permitiu identificar os fatores mais relevantes nos índices de produtividade obtidos, hierarquizando-os.

- 4) Comparar o desempenho de redes neurais artificiais, que variam em número de elementos de processamento e parâmetros de treinamento, na tarefa de predição de índices de produtividade do trabalho do serviço de alvenaria de elevação.

Foram realizadas inúmeras experimentações com o sistema de informações gerenciais desenvolvido. Para cada seleção de fatores considerada na camada de entrada, variou-se o número de elementos de processamento na camada oculta, bem como, posteriormente, os parâmetros de treinamento. Essas experimentações possibilitaram a comparação do desempenho de generalização das diversas configurações das redes neurais artificiais testadas. Esse procedimento foi realizado

para a base de dados das cidades de Florianópolis, Maringá e para o conjunto global de dados.

- 5) Distinguir, por meio de implementação de redes neurais artificiais de múltiplas camadas, não-recorrentes, treinadas por algoritmos de retropropagação de erro, o menor conjunto de fatores que promovem a melhor acuidade de generalização da rede neural artificial.

Por meio da utilização da técnica de poda da rede e de sucessivas experimentações, foi possível selecionar o menor conjunto de atributos (fatores) que proporcionaram a melhor acuidade de generalização para cada um dos conjuntos de dados analisados.

- 6) Disponibilizar para pesquisadores e empresas do setor da construção civil um sistema de informações gerenciais relacionado à produtividade do trabalho.

Esta tese coloca à disposição um sistema de informações gerenciais SisRN que permite identificar os fatores influentes na produtividade e prever índices de produtividade. Caberá aos usuários construir o seu banco de dados com elementos que caracterizem as especificidades de seu processo de produção, para que o sistema passe a responder adequadamente a sua realidade organizacional. As empresas também poderão utilizar este sistema para outros serviços desenvolvidos no canteiro de obras, bastando para isso apropriar e alimentar o SisRN com dados relativos a tais serviços.

Neste sentido, o desenvolvimento deste trabalho traz duas contribuições: o sistema de informações gerenciais e o método de identificação de fatores relevantes para a produtividade. Observou-se, por meio das experimentações realizadas, que o sistema conseguiu prever níveis de produtividade para as diferentes amostras, considerando as especificidades ambientais, com mediana acurácia.

Os resultados alcançados validam o sistema desenvolvido no âmbito dos ambientes estudados. O potencial para a generalização do uso deste sistema por empresas e sua aplicação para outros serviços da construção e em outras regiões geográficas permite o seu desenvolvimento em estudos posteriores, aprimorando o tema.

O uso associado de ferramentas de seleção de atributo à técnica de árvore de decisão permite a triagem dos fatores influentes nos indicadores de produtividade do

trabalho por mecanismos não-subjetivos, baseando-se em dados que retratam a realidade. Este método para análise de atributos leva a uma simplificação, sem perdas do nível de acurácia. Tal fato colabora para tornar mais fácil o gerenciamento das medições de indicadores de produtividade por reduzir o número de fatores de controle.

Adicionalmente, a aplicação da mineração de dados, por meio de árvores de decisão, mostrou que o principal fator e diferencial no nível de produtividade de trabalho foi a forma de remuneração aos funcionários adotado pela empresa. O pagamento aos funcionários, em função de sua produção, leva a índices de produtividade maiores que quando o pagamento é por salário fixo mensal. Portanto, conclui-se que a forma de pagamento é um fator relevante, pois gera diferença no desempenho.

Outra constatação importante foi a de que, quando a remuneração é por salário fixo mensal, existe uma forte tendência de que funcionários com maior tempo de atuação na atividade obtenham melhores níveis de produtividade, ou seja, a experiência do profissional se torna um fator expressivo.

A abrangência geográfica do estudo é uma das limitações do trabalho, já que, ao se utilizar dados de regiões diferentes, podem surgir informações que passaram despercebidas, quando se observa apenas a realidade de uma região. Assim, é possível que o enriquecimento do banco de dados, com exemplos de outras regiões geográficas, torne evidente outras informações que podem ser relevantes, para explicar níveis de produtividade diferenciados.

Uma limitação dos resultados é o número de dados disponíveis para o treinamento das redes neurais artificiais. O sistema de informações gerenciais, quando aplicado a regiões geográficas específicas durante as experimentações, gerou predições que atingiram um percentual de acerto maior que 70%. Acredita-se que essa acuidade seja melhorada com a incorporação de um maior número de dados para treinamento da rede neural artificial, uma vez que, quanto maior o número de exemplos da realidade, maior será a precisão da aprendizagem da rede neural artificial.

Como recomendações para trabalhos futuros, para agregar valor ao trabalho realizado, propõe-se:

- Ampliação do banco de dados para outros serviços de vedação vertical.
- Aplicação do sistema de informações a outros serviços de construção civil.
- Estudo aprofundado para uma empresa construtora, o qual contemple a criação de um banco de dados específico, relativo a várias obras da organização, e aplicação do SisRN a tal banco de dados.
- Ampliação do estudo para outras regiões geográficas.
- Aprimoramento da interface do SisRN com o usuário.
- Estímulo à cultura de registro e à construção de base de dados para empresas de construção civil.

6 Referências Bibliográficas

ABOURIZK, S. M.; WALES, R. J. Incorporating weather effects in project simulation. In: **COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING**, 5., 1993. New York. **Proceedings...** New York: ASCE, 1993. p. 1190-1197.

ABOURIZK, S.; KNOWLES, P.; HERMANN, U. Estimating labor productivity rates for industrial construction activities. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.127, n.6, p. 502–511, 2001.

ADRIAANS, P.; ZANTINGE, D. **Data mining**. England: Addison Wesley Longman, 1996.

ALFAYDIN, E. **Introduction to machine learning**. Cambridge: The MIT Press, 2004. 415p.

AMORIM, S. R. L. **Tecnologia, organização e produtividade na construção**. 1995. 222p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

ARAÚJO, L. O. C. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão-de-obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria**. 2000. 385p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARDITI, D. Construction productivity improvement. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.111, n.1, p.1-14, 1985.

BARRETO, J. M. **Inteligência artificial no limiar do século XXI**. Florianópolis: J. M. Barreto, 1999.

BEALE, R., JACKSON, T. **Neural computing - An introduction**. Philadelphia: New Work: CRC Press, 1990

BERRY, M. J. A.; LINOFF, G. **Data mining techniques** – For marketing, sales and customer support. New York: John Wiley & Sons, 1997.

BIESIADA, J. *et al.* Feature ranking methods based on information entropy. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH IN ELECTROTECHNOLOGY AND APPLIED INFORMATICS**, 2005. Katowice, Poland. **Proceedings...** Katowice, Poland: August 31, September 3, 2005. 9p.

BIGUS, J. P. **Data mining with neural network** – Solving business problems from application development to decision support. New York: McGraw-Hill, 1996.

BONELLI, R. *et al.* Indicadores microeconômicos do desempenho competitivo. **Revista de Administração**. São Paulo, v.19, n.2, p. 3-19, 1994.

BORNIA, A. C. **Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno**. 1995. 125p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

BRAGA, A. P.; LUDERMIR, T. B.; CARVALHO, A. C. P. L. F. **Redes neurais artificiais: Teoria e aplicações**. São Paulo: LTC, 2000.

CARRARO, F. **Produtividade da mão-de-obra no serviço de alvenaria**. São Paulo, 1998. 226p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CHAO, L. C.; SKIBNIEWSKI, M. J. Estimating construction productivity: Neural-network-based approach. **Journal of Computing in Civil Engineering**. v. 8, n. 2, p. 234-251, 1994.

CHEN, M. S.; HAN, J.; YU, P. S. Data mining: an overview from database perspective. **IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering**. New York, v. 8, n.6, p. 866-883, 1996.

CHEW, W. B. No-nonsense guide to measuring productivity. **Harvard Business Review**. v. 66, n. 1, p. 110-9, 1988.

CHIAVENATO, I. **Gestão de pessoas: o novo papel dos recursos humanos dentro das organizações**. Rio de Janeiro: Capus, 2005.

COHEN, J.. **A coefficient of agreement for nominal scales**. New York University, 1960.

CORDEIRO, C. C; MACHADO, M. J. G. Perfil do operário da construção civil de Feira de Santana. **Sitientibus**. n. 26, p. 9-29, 2002.

CORREIA, A. C. Um instante de reflexão sobre o homem e o trabalho. **Caderno de Pesquisas em Administração**. São Paulo, v.1, n.11, p.12-17, 2000.

CRESWELL, J. **Research design: Qualitative & quantitative approaches**. Thousand Oaks: Sage, 1994.

CTE - CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras**. São Paulo: CTE/Sinduscon-SP/Sebrae-SP, 1994.

DIAS, M. M. **Um Modelo de formalização do processo de desenvolvimento de sistemas de descoberta de conhecimento em banco de dados**. 2001, 212p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FAYYAD, U. M.; UTHURUSAMY, R. Evolving data mining into solutions for insights. **Communications of the ACM**. v. 45, n. 8, p. 28-31, 2002.

FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery: an overview. In: FAYYAD, U. *et al.* (Eds.) **Advances in Knowledge Discovery and Data Mining**, chapter 1, p. 1-34, 1996.

FAYYAD, U.; SIMOUDIS, E. Data mining and KDD: an overview. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING. 3., 1997, Newport Beach. **Proceedings ...** Newport Beach: American Association for Artificial Intelligence, 1997. p. 3.

FONTES, L. B.; GOTTSCHALK, E.; BORBA, G. G. **Produtividade**. Salvador: Fundação Emílio Odebrecht, 1982.

FREITAS, A. A. Understanding the crucial differences between classification and discovery of association rules - a position paper. In: **ACM SIGKDD Explorations**. v. 2, n. 1, p. 65-69, 2000.

FUKUNAGA, K. J. **Introduction to statistical pattern recognition**. 2nd. Ed. New York: Academic Press, 1990.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Diagnóstico nacional da indústria da construção**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1984. 20v.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

HALL, M. A.; HOLMES, G. Benchmarking attribute selection techniques for discrete class data mining. In: ROROHKO, T. **2000 Working Papers**. Hamilton: Department of Computer Science, University of Waikato. July, 2000. (Working Paper 00/10).

HALLIGAN, D. W.; DEMSETZ, L. A.; BROWN, J. D.; PACE, C.B. Action-response model and loss of productivity in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 120, n. 1, p. 47-64, 1994.

HAND, D.; MANNILLA, H.; SMYTH, P. **Principles of data mining**. Cambridge: The MIT Press, 2001.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HEINECK; L. F. M. Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento de produtividade nas alvenarias. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., Florianópolis, 1991. **Anais...**, Florianópolis: UFSC, 1991. p. 67-75.

HERBSMAN Z.; ELLIS R. Research of factors influencing construction productivity. **Construction Management and Economics**. v. 8, n. 1, p. 49-61, 1990.

HEZEL, C. R.; OLIVEIRA, R. R. Estudo da variabilidade da produtividade na execução das obras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., Fortaleza, 2001. **Anais...**, Fortaleza, 2001.

HIRAMATSU, A. **Handbook of neural computing**. Chapter ATM Network Control by Neural Network. London: Institute of Physics Publishing; Oxford University Publishing, 1997.

HONORIO, D. E. **A qualidade de vida do operário da construção civil e sua importância na qualidade e produtividade em obras**. 2002. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

JOHNSON, R. A.; WICHEN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1982.

KARSHENAS, S.; FENG, X. Application of neural networks in earthmoving equipment production estimating. In: COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 8, 1992. New York. **Proceedings...** New York: ASCE, 1992. p. 841-847.

KELLOGG, J. C.; HOWELL, G. E.; TAYLOR, D.C. Hierarchy model of construction productivity. **Journal of Construction Division**. v.107, n.1, p. 137-152, 1981.

KNOWLES, R. P. **Predicting construction labour productivity using neural networks**. 1997. 215 p. Dissertação (Mestrado) – Department of Civil and Environmental Engineering. University of Alberta, Alberta, 1997.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais** - fundamentos e aplicações. São Paulo: Acadêmica, 1996.

LAUFER, A. On site performance improvement programs. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 111, n. 1, p. 82–97, 1985.

LESSA, P. **Orientações para a utilização de entrevistas, questionários, tabelas e gráficos em pesquisas educacionais**. In: SILVA, A. C. T. e BELLINI, L. M. (orgs) Métodos e técnicas de pesquisa em educação. Maringá: Eduem, 2005.

LIMA, I. S. **Qualidade de vida no trabalho na construção de edificações: avaliação do nível de satisfação dos operários de empresas de pequeno porte**. 1995. 215p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

LIPPMAN, R. P. An introduction to computing with neural nets. **IEEE ASSP Magazine**. p. 4-22, April 1987.

LOESCH, C.; SARI, S. T. **Redes neurais artificiais: fundamentos e modelos**. Blumenau: FURB, 1996.

LU, M.; ABOURIZK, S. M.; HERMANN, U. H. Estimating labor productivity using probability inference neural network. **Journal of Computing in Civil Engineering**. v. 14, n. 4, p. 241-248, 2000.

MAIA, M. A. M. **Metodologia de intervenção para padronização na execução de edifícios com participação dos operários**. 1994. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

MALONEY, W. F. Framework for analysis of performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 116, n. 3, p. 399–415, 1990.

MALONEY, W. F. Motivation in unionized construction. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 112, n. 1, p. 122–136, 1986.

MALONEY, W. F. Productivity improvement: the influence of labor. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 109, n. 3, p. 321–334, 1983.

MALONEY, W. F.; McFILLEN, J. M. Valence of and satisfaction with job outcomes. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 111, n. 1, p. 53–73, 1985.

MANNILA, H. **Data mining: machine learning, statistics, and databases**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTIFIC AND DATABASE

MANAGEMENT, 8., 1996, Stockholm: IEEE Computer Society Publishing, 1996. p. 1-8.

MARCHIORI, F. F. **Estudo da produtividade e da descontinuidade no processo produtivo da construção civil**: um estudo de caso para edifícios altos. 1998. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.; **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

MERRIAM, S. **Case study research in education: a qualitative approach**. San Francisco: Jossey-Bass, 1988.

MESEGUER, A. G. **Controle e garantia da qualidade na construção**. São Paulo: Sinduscon-SP/Projeto/SW, 1991.

MORATE, D. G. **Manual de Weka**. Disponível em: metaemotion.com/diego.garcia.morate/download/weka.pdf. Acesso em 10/09/2006.

MOREIRA, D. A. **Medida da produtividade na empresa moderna**. São Paulo: Pioneira, 1991.

MOSELHI, O.; GONG, D.; EL-RAYES, K. Estimating weather impact on the duration of construction activities. **Canadian Journal of Civil Engineering**. v. 24, p. 359-366, 1997.

MOSELHI, O.; HEGAZY, T.; FAZIO, P. Neural network as tool in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 117, n. 4, p. 606–623, 1991.

MUTTI, C. N. **Treinamento da mão-de-obra na construção civil**: um estudo de caso. 1995. 181p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

NOBREGA, P. H. **Levantamento do perfil da mão-de-obra da construção civil de Foz do Iguaçu com ênfase em treinamento**. 2006. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). União Dinâmica de Faculdades Cataratas, Foz do Iguaçu , 2006.

NORFLEET, D. A. Loss of learning in disruption claims. **AACE International Transactions**, CDR.10, 2004.

NUENO, P. Mejora de la productividad: un enfoque global. **Nota de la División de Investigación del IESE de Barcelona**, n.171, 1977.

O'BRIEN, J. A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. São Paulo: Saraiva, 2004.

OGLESBY, C.; PARKER, H.; HOWELL, G. **Productivity Improvement in Construction**. New York: Mcgraw-Hill, 1989.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento estratégico**: conceitos, metodologia e práticas. 8.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

OLIVEIRA, D. P. R. **Sistemas de informações gerenciais**: estratégicas, táticas e operacionais. São Paulo: Atlas, 2004.

OLOMOLAIYE, P. O.; OGUNLANA, S. O. A Survey of Construction Operative Motivation on Selected Sites in Nigeria. **Building and Environment**. v. 23, n. 3, p. 179-185, 1988.

PÁDUA, E. M. M. **Metodologia de pesquisa**: abordagem teórico-prática. Campinas: Papirus, 2004.

PANZETER, A. A. **Estudo das relações entre os consumos de mão-de-obra e as quantidades físicas executadas**. 1988. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

PICCHI, F. A. **Sistema de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. 1993. 462p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PORTAS, P.; ABOURIZK, S. Neural network model for estimating construction productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 123, n. 4, p. 399–410, 1997.

RAUBER, T. W. **Reconhecimento de padrões**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. 17., 1997. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Computação, 1997. p. 311-353.

REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO. São Paulo: Pini, n.38, 2005

RIBAS, C. Critérios de desempenho organizacional: o caso da UFSC. ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 15., 1991. Salvador. **Anais...** Salvador: ENANPAD. v. 6. p. 215-228.

ROMÃO, W. **Descoberta de conhecimento relevante em banco de dados sobre ciência e tecnologia**. 2002. 253p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SABBATINI, E. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 321p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, A. **Método alternativo de intervenção em obras de edificações enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais: um estudo de caso**. 1995. 172p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SANVIDO, V. E. Conceptual construction process model. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 114, n. 2, p. 294-310, 1988.

SAURIN, T. A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obra de edificações**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. Método para diagnóstico de canteiros de obra de edificações. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., **Anais...**, Florianópolis, 1998.

SCARDOELLI, L. S., SILVA, M. F. S., FORMOSO, C. T., HEINECK, L. F. M.; **Melhorias de Qualidade e produtividade**. Porto Alegre: Edição SEBRAE/RS, 1994.

SEVERIANO FILHO, C. **Produtividade & manufatura avançada**. João Pessoa: PPGE, 1999. 284p.

SILVA, C. A. M. **Instrumentos de mensuração: algumas considerações**. In: SILVA, A. C. T.; BELLINI, L. M. (orgs) **Métodos e técnicas de pesquisa em educação**. Maringá: Eduem, 2005.

SILVA, M. A. C. **Identificação e análise dos fatores que afetam a produtividade sob a ótica dos custos de produção de empresas de edificações**. 1986. 295p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

SILVA, M. A. C; SOUZA, R. **Gestão do processo de projeto de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

SLACK, N. *et al.*. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle.** 1993. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOLANO, R. S. **Curva ABC de fornecedores:** uma contribuição ao planejamento, programação, controle e gerenciamento de empreendimentos e obras. 2003. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SONMEZ, R.; ROWINGS, J. E. Construction labour productivity modeling with neural networks. **Journal of Construction Engineering and Management.** v. 124, n. 6, p. 498–504, 1998.

SOUZA, U. E. L. **Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de fôrmas para estruturas de concreto armado.** 1996. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SRINAVIN, K.; MOHAMED, S. Thermal environment and construction workers' productivity: some evidence from Thailand. **Building and Environment.** v. 38, p. 339-345, 2003.

STAIR, R. M. **Princípios de sistemas de informação:** uma abordagem gerencial. São Paulo: LTC, 1998.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação.** São Paulo: LTC, 2002.

TAFNER, M. ; XEREZ, M.; RODRIGUES FILHO, I. W. **Redes neurais artificiais:** introdução e princípios de neurocomputação. Blumenau: EKO/FURB, 1995.

TAM, C. M.; TONG, T. K. L.; TSE, S. L. Artificial neural networks model for predicting excavator productivity. **Engineering, Construction and Architectural Management.** v. 5, n. 6, p. 446–452, 2002.

THIRY-CHERQUES, H. R. A guerra sem fim: sobre a produtividade administrativa. *Revista de Administração de Empresas.* v. 31, n. 3, p. 34-46. 1991.

THOMAS, H. R. **Principles of construction labor productivity measurement and processing.** University Park: The Pennsylvania State University, Pennsylvania Transportation Institute. 2000. 63 p. (Report n. 2K14).

THOMAS, H. R.; MALONEY, W.F.; HORNER, R.M.W.; SMITH, G.R.; HANDA. V.K.; SANDERS S.R. Modeling construction labor productivity. **Journal of Construction Engineering and Management.** v. 116, n. 4, p. 705-726, 1990.

THOMAS, H. R.; SANDERS, S. R.; BILAL, S. Comparison of labor productivity **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 118, n. 4, p. 635–650, 1992.

THOMAS, H. R.; SANDERS, S.R.; BILAL, S. Comparison of labor productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 118, n. 4, p. 635-50, 1992.

THOMAS, H. R.; SANVIDO, V. E.; SANDERS, S. R. Impact of material management on productivity - a case study. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 115, n. 3, p. 370-384, 1989.

THOMAS, H. R.; SANVIDO, V. E.; SANDERS, S.R. Impact of material management on productivity – a case study. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 115, n. 3, p. 370-84, 1989.

THOMAS, H. R.; YIAKOUMIS, I. Factor model of construction productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 113, n. 4, p. 623-639, 1987.

THURAISINGHAM, B. M. **Data mining**: Technologies, techniques, tools and trends. New York: CRC Press, 1999.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

WEKA. **Data mining software in java**. Disponível em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>. Acesso em 10/09/2006.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2005.

Apêndice A
Apropriação de homens-hora e ocorrências diárias

Apêndice B
Dados sobre a obra e o serviço de alvenaria

Formulário A2

Observador: _____ Código da Obra: _____ Data: _____

1. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

- **Localização e caracterização geométrica das paredes**

% de alvenaria externa: _____

% de alvenaria interna: _____

Mediana do comprimento: _____

Mediana da altura: _____

% das espessuras: _____

- **Arranjo da alvenaria:**

Número de ângulos não-retos / número de ângulos retos: _____

Área de alvenaria do pavimento tipo / área do pavimento tipo: _____

Área de alvenaria interna / área do pavimento tipo: _____

Área de alvenaria externa / área do pavimento tipo: _____

- **Quantidade e tipos de aberturas por pavimento tipo:**

Portas: _____ unidades _____ m² (<2,0m²) _____ m² (>2,0m²)

Janelas: _____ unidades _____ m² (<2,0m²) _____ m² (>2,0m²)

Ar condicionado: _____ unidades _____ m² (<2,0m²)

Outras Quais e quantas: _____

Área total de aberturas por pvto tipo: _____ m²

- **Formas de fixação vertical alvenaria / pilar**

chapisco rolado

chapisco desempenado

telas eletrosoldadas

telas metálicas perfuradas

grampos metálicos

espumas poliméricas

outra: _____

- **Formas de fixação vertical alvenaria / alvenaria**

amarração entre blocos

ferro-cabelo

telas eletrosoldadas

Telas metálicas perfuradas

chapisco rolado

chapisco desempenado

grampos metálicos

espumas poliméricas

outra: _____

b) Horizontal

-] jérica
] carrinho de mão
] carrinho com base plana e quatro rodas
] carrinho porta pallet
] outro: _____

c) composto

-] grua

ARGAMASSA

a) Vertical

-] elevador de carga] guincho de coluna] talha

b) Horizontal

-] jérica
] carrinho de mão
] carrinho com quatro rodas
] carrinho porta masseira
] outro: _____

c) composto

-] grua] bomba

5. MÃO-DE-OBRA

• Produção (número)

-] Serventes] Pedreiros

Encarregado

-] trabalha na execução] não trabalha na execução

Descrever equipe básica:

• Controle e supervisão (número)

-] Estagiário] encarregado
] mestre-de-obras] técnico em edificações
] engenheiro] outro: _____

• Auxílio à produção (número)

-] produtores de argamassa na obra (descrever equipe):

] produtores de componentes especiais (descrever equipe e componentes produzidos):

- **Transporte** (número)

operador de grua

operador de elevador de carga

operador de elevador carga/pessoas

transportadores de blocos/tijolos e argamassa

outros: _____

Descrever o funcionamento do esquema de transporte (a que equipe cada funcionário está associado):

- **Forma de contratação dos serviços de alvenaria**

mão-de-obra própria da empresa

subcontratação de prestadora de serviços

só mão-de-obra

uma mais de uma

mão-de-obra + materiais

uma mais de uma

contratação de mão-de-obra temporária

outra: _____

- **Forma de pagamento** (descrever forma de remuneração)

Empresa x Operário:

Empresa x Subempreiteiro:

Subempreiteiro x Operários:

- **Definição da jornada de trabalho da equipe de alvenaria**

Quantidade de dias na semana: _____

Carga horária: _____

Observações: _____

- **Marcação**

[] realiza-se a marcação de toda a primeira fiada do pavimento

[] os eixos principais do edifício são demarcados na laje

[] antes do assentamento da primeira fiada é realizado o mapeamento da laje com auxílio do nível alemão ou nível à laser

[] os desníveis da laje são corrigidos na fiada de marcação com argamassa

[] os furos dos blocos da primeira fiada onde será fixado o rodapé de madeira são preenchidos com argamassa

Apêndice C
Caracterização dos trabalhadores

Formulário A3

Observador: _____ Código da Obra: _____ Data: _____

Nome: _____

Idade: _____ Escolaridade: _____

Natural de: _____ Ocupação: _____

Ocupações anteriores:

Número de dependentes: _____

Local de moradia: _____

Tempo de deslocamento casa – trabalho: _____ horas / dia

Qual o meio de transporte utilizado / no de linhas : . _____

Permanência no Alojamento: [] Sim [] Não

Quais são os benefícios oferecidos pela empresa?

Tempo de trabalho:

Na construção civil: . _____ Na profissão: _____

Na empresa: _____ Da equipe: _____

Como aprendeu a profissão?

Tempo despendido para a formação em obra: _____

Fez cursos de treinamento? [] Não

[] Sim: _____

Porque escolheu trabalhar na Construção Civil?

Sua profissão é valorizada por amigos, parentes e colegas de trabalho?

Recomeçaria na Construção Civil?

Apêndice D
Nível de satisfação

Formulário A4

Observador: _____ Funcionário: _____ Data: _____

Usar escala de 0 a 10, onde 0 indica total insatisfação e 10 a máxima satisfação

Condições de Trabalho	Valor
Higiene das instalações de uso pessoal (No, distância)	
Limpeza, ordem e arrumação do canteiro (local trabalho)	
Segurança individual (EPIs, orientação e informação sobre cuidados)	
Segurança coletiva (uso de dispositivos)	
Esforço e desgaste decorrente do trabalho	
Disponibilidade de materiais	
Qualidade dos materiais	

Compensação justa e adequada	Valor
Equilíbrio entre salário e trabalho	
Comparando com o valor pago pelo mercado	
Comparando os benefícios com os dados pelo mercado	

Uso e desenvolvimento de capacidades	Valor
Dificuldades de execução das tarefas	
Apoio do encarregado (iniciativas resolver situações novas, interferências equipes)	
Retroinformação sobre o desempenho no trabalho	

Chances de crescimento e segurança permanentes	Valor
Garantia de emprego	
Possibilidade de atuar em outras tarefas	
Treinamento para melhoria profissional	

Integração social na empresa	Valor
Forma de tratamento do superior	
Relacionamento com os colegas	
Igualdade de tratamento (preconceito, favorecimento)	

Constitucionalismo	Valor
Cumprimento de leis e direitos trabalhistas	
Liberdade de diálogo e de direito de discordar	

Comunicações internas	Valor
Orientações sobre serviços, normas e mudanças (facilidade entendimento)	

Programação dos serviços	Valor
Desmanche e retrabalho	
Seqüenciamento	
Interrupções de tarefas	

QUESTÕES COMPLEMENTARES:

Sente-se satisfeito com sua profissão?

O que, se mudasse, faria o senhor se sentir mais satisfeito?

O que, no atual emprego, contribui para a sua satisfação?

A seguir, apresentam-se algumas informações complementares, as quais têm como objetivo unificar o entendimento do entrevistado.

Condições de trabalho

- b) Higiene das instalações de uso pessoal: avalia a satisfação quanto à higiene de sanitários, refeitório, alojamento, chuveiros quentes, disponibilidade de água fresca, distância destes aos postos de trabalho, adequação da quantidade ao número de usuários.
- c) Limpeza, ordem e arrumação do canteiro: avalia a satisfação quanto à limpeza, ordem e arrumação do canteiro e do local de trabalho, envolvendo também o arranjo físico do canteiro.
- d) Segurança individual: objetiva avaliar a satisfação quanto à preocupação da empresa relativa à segurança individual: fornecimento dos EPIs, orientação de uso e informações sobre os cuidados que o trabalhador deve ter para preservar a sua integridade física.
- e) Segurança Coletiva: avalia a satisfação quanto à preocupação da empresa relativa à segurança coletiva: andaime, bandejas, fechamentos ou bloqueios as aberturas nos pavimentos, corrimões resistentes.
- f) Esforço e desgaste: visa a avaliar a satisfação quanto ao esforço e desgaste durante e após a realização das atividades: peso elevado, posturas impróprias e desgastantes e movimentos inadequados que realiza.
- g) Disponibilidade de materiais: objetiva avaliar a satisfação quanto à quantidade dos materiais.
- h) Qualidade dos materiais: avalia a satisfação quanto à qualidade dos materiais disponíveis para a realização dos serviços.

Compensação justa e adequada

- a) Equilíbrio salário x trabalho: visa a avaliar a satisfação quanto à equidade que este observa na relação de troca que faz com a empresa: horas de trabalho, esforço, desgaste, experiência e capacidade por uma determinada remuneração.
- b) Equilíbrio salarial externo: busca avaliar a satisfação quanto à equidade de sua remuneração e a que vigora no mercado de trabalho local.
- c) Equidade externa de benefícios: avalia a satisfação com os benefícios adicionais que a empresa concede, ao compará-los com a gama de benefícios que o

mercado de trabalho oferece (vale-transporte, café da manhã, almoço, uniforme, cesta básica, assistência médica e odontológica, auxílio-farmácia, atividades sociais e esportivas, ...)

Uso e desenvolvimento de capacidades

- a) Complexidade das tarefas: visa a avaliar a satisfação quanto ao grau de complexidade das tarefas que executa.
- b) Apoio do superior imediato: busca avaliar a satisfação quanto ao apoio que recebe do superior imediato relativamente às iniciativas que toma para resolver situações novas, interferências de acontecimentos não-comuns ou superposição de equipes.
- c) Retroinformação: visa a avaliar a satisfação quanto ao retorno que recebe do superior, dos colegas ou do próprio trabalho realizado, ao conhecimento de parâmetros de qualidade e produção e a disponibilidade de ferramentas adequadas à mensuração.

Chances de crescimento e segurança permanente

- a) Garantia de emprego: procura avaliar a satisfação quanto à sua segurança (continuidade) de emprego.
- b) Possibilidade de atuar em outras tarefas: visa a avaliar a satisfação quanto às chances dadas pela empresa para que o funcionário atue em outras tarefas, além da alvenaria.
- c) Treinamento para a melhoria profissional: avalia a satisfação quanto à quantidade de treinamento oferecida pela empresa para melhorar habilidades profissionais.

Integração Social na Empresa

- a) Forma de tratamento do superior: visa a avaliar a satisfação quanto à forma de tratamento do superior imediato.
- b) Relacionamento com os colegas: visa a avaliar a satisfação quanto ao relacionamento com seus colegas de trabalho.
- c) Igualdade de tratamento: procura avaliar a satisfação quanto à igualdade de tratamento que observa na empresa, envolvendo preconceitos de qualquer natureza, diferenças hierárquicas muito marcantes, influências de relações

peçoais, influenciando a distribuição de tarefas, as oportunidades de aprendizado e a possibilidade de evolução dentro da empresa.

Constitucionalismo

- a) Cumprimento de leis e obrigações trabalhistas: procura avaliar a satisfação quanto ao cumprimento das obrigações, leis e direitos trabalhistas por parte da empresa.
- b) Liberdade de manifestação: visa a avaliar a satisfação quanto à liberdade de diálogo existente e o direito de posicionar-se discordar, sem receio de punições ou represálias.

Comunicações

- a) Orientação sobre serviços, normas e mudanças: busca avaliar a satisfação com a forma com que são comunicados os serviços a serem executados, as normas para execução e mudanças (processo, gerência) que a empresa promove.

Programação dos Serviços

- a) Desmanche e retrabalhos: visa a avaliar a satisfação com a incidência de modificações que resulta em desmanches, perda de material e retrabalho.
- b) Seqüenciamento: tem como objetivo avaliar a satisfação com o seqüenciamento da programação. Um mau seqüenciamento gera superposição de equipes ou a impossibilidade de dar continuidade a tarefa.
- c) Interrupções dos serviços: Visa avaliar a satisfação com as interrupções e os deslocamentos para outros serviços ou obras, deixando tarefas inacabadas.

Apêndice E
Fator de conversão

Tabela 40 - RUP's de obras com blocos cerâmicos (20x20) cm e (19x14) cm

		(Continuação)		(Conclusão)	
OBRA 1 (20x20) cm	OBRA 2 (14x19) cm	OBRA 1 (20x20) cm	OBRA 2 (14x19) cm	OBRA 1 (20x20) cm	OBRA 2 (14x19) cm
0.809	0.645	0.842	0.598		0.968
0.723	0.563	0.571	0.695		0.980
0.516	0.790	0.470	0.513		0.520
0.502	0.805	0.603	0.441		0.513
0.643	0.783	0.947	0.471		0.560
0.640	0.909	0.568	0.543		0.877
0.643	0.648	0.448	0.701		0.990
0.489	0.711	0.654	0.449		0.610
0.564	0.604	0.548	0.584		0.665
0.482	0.785	0.510	0.553		0.957
0.750	0.781	0.647	0.795		0.705
0.489	0.784	0.305	0.565		0.980
0.527	0.597	0.868	0.478		0.683
0.659	0.688	0.426	0.834		0.697
0.645	0.588	0.420	0.569		
0.553	0.643	0.719	0.656		
0.510	0.804	0.920	0.472		
0.554	0.787	0.500	0.492		
0.400	0.675	0.545	0.980		
0.453	0.622	0.784	0.903		
0.581	0.915	0.578	0.583		
0.697	0.705	0.453	0.601		
0.715	0.597	0.560	0.990		
0.377	0.987	0.529	0.799		
0.483	0.580	0.648	0.980		
0.502	0.883	0.620	0.623		
0.639	0.629	0.670	0.543		
0.448	0.980	0.680	0.789		
0.374	0.613	0.690	0.980		
0.490	0.829	0.583	0.990		
0.569	0.676	0.584	0.780		
0.466	0.489	0.688	0.322		
0.387	0.868	0.492	0.697		
0.404	0.552	0.440	0.574		
0.652	0.709	0.492	0.735		
0.463	0.544	0.420	0.970		
0.683	0.850	0.445	0.853		
0.392	0.872	0.575	0.547		
0.538	0.460	0.479	0.798		
0.832	0.589	0.453	0.693		
0.740	0.556	0.570	0.669		
0.478	0.612		0.712		
0.655	0.780		0.839		
0.492	0.616		0.600		
0.906	0.547		0.537		
0.445	0.456		0.600		

(Continua)

(Continua)

A Tabela 40 apresenta as razões unitárias de produção da Obra 1, cuja alvenaria foi executada com blocos cerâmicos de dimensões (20x20) cm, e da Obra 2, executada com blocos cerâmicos (19x14)cm.

A Obra 1 possui RUP diária média igual a 0,57 Hh/m² e a Obra 2, 0,697Hh/m². Considerando-se a Obra 1 como a padrão e se aplicando à Equação (29) os valores médios das RUPs obtidos, tem-se:

$$FC = 0,697 / 0,57$$

$$FC = 1,22$$

Anexo A
Caracterização das condições do meio ambiente de trabalho

DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DO CANTEIRO (Saurim, 1997)

Observador: _____ Código da Obra: _____ Data: _____

A) INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	Sim	Não	Não se Aplica
----------------------------	-----	-----	---------------

A1. TIPOLOGIA DAS INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS Se são utilizadas instalações móveis (containers) passe para o item A2	Sim	Não	NA
1. Há modulação dos barracos			
2. Os painéis são unidos com parafusos, grampos ou solução equivalente que facilite o processo de montagem e desmontagem			
3. Os painéis são pintados e estão em bom estado de conservação			
4. Foram aproveitadas instalações existentes para as instalações da obra			
5. Os barracos estão em locais livres de quedas de materiais, ou então a sua cobertura tem proteção			

OBS:

A2. TAPUMES	Sim	Não	NA
1. Existe alguma espécie de pintura decorativa e/ou logomarca da empresa			
2. Os tapumes são constituídos de material resistente e estão em bom estado de conservação			

OBS:

A3. ACESSOS	Sim	Não	NA
1. Existe portão exclusivo para acesso de pedestres (clientes e operários)			
2. Existe caminho, calçado e coberto, deste o portão de entrada até a área edificada			
3. Há possibilidade de entrada de caminhões no canteiro			
4. Caso a obra localize-se em uma esquina, o acesso de caminhões é pela rua com trânsito menos movimentado			

OBS:

A4. GUARITA DO VIGIA / PORTARIA Existe () Não existe ()	Sim	Não	NA
1. Está junto ao portão de acesso para pedestres			
2. Na guarita ou portaria são distribuídos capacetes para os visitantes			
3. Há campainha no portão de acesso de pedestres			

OBS:

A5. ESCRITÓRIO (Sala de Engenheiro e Mestre) Existe () Não existe ()	Sim	Não	NA
1. Dela tem-se a visão global do terreno			
2. A documentação técnica da obra está a vista e é de fácil localização			
3. Tem estojo com materiais de primeiros socorros			

OBS:

A6. ALMOXARIFADO Existe () Não existe ()	Sim	Não	NA
1. Está perto do local de descarga dos caminhões			
2. Existem etiquetas com nomes de materiais e equipamentos			
3. É dividido em dois ambientes, um para armazenagem de materiais e ferramentas e outro para a sala do almoxarife com janela de expediente			

OBS:

A7. LOCAL PARA REFEIÇÕES Existe () Não existe ()	Sim	Não	NA
1. Há lavatório instalado em suas proximidades ou no seu interior (NR 18)			
2. Tem fechamento que permite isolamento durante as refeições (NR 18)			
3. Tem piso de concreto, cimentado ou outro material lavável (NR 18)			
4. Tem depósito com tampa para detritos			
5. Há assentos em número suficiente para atender aos usuários (NR 18)			
6. As mesas são separadas de forma que os trabalhadores agrupem-se segundo sua vontade			

OBS:

A8. VESTIÁRIO Existe () Não existe ()	Sim	Não	NA
1. Tem piso de concreto, cimentado ou material equivalente (NR 18)			
2. Tem bancos e cabides que não sejam de pregos			
3. Tem armários individuais dotados de fechadura e cadeado (NR 18)			

OBS:

A9. INSTALAÇÕES SANITÁRIAS Existe () Não existe ()	Sim	Não	NA
----------------------------------------------------------------	-----	-----	----

Nº de chuveiros: _____ Nº de vasos sanitários: _____

Nº de mictórios: _____ Nº de lavatórios: _____

1. Os banheiros estão ao lado do vestiário			
2. O mictório e o lavatório são passíveis de reaproveitamento			
3. Há banheiros volantes nos andares (em prédios com mais de 5 pvtos)			
4. Há papel higiênico e recipientes para depósito de papéis usados no banheiro (NR 18)			
5. Nos locais onde estão os chuveiros há piso antiderrapante ou estrado de madeira (NR 18)			
6. Há suporte para sabonete e cabide para toalha correspondente à cada chuveiro (NR 18)			
7. Há um banheiro exclusivo para as pessoas da administração da obra (mestre, engenheiro e técnicos)			
8. Para deslocar-se do posto de trabalho até as instalações sanitárias é necessário percorrer menos de 150 metros (NR 18)			
9. As paredes internas dos locais onde estão instalados os chuveiros são de alvenaria ou revestidos com chapas galvanizadas ou outro material impermeável			

OBS:

A10. ÁREAS DE LAZER	Sim	Não	NA
1. O refeitório ou outro local é aproveitado como área de lazer, possuindo televisão ou jogos			

OBS:

NOTAS - INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS

Pontos Possíveis (PP): _____ Pontos Obtidos (PO): _____
 (PO/PP) x 10: _____

B. SEGURANÇA NA OBRA	Sim	Não	NA
-----------------------------	-----	-----	----

B1. ESCADAS	Sim	Não	NA
1. Há corrimão provisório constituído de madeira ou outro material de resistência equivalente (NR 18)			
2. Há escada ou rampa provisória para transposição de pisos com desnível superior à 40 cm (NR 18)			
3. Quando da concretagem da escada já é deixada alguma espécie de espera para servir de montante para os corrimãos			
4. Os corrimãos estão pintados e estão em bom estado de conservação			
5. As lâmpadas dos patamares das escadas possuem proteção gradeada contra batidas			

OBS:

B2. ESCADAS DE MÃO	Sim	Não	NA
1. Ultrapassam cerca de 1,0 m o piso superior (NR 18)			
2. São fixadas nos pisos superior e inferior ou são dotadas de dispositivos que impeça o escorregamento (NR 18)			

OBS:

B3. POÇO DO ELEVADOR	Sim	Não	NA
1. Há fechamento provisório, com um guarda corpo e rodapé, de no mínimo 1,2 m de altura (NR 18)			
2. O fechamento provisório é constituído de material resistente e está seguramente fixado à estrutura (NR 18)			
3. Há assoalhamento de madeira ou malha de ferros dentro dos poços para amenizar eventuais quedas			

OBS:

B4. PROTEÇÃO CONTRA QUEDAS NO PERÍMETRO DOS PAVTOS	Sim	Não	NA
Se houver andaime fachadeiro passe para o item B5			
1. Há proteção efetiva, constituída por anteparo rígido com guarda-corpo e rodapé revestido com tela (NR 18)			

OBS:

B5. ABERTURAS NO PISO	Sim	Não	NA
1. Todas as aberturas nos pisos de lajes têm fechamento provisório resistente (NR 18)			

OBS:

B6. PLATAFORMA DE PROTEÇÃO (bandeja salva-vidas)			
Caso a fase atual ou n° de pavtos não exijam o uso de bandejas, marque não se aplica para todos os itens	Sim	Não	NA
1. A plataforma principal está na primeira laje que esteja no mínimo um pé-direito acima do nível do terreno (NR 18). Se estiver em outro indique:			
2. Existem plataformas secundárias de proteção a cada 3 lajes, a partir da plataforma principal (NR 18)			
3. As plataformas contornam toda a periferia da edificação (NR 18)			
4. Os painéis das bandejas são fixados com parafusos ou borboletas			
5. A fixação das treliças é feita através de furo na viga, espera na laje ou solução equivalente			
6. A plataforma principal e as secundárias têm largura de 2,50 m + 0,80 m (à 45°) e 1,40 m + 0,80 m (à 45°) respectivamente (NR 18)			
7. O conjunto bandejas / treliças é pintado e está em bom estado de conservação			

OBS:

B7. SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA	Sim	Não	NA
1. Há identificação dos locais de apoio (banheiros, escritório, almoxarifado) que compõe o canteiro (NR 18)			
2. Há alertas quanto a obrigatoriedade do uso de EPI, específico para a atividade excuta da, próximos ao posto de trabalho (NR 18)			
3. Existe identificação dos andares da obra			
4. Há advertências quanto ao isolamento das áreas de transporte e circulação de materiais por grua, guincho ou guindaste (NR 18)			
5. Há placa no elevador de materiais, indicando a carga máxima e a proibição do transporte de pessoas (NR 18)			

OBS:

B8. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)	Sim	Não	NA
1. São fornecidos capacetes aos visitantes			
2. Independente da função todo trabalhador está usando capacete e botinas			
3. Os trabalhadores estão usando uniforme cedido pela empresa (NR 18)			
4. Os trabalhadores em andaimes externos ou na execução de qualquer serviço à mais de 2,0 m de altura usam cinto de segurança com cabo fixado na construção (NR 18)			

OBS:

B9. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	Sim	Não	NA
1. Circuitos e equipamentos não tem partes vivas expostas, tais como fios desencapados (NR 18)			
2. Os fios condutores estão em locais livres do trânsito de pessoas e equipamentos, de modo que está preservada sua isolação (NR 18)			
3. Todas as máquinas e equipamentos elétricos estão ligados por conjunto plugue e tomada (NR 18)			
4. As redes de alta tensão estão protegidas de modo a evitar contatos acidentais com veiculos, equipamentos e trabalhadores (NR 18)			

OBS:

B10. ANDAIMES SUSPENSOS	Sim	Não	NA
1. Os andaimes dispõem de guarda-corpo e rodapé em todo o perímetro, exceto na face de trabalho (NR 18)			
2. Existe tela de arame, náilon ou outro material de resistência equivalente presa no guarda-corpo e rodapé (NR 18)			

OBS:

B11. PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO	Sim	Não	NA
1. O canteiro possui extintores para combate a princípios de incêndio (NR 18) No de extintores:			

OBS:

B12. GUINCHO	Sim	Não	NA
1. A torre do guincho é revestida com tela (NR18)			
2. As rampas de acesso à torre são dotadas de guarda-corpo e rodapé, sendo planas as ascendentes no sentido da torre (NR 18)			
3. Há pneus ou outra espécie de amortecimento para a plataforma do elevador no térreo			
4. O posto de trabalho do guincheiro é isolado e possui cobertura de proteção contra queda de materiais (NR 18)			
5. Há assento ergonômico para o guincheiro (NR 18)			
6. A plataforma do elevador é dotada de contenção nas laterais em que não há carga-descarga			
7. No térreo o acesso a plataforma do elevador é plano, não exigindo esforço adicional no empurramento de carrinhos/jericas			
8. Nas concretagens são deixados ganchos de ancoragem nos pavimentos para atirantar a torre do guincho			
9. Caso o guincho utilize campainha, o operário pode acioná-la sem subir na plataforma do elevador			

OBS:

B13. GRUA	Sim	Não	NA
1. Existe delimitação das áreas de carga e descarga de materiais (NR 18)			
2. A grua possui alarme sonoro que é acionado pelo operados quando há movimentação de carga (NR 18)			

OBS:

NOTAS - SEGURANÇA NA OBRA

Pontos Possíveis (PP): _____ Pontos Obtidos (PO): _____
(PO/PP) x 10: _____

C. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS			
----------------------------------------------------------------	--	--	--

C1. VIAS DE CIRCULAÇÃO	Sim	Não	NA
1. Há contrapiso nas áreas de circulação de materiais ou pessoas			
2. Existe cobertura para transporte de materiais da betoneira ao guincho			
3. É permitido o transito de carrinhos/jeicas perto dos estoques em que tais equipamentos fazem-se necessários			
4. Há caminhos previamente definidos para os principais fluxos de materiais, próximos ao guincho e nas áreas de produção de argamassa e armazenamento			

OBS:

C2. ENTULHO	Sim	Não	NA
1. São utilizadas caixas para os desperdícios nos andares e/ou depósito central de desperdícios			
2. O entulho é transportado para o térreo através de calha ou tubo coletor			
3. O canteiro está limpo sem calça e sobras de madeiras espalhadas, de forma que não está prejudicada a segurança e circulação de materiais e pessoas			
4. O entulho é separado por tipo de material e reaproveitado			

OBS:

C3. GUINCHO	Sim	Não	NA
1. A comunicação do guincheiro é feita através de botão em cada pavimento que aciona lâmpada ou campainha junto ao posto do guincheiro (NR 18). Outro sistema:			
2. Há utilização de tubofone em combinação com outro sistema de comunicação			
3. Há placa com a logomarca da empresa na torre do guincho			
4. O guincho está mais próximo possível do baricentro do pvto tipo			
5. O guincho está em frente a parede cega			
6. A área próxima do guincho está desobstruída, permitindo livre circulação dos equipamentos de transporte			
7. As peças para acesso nos pavimentos são amplas, facilitando a carga/descarga e estoque provisório de materiais nestes locais			

OBS:

C4. ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS	Sim	Não	NA
---------------------------------------	-----	-----	----

CIMENTO	Sim	Não	NA
1. Existe estrado sob o estoque de cimento			
2. As pilhas de cimento têm no máximo 10 sacos			
3. O estoque está protegido da umidade em depósito fechado e coberto, caso não exista depósito há cobertura com lona ou outro dispositivo			
4. Havendo depósito fechado é praticada a estocagem do tipo PEPS (primeiro saco à entrar é o primeiro a sair)			
5. No caso das pilhas estarem adjacentes às paredes (do depósito ou não) há uma distância mínima de 0,30m para permitir a circulação de ar			

OBS:

AGREGADOS E ARGAMASSAS	Sim	Não	NA
6. As baias para brita/areia/argamassa têm contenção em três lados			
7. As baias têm fundo cimentado para evitar a contaminação do estoque			
8. A areia é descarregada no local definitivo de armazenagem (não há duplo manuseio)			
10. As baias de areia e argamassa estão em local protegido da chuva ou tem cobertura com lona			
11. As baias de areia e argamassa estão próximas da betoneira. Estime a distância em metros:			

OBS:

TIJOLOS / BLOCOS	Sim	Não	NA
12. O estoque está em local limpo e nivelado, sem contato direto com o solo			
13. É feita a separação de tijolos por tipo			
14. As pilhas de tijolos têm até 1,80m de altura			
15. Os tijolos são descarregados no lugar definitivo de estocagem			
16. O estoque está em local protegido de chuva ou tem cobertura com lona			
17. O estoque está próximo ao guincho. Estime a distância em metros:			

OBS:

NOTAS - MOVIMENTAÇÃO E ARMAZENAMENTO

Pontos Possíveis (PP): _____ Pontos Obtidos (PO): _____
 (PO/PP) x 10: _____