



METODOLOGIA PARA PROJETO ERGONÔMICO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Ana Lúcia Leite Rodrigues

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Mario César Rodriguez Vidal

Rio de Janeiro
Setembro de 2012

METODOLOGIA PARA PROJETO ERGONÔMICO UTILIZANDO SISTEMA DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Ana Lúcia Leite Rodrigues

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Mario Cesar Rodriguez Vidal, D. Sc.

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc.

Prof. Mário Jorge Ferreira de Oliveira, D. Sc.

Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D. Sc.

Prof. Julia Celia Mercedes Strauch, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2012

Rodrigues, Ana Lúcia Leite

Metodologia para projeto ergonômico utilizando sistema de informação geográfica / Ana Lúcia Leite Rodrigues. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XIII, 153 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Mario César Rodriguez Vidal

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 148-153.

1. Ergonomia. 2. Sistema de Informação Geográfica. 3. Tomada de Decisões. I. Vidal, Mario César Rodriguez. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título

Dedicatória

*Aos meus pais, marido e filhas,
por todo apoio, compreensão
e ajuda durante toda a minha vida e,
em especial, durante a elaboração
deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por seu meu guia e respaldo nessa jornada da vida.

A todos que contribuíram para meu crescimento, sob todos os aspectos, no período em que juntos convivemos, de modo especial a professores, colegas e familiares.

Ao Professor Mario Vidal, por aceitar me orientar.

À Lindalva, Roberta e Suenia, por toda cooperação no decorrer do trabalho.

Aos meus pais, Odilon e Ligia, por sempre me ampararem, amarem, incentivarem, fortalecerem e não me deixarem cair nos momentos mais difíceis de serem superados.

Ao meu marido, por tantas ausências durante a execução do trabalho.

Às minhas filhas, Thaísa e Júlia, eternas inspirações e razões para continuar a caminhada da vida.

Resumo de Tese apresentada a COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

METODOLOGIA PARA PROJETO ERGONÔMICO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Ana Lúcia Leite Rodrigues

Setembro 2012

Orientador: Mario Cesar Rodriguez

Programa: Engenharia de Produção

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia para construção de uma nova forma de atuação do ergonomista, que propõe integrar dados ergonômicos. Nesta abordagem os dados são georreferenciados de modo a proporcionar ao projeto ergonômico, uma análise integrada e uma visualização dos problemas no momento em que se considera o espaço no local de trabalho.

Para isto é construído um banco de dados em uma plataforma de sistema de informação geográfica (SIG), a fim de propiciar um gerenciamento adequado e rapidez na execução do projeto ergonômico.

Partindo do exposto, são objetivos específicos: 1) Organizar e padronizar todos os dados disponíveis em um ambiente SIG, de forma a oferecer ao projeto ergonômico uma análise integrada e uma visualização dos problemas no momento em que considera o espaço; 2) Testar, a partir de um estudo de caso, a capacidade do banco de dados em fornecer acesso a um amplo acervo de dados originados de fontes variadas; 3) Implementar regras ergonômicas de análise, auxiliando o ergonomista no tratamento das informações gerando interpretações novas, oriundas de dados e produtos existentes.

Esse processo contribui para atividade ergonômica, além de ser extremamente relevante para governantes e empresas, no momento em que busca harmonizar com muito mais rapidez e eficiência a relação trabalho & trabalhador, melhorando as condições nos postos de trabalho e aumentando à produtividade.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

METHODOLOGY FOR ERGONOMIC PROJECTS
USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Ana Lúcia Leite Rodrigues

September/2012

Advisor: Mario Cesar Rodriguez

Department: Production Engineering

The overall goal of this work is the development of a methodology for creating a new performance for the ergonomist, that intends to integrate ergonomics and georeferenciados data, providing the ergonomics project with an integrated analysis and an overview of potential problems at the time that space is considered.

This methodology consists in the creation of a database in a geographic information system (GIS) in order to provide a most favorable management and quick execution of the ergonomics project.

Based on the assumptions exposed, the main goals are: 1) Organize and standardize all the available data in a SIG environment, targeting its recuperation and information quality improvement, in order to provide the project with an integrated analysis and an overview of potential problems at the time space is considered.; 2) Test, from a fictitious project, the data capability to provide access to a wider data originated from various sources; 3) assist the ergonomics in the analysis and treatment of this information, originating new interpretations from existing products.

This process will result in the creation of a method that will comfort workers, higher productivity, more suitable working stations, and better data and information organization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O PROBLEMA	1
1.2	MOTIVAÇÃO	2
1.3	OBJETIVO GERAL	3
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2	ANÁLISE ERGONÔMICA	6
2.1	ANÁLISE ERGONÔMICA NAS EMPRESAS	6
2.1.1	Ergonomia participativa	8
2.1.2	Definição de problemas	9
2.1.3	Resolução dos problemas	10
2.2	ESTRUTURAÇÃO DA ANÁLISE ERGONÔMICA	10
2.2.1	Planejamento	11
2.2.2	Análise da demanda	11
2.2.3	Coleta de dados	13
2.2.4	Pré-diagnóstico ergonômico	14
2.2.5	Diagnóstico ergonômico	15
2.2.6	Elaboração do plano de ação	16
2.2.7	Execução das ações planejadas	17
2.2.8	Avaliação das transformações	18
2.2.9	Validação	18
3	REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1	ERGONOMIA	20
3.1.1	Introdução	20
3.1.2	Origem e histórico	21
3.1.3	Conceitos básicos	22
3.1.4	O sistema homem-máquina	26
3.1.5	O sistema homem-tarefa	26
3.1.6	Custos humanos no trabalho	27
3.1.7	Erros humanos	29
3.1.8	Os acidentes de trabalho	30
3.1.9	Os defeitos da produção e da baixa produtividade	32

3.1.10 A ergonomia como estratégia empresarial	33
3.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	34
3.2.1 Introdução	34
3.2.2 Origem e histórico	35
3.2.3 Conceitos básicos	37
3.2.4 Elementos componentes do SIG	40
3.2.5 Fases de implementação de um SIG	47
3.2.6 SIG como uma tecnologia integradora	53
3.2.7 SIG no processo de tomada de decisão	56
4. BANCO DE DADOS	
4.1 SISTEMAS DE BANCO DE DADOS	58
4.2 DESENVOLVIMENTOS DE GERENCIADORES DE BANCO DE DADOS	61
4.3 CONCEITOS DE SISTEMA DE BANCOS DE DADOS	63
4.3.1 Sistema de gerenciamento de bancos de dados	64
4.3.2 Programa de aplicação	65
4.3.3 Sistema de banco de dados: vantagens e desvantagens	66
4.3.4 Fases do projeto de banco de dados	68
4.4 MODELOS DE DADOS	69
4.5 NOÇÕES BÁSICAS DO MODELO RELACIONAL	70
4.5.1 Modelo relacional	71
4.5.2 Álgebra relacional	73
4.5.3 SQL: Linguagem de consulta estruturada	73
4.6 PROJETO DE BANCOS DE DADOS	75
4.7 MODELO ENTIDADE-RELACIONAMENTO	76
4.8 IDENTIFICANDO ENTIDADES	77
4.9 RELACIONAMENTO	78
4.10 IDENTIFICANDO RELACIONAMENTOS	79
4.11 TRANSFORMANDO RELACIONAMENTOS	80
4.12 FERRAMENTAS CASE	81
5 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS E O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	82
5.1 BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICO	82
5.1.1 Dado, informação e fenômeno geográficos	82

5.2 REQUISITOS DE MODELAGEM PARA APLICAÇÃO DE SIG	85
5.2.1 Fenômeno geográfico e objeto convencional	85
5.2.2 Visões de campo e de objetos	86
5.2.3 Aspectos temáticos	86
5.2.4 Aspectos espaciais	87
5.2.5 Múltiplas representações	88
5.2.6 Relacionamentos espaciais	88
5.2.7 Aspectos temporais	89
5.3 MODELANDO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS COM UML- GEOFRAME	90
5.3.1 Classes e subclasses de um GeoFrame	92
5.3.2 Processo de modelagem UML-GeoFrame	95
5.4 PROJETO LÓGICO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS	97
5.4.1 Transformando objetos geográficos	98
5.5 ARMAZENAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS	99
5.5.1 Armazenamento de representações matriciais	100
5.5.2 Armazenamento de indexação de representações vetoriais	100
5.6 OPERAÇÕES SOBRE OS DADOS GEOGRÁFICOS	103
5.6.1 Operações sobre geo-objetos	103
6 METODOLOGIA PROPOSTA	105
6.1 INTRODUÇÃO	105
6.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	105
6.3 MÉTODO DA PESQUISA	106
6.3.1 Levantamento dos dados	108
6.3.2 Identificação dos dados do projeto	109
6.4 BANCO DE DADOS E O SIG NO PROJETO	120
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	124
7.1 ESTRUTURAÇÃO DA ANÁLISE	124
7.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS	124
7.3 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DO PROJETO	125
8 CONCLUSÃO E PROPOSTAS FUTURAS	148
8.1 CONCLUSÃO	148
8.2 PROPOSTAS FUTURAS	149
REFERÊNCIAS	150

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Nº	FIGURAS	PÁG.
1	Categorias de dimensões da informação geográfica	83
2	1ª Etapa – Identificação dos dados para caracterização do projeto	108
3	2ª Etapa – Identificação dos problemas existentes no ambiente	113
4	3ª Etapa – Relação das melhorias sugeridas	115
5	4ª Etapa – Exportação do banco de dados para plataforma SIG	116
6	Exemplo da migração do BD para o SIG	116
7	Exemplo de dados vetoriais	117
8	Localização do laboratório ambiental	120
9	Mapa de localização	126
10	Laboratório de análise ambiental – Planta baixa do espaço total do projeto	127
11	Laboratório de análise ambiental – Espaço Recepção	129
12	Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala da Direção	130
13	Laboratório de análise ambiental – Espaço Arquivo	132
14	Laboratório de análise ambiental – Espaço Cozinha	133
15	Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala de Reunião	134
16	Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala do Responsável pelos Projetos	136
17	Laboratório de análise ambiental – Espaço	138

Sala de Projetos

18	Classificação dos espaços considerando os registros	141
19	Classificação dos problemas considerando as variáveis estudadas	142

TABELAS

1	Tabela principal: identificação da situação do projeto	106
2	Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto município	106
3	Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto organismo	107
4	Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto natureza	107
5	Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto tipo	107
6	Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto cliente	108
7	Tabela principal: problemas evidenciando os impactos e as causas	109
8	Tabela secundária: requisitos a observar na variável postura adotada	109
9	Tabela secundária: requisitos a observar na variável mobiliário	110
10	Tabela secundária: requisitos a observar na variável biomecânicas do trabalhador	110
11	Tabela secundária: requisitos a observar na variável ambiente	110
12	Tabela secundária: requisitos a observar na variável ambiente	111

13	Tabela secundária: requisitos a observar na variável organizacional	111
14	Tabela secundária: requisitos a observar na variável referências	112
15	Tabela secundária: requisitos a observar na variável referências empíricas	112
16	Tabela principal: problemas evidenciando as melhorias e providências	114
17	Tabela secundária: requisitos a observar na variável providências recomendadas	114
18	Tabela secundária: requisitos a observar na variável treinamentos sugeridos	114
19	Tabela secundária: requisitos a observar na variável projetos indicados	115
20	Dados tabulares compilados, que estavam em meio digital	118
21	Crítérios de classificação do registro	139
22	Resultado da análise através da divisão das classes	140

1 INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA

A ergonomia tem como principal função aperfeiçoar as condições de trabalho, visando, de forma integrada, à saúde, ao bem-estar do trabalhador e ao aumento da produtividade.

O sistema de produção é composto de máquinas, ferramentas, operadores, como também das suas formas de uso, com objetivo de produzir um bem ou serviço na organização do trabalho.

A organização do trabalho pode ser caracterizada pelas modalidades de repartir as funções entre os operadores e as máquinas. Ela define quem faz o quê, como, em que tempo, quem supervisiona, quem é o responsável. A organização do trabalho projeta uma situação a partir de dados supostamente conhecidos e variáveis, com o objetivo de alcançar um determinado fim. Esta estabelece em quanto tempo uma tarefa deve ser realizada e o quanto será repetida, ou seja, a cadência e o ritmo da produção. A cadência refere-se à velocidade dos movimentos que se repetem em uma dada unidade de tempo. O ritmo é a maneira como as cadências são ajustadas ou arranjadas: livre (pelo indivíduo) ou imposto (pela necessidade da tarefa). O ritmo de trabalho é diretamente influenciado pela forma de remuneração do trabalhador: se esta é fixa ou variável em função do volume de trabalho produzido. A organização do trabalho define, também, o modo operatório, que é a forma como devem ser realizadas as tarefas para se alcançar a meta projetada.

Quando uma tarefa é executada, não se pode afirmar que apenas o trabalho prescrito será efetuado, pois o operador realizará outras, adaptando o que foi traçado inicialmente às suas características e habilidades pessoais, que não foram sequer imaginadas em seu projeto original.

Todo este estudo envolve variados aspectos e demanda um grande número de dados com diversos tipos de análises. Estes dados referem-se a um lugar, ou seja, estão associados a um espaço, logo georreferenciar os mesmos, permitirá uma melhor organização e análise ergonômica.

Compreender a distribuição espacial de dados no espaço geográfico constitui, hoje, um desafio para elucidação de questões em diversas áreas de conhecimento. Esses estudos vêm se tornando cada vez mais comuns, devido à disponibilidade de sistemas de informações geográficas (SIG) de baixo custo e com interfaces amigáveis. Tais sistemas permitem a visualização espacial de variáveis, bastando, para isso, dispor de um banco de dados e de uma base geográfica.

Trabalhar com dados georreferenciados significa, antes de tudo, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. Deste modo, o problema fundamental da ciência da geoinformação é o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico.

1.2 MOTIVAÇÃO

O projeto ergonômico está diretamente ligado à ergonomia de manutenção (corretiva), onde o trabalho é analisado conforme a tarefa que já é executada. A influência sobre a qualidade de vida do ser humano dentro da empresa é reflexo do ambiente de trabalho como um todo.

Este projeto mostra a situação geral no que toca ao posto de trabalho, pressões, carga cognitiva, densidade do trabalho, organização do trabalho, modo operatório, ritmos, posturas, entre outros fatores relevantes.

O projeto ergonômico é o diagnóstico dos problemas e suas consequências tanto para o funcionário como para a empresa. É condição primordial para que se possa, então, proceder aos projetos de modificações, visando ao bem-estar do ser humano e à produtividade com qualidade.

Para que seja completo e proveitoso para a empresa, demanda dias de estudos e observações, registro de imagens, diálogo com os funcionários baseados na confiança mútua gerada pela empatia. Complementando os estudos, utilizam-se também levantamentos estatísticos e a análise de registros já existentes na empresa, coleta de informações em vários e diferentes departamentos.

Todo ser humano, para desenvolver qualquer atividade, principalmente aquelas voltadas ao planejamento, necessita ter acesso a muitos dados e informações. Nas

instituições – tanto públicas como privadas – que atuam nas grandes cidades, a manipulação destes dados e informações pode ser bastante crítica. Trabalhar com papéis, relatórios, pesquisas, plantas, croquis e outros tipos de informação é bastante desgastante, além do que torna o ambiente de trabalho desorganizado e sufocante. Isto pode levar à improdutividade, à perda e mistura de informações, a uma diminuição da qualidade dos serviços desenvolvidos, enfim, leva à ineficiência de qualquer instituição.

O profissional atualizado e capacitado necessita estar inserido nesse contexto e navegar com fluidez em um mundo cada vez mais acelerado. Para tanto, se faz necessário conhecer os aparatos tecnológicos básicos, perceber tendências, atualizar competências e, principalmente, tomar rápidas decisões. Neste último item encontra-se um paradoxo, em que a tecnologia é, ao mesmo tempo, a grande solução, pelo potencial de agilização no processo de acesso a dados e um grande problema, posto que vivemos imersos em um universo gerador de enormes quantidades de dados.

A principal motivação para aplicação desta metodologia no projeto ergonômico está diretamente relacionada à facilidade no gerenciamento das informações. A ergonomia é cercada de inúmeros dados e variáveis para definição de um diagnóstico.

Para tratar estes dados e proporcionar rapidez e eficiência ao trabalho do ergonomista optou-se pela utilização do SIG no momento em que é apropriado para realização de uma análise espacial ao local de trabalho.

O benefício para utilização do SIG nesta metodologia não se restringe, apenas, ao gerenciamento de informações, mas também a aspectos relacionados a:

- capacidade de manipulação de um volume de dados informatizado de armazenamento;
- recuperação de dados sobre sistemas convencionais mediante a capacidade de manipulação de um volume de dados muito maior e com eficiência;
- capacidade de cruzamento de dados, rapidez e flexibilidade na recuperação de dados; e
- maior variedade de formas de apresentação e um maior e melhor acesso a métodos de modelagem estatística e gráfica para análise e interpretação de dados.

Com o surgimento do SIG, abriram-se novas perspectivas de integração entre os modelos computacionais da investigação operacional e estes sistemas de informação, em um ambiente flexível e adaptável, apresentando uma interface amigável ao utilizador. A visualização do contexto e estrutura do problema e suas soluções alternativas é um dos componentes mais poderosos de um suporte à decisão.

O SIG é um sistema que possui grande capacidade de sobrepor e combinar diversos tipos de dados em uma mesma base, associando dados gráficos com não gráficos, sendo entendido como um sistema de coleta, armazenamento, análise e representação dos dados.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor uma metodologia para ser implantada em projeto ergonômico integrando dados ergonômicos e dados georreferenciados.

Esta metodologia consiste na criação de um banco de dados em uma plataforma de sistema de informação geográfica (SIG), proporcionando melhor gerenciamento e rapidez na execução do projeto ergonômico.

Partindo do exposto, os objetivos específicos são descritos a seguir.

1 – Organizar e padronizar todos os dados disponíveis em um ambiente SIG, visando à recuperação destes dados e a melhoria da qualidade das informações, proporcionando ao projeto ergonômico uma análise integrada e uma visualização dos problemas no momento em que considera o espaço.

2 – Testar, a partir de um estudo de caso, a capacidade do banco de dados fornecer acesso a um amplo acervo de dados originados de fontes variadas.

3 – Implementar regras ergonômicas de análise, auxiliando o ergonomista no tratamento das informações gerando interpretações novas, oriundas de dados e produtos existentes.

Dessa forma, a ideia essencial da pesquisa é utilizar o SIG e as regras ergonômicas na análise do ergonomista, de forma que possa incrementar a capacidade de interação de diferentes níveis de decisões com o novo cenário contextual imposto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A partir deste capítulo, para melhor organização, o trabalho será estruturado com a seguinte sequência:

O capítulo 2 apresenta a análise ergonômica, subdividindo-se em: análise ergonômica na empresa e estruturação da análise ergonômica.

O capítulo 3 expõe sobre a revisão da literatura, abordando ergonomia e sistemas de informações geográficas.

O capítulo 4 aborda o tema banco de dados e seus conceitos.

O capítulo 5 será tratado o banco de dados geográfico e o sistema de informação geográfica.

O capítulo 6 apresenta a metodologia proposta aplicada a um estudo de caso.

O capítulo 7 apresenta a análise dos resultados.

O capítulo 8 revela as conclusões e as propostas para trabalhos futuros.

2 ANÁLISE ERGONÔMICA

2.1 ANÁLISE ERGONÔMICA NAS EMPRESAS

A atividade de trabalho traz consequências múltiplas para as empresas e para os trabalhadores. Segundo Guérin *et al.* (2001), a ação ergonômica permite à empresa compreender as dificuldades encontradas em um determinado lugar e identificar os pontos que devem ser objeto das transformações dessas situações de trabalho.

De acordo com a Norma Regulamentadora NR 17, do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), em seu item 17.1.2, cabe à empresa:

avaliar a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, cabe ao empregador realizar a análise ergonômica do trabalho, devendo a mesma abordar, no mínimo, as condições de trabalho conforme estabelecido nesta Norma Regulamentadora (MTE, 1996).

De acordo com Benito e Coutinho (2000), a análise ergonômica do trabalho é prevista na regulamentação brasileira desde 1990, mas sua realização, na prática, está cercada de controvérsias em função da falta de indicadores quantitativos para a maioria dos casos. Assim, para realizar ações ergonômicas, busca-se apoio em metodologias encontradas em livros especializados, ou apoio de outros métodos para solucionar problemas.

Segundo Vidal (2000), a ação ergonômica é um conjunto de princípios e conceitos eficazes, que viabilizam as mudanças necessárias para a adequação do trabalho às características, habilidades e limitações dos agentes no processo de produção de bens e serviços. Nesse sentido, a ação ergonômica:

- parte dos diversos conhecimentos sobre as características, habilidades e limitações da pessoa humana envolvida em um processo de produção;

- alimenta-se das diversas modelagens sobre a natureza e o processo de tomada de decisão, individual e coletiva do trabalhador, que requer a execução de atividades de trabalho;
- estabelece-se com foco na organização do trabalho, descrevendo as atividades de trabalho como uma resposta do operador às exigências de produção;
- é conduzida na perspectiva da avaliação custo-efetividade, buscando, ao longo da ação, avaliar o custo e o retorno propiciados pela ergonomia para a organização;
- produz resultados em nível de negócios, inserindo as necessidades de mudanças estabelecidas nos campos clássicos, cognitivos e situadas em uma perspectiva maior da estratégia e da organização da empresa, suas contingências e de mudanças de cultura da organização.

Para Hägg (2003), a implantação de um programa de ergonomia varia substancialmente do tipo de companhia, das suas políticas e organização interna. Geralmente, o responsável operacional pelas ações é a medicina do trabalho, engenharia de segurança, ou departamento de ergonomia, se houver. Usualmente, um ou vários comitês de ergonomia são montados, dependendo do tamanho da planta. Um padrão comum é que um comitê central tenha a responsabilidade global pelas atividades, enquanto o operacional assume a responsabilidade por comitês locais, com representantes da engenharia, supervisores e do pessoal do “chão-de-fábrica”. No começo, as atividades são limitadas, mas se as ações obtêm êxito, são estabelecidos recursos razoáveis para um progresso contínuo e as atividades são ampliadas. É importante preservar um padrão contínuo de trabalho, pois é provável que os problemas apareçam nos melhores processos de produção, complementa o autor.

Campos (2000) acrescenta que, através da ação, é possível identificar o comportamento das pessoas na situação de trabalho, tanto o comportamento manifesto ou diretamente observado, como no não manifesto, ou seja, a conduta.

Na análise da atividade, é possível identificar o conhecimento adquirido pelas pessoas na realização do trabalho. Dessa maneira, fundamenta-se a participação dos trabalhadores na transformação da própria situação do trabalho.

2.1.1 Ergonomia participativa

Partindo do pressuposto que aqueles que atuam no posto de trabalho ou linha de produção são as pessoas mais indicadas para informar os problemas que acontecem no dia a dia e, igualmente, participar da proposição das soluções, Fischer e Guimarães (2001) propõem a participação dos trabalhadores em todos os momentos de estudos e/ou intervenção ergonômica.

Segundo Eklund (2000), a participação dos empregados no desenvolvimento e melhoria das próprias condições de trabalho foi fortemente enfatizada pelo “movimento da qualidade”, requerendo, muitas vezes, uma mudança organizacional, com o intuito de se criar uma estrutura mais aberta à participação. Por isto, é importante discutir as ações entre todas as pessoas envolvidas no processo, desde o início até a implantação das medidas propostas.

Benefícios como uma maior satisfação dos trabalhadores e um melhoramento nos controles relativos à qualidade também foram atingidos. Eklund (2000) acrescenta que, do ponto de vista da qualidade – e em particular do ponto de vista da ergonomia –, é encorajador realizar um trabalho de melhoria das condições de trabalho.

Halpern e Dawson (1997) continuam discutindo a efetividade das intervenções individuais, apesar de muitos estudos comprovarem os benefícios da ergonomia participativa, inclusive com a redução de doenças nos trabalhadores. Então, complementam os autores, um programa de ergonomia participativa aproxima a empresa dos seus objetivos de qualidade, produtividade, segurança e redução de danos, alcançando, com isso, a redução efetiva dos custos.

Assim sendo, é nesse contexto que a direção da empresa deve oferecer condições que estimulem a participação de todos os trabalhadores, de diferentes áreas e níveis

hierárquicos, em todas as fases da ação ergonômica, a fim de facilitar a identificação e a correção de problemas, seguindo os passos que serão propostos adiante.

2.1.2 Definição de problemas

Segundo Oliveira e Minicucci (2001), problema é um desvio, obstáculo ou uma sequência de ações que levam a um resultado diferente de um padrão esperado ou desejado.

Para Barbosa *apud* Moraes e Mont'Alvão (2000), problema é uma defasagem entre o que é e o que deveria ser, ao se considerar um determinado aspecto da realidade; e que, para ser o que deveria requer uma solução capaz de mudar os aspectos problemáticos.

Campos (1992) complementa que um problema se produz quando o responsável pelo processo (o gerente, o supervisor ou o próprio trabalhador) não está satisfeito com os resultados.

A ação ergonômica trata dos problemas de maneira conjunta e negociada, contribuindo, assim, para fazer evoluir as relações sociais na empresa (GUÉRIN *et al.*, 2001). Logo, é evidente que a ação do ergonomista deve integrar estas duas dimensões estratégicas:

- permitir a ação imediata mediante a busca de soluções;
- favorecer a durabilidade da ação, assim como a evolução e o domínio das situações, transferindo uma parte de suas próprias competências para a empresa.

Nesse sentido, pode-se considerar o número elevado de absenteísmo de trabalhadores, quer seja por doenças ocupacionais, por acidentes ou condições inadequadas de trabalho. Caso a situação seja problemática, deve ser tratada pela direção da empresa.

Por outro lado, a eficácia da ação ergonômica depende amplamente do método implantado para a solução dos problemas encontrados no momento da avaliação. É importante, então, poder avaliar o que evoluiu ou não durante a ação ou ao término dela.

2.1.3 Resolução dos problemas

Segundo Moraes e Mont'Alvão (2000), sem uma formulação bem elaborada do problema, não se sabe que solução se procura e, conseqüentemente, é impossível encontrá-la. O processo de resolução de problemas é, sem dúvida, um item de extrema relevância no contexto da administração. Para Loriggio (2002), isto acontece porque é, em grande parte, mediante a resolução dos problemas que os administradores alcançam os resultados planejados.

Oliveira e Minicucci (2001) alertam sobre uma distinção que se deve ter sempre em mente: há um problema quando ocorre um desvio não esperado em relação ao que foi planejado, cuja causa é desconhecida. Se a causa é conhecida, ou descoberta, já não há um problema. Passa-se, então, a ter uma decisão a ser tomada.

Dessa forma, para tornar as ações mais eficazes, com o objetivo acima mencionado, é necessário a aplicação de um método. Convém ainda ressaltar a diferença entre método e ferramenta. Segundo Campos (1992), método é a seqüência lógica adotada para se atingir a meta almejada e ferramenta é o recurso a ser empregado no método. Sem o método, será inútil conhecer as ferramentas, como por exemplo, gráfico de Pareto, diagrama de Causa e Efeito etc. Assim, o que soluciona os problemas não são as ferramentas, mas sim o método.

2.2 ESTRUTURAÇÃO DA ANÁLISE ERGONÔMICA

A metodologia empregada neste estudo baseia-se em um modelo de intervenção ergonômica participativa, fundamentada na pesquisa-ação. Esta, aliada ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), opera no exame e resolução de problemas, desde a análise da demanda até a validação das melhorias propostas pelos usuários dos postos de trabalho.

Para auxiliar a compreensão dos problemas que afetam as pessoas em seu local de trabalho, é possível utilizar métodos de análise ergonômica. Dessa forma, são estruturadas e descritas as etapas que compõem tal metodologia, com a respectiva fundamentação de seu quadro teórico.

2.2.1 Planejamento

Segundo Iida (1990), a primeira providência necessária, antes de iniciar uma análise, é definir o seu objetivo, ou seja, planejar o trabalho, saber o que se pretende fazer ou conhecer. Para Guérin *et al.* (2001), toda ação ergonômica precisa, para obter bons resultados, ser bem conduzida, e isso implica ter plano de ação. Tanto a direção da empresa quanto os operadores e seus representantes têm interesse em dominar da melhor maneira as ações ergonômicas para dispor do máximo de informações e para melhor preservar seus interesses

Assim, tomando como base o estudo ergonômico, para compreensão e transformação das situações que trazem dificuldades aos trabalhadores e à empresa, fundamenta-se a ação ergonômica através das etapas descritas a seguir.

2.2.2 Análise da demanda

A demanda é o ponto de partida de toda ação ergonômica, fase em que são expressos seus objetivos. Para Guérin *et al.* (2001), as origens e as formas da demanda para uma ação ergonômica apresentam aspectos múltiplos, podendo provir:

- da direção da empresa - Corresponde ao interesse de se ver uma nova instalação funcionando em sua capacidade máxima, rapidamente, e de modo que as condições de realização do trabalho sejam as melhores possíveis;
- dos trabalhadores - São preocupações expressas diretamente pelos trabalhadores;

Como exemplo dos itens anteriores, pode-se citar um estudo quanto à utilização de certos produtos em seu posto de trabalho. Essas demandas não são necessariamente tratadas com prioridade pela direção da empresa.

- de instituições públicas ou organizações sindicais - Essas organizações solicitam um estudo sobre as relações entre as condições de realização do trabalho e os riscos de acidentes, podendo surgir a partir de um acidente

grave ou a pedido dos próprios trabalhadores. O tratamento dessa demanda pode ajudar no desenvolvimento da ergonomia: relações entre acidentes do trabalho e a organização do trabalho; concepção de interfaces de comandos, evoluções tecnológicas e risco toxicológico etc.

Portanto, as diferentes estruturas hierárquicas e funcionais da empresa devem estar informadas, desde o início da análise da demanda, tanto de seu conteúdo quanto dos resultados.

Frequentemente, o problema levantado pela empresa é relativo a um incômodo que se apresenta no dia a dia e/ou quando são identificadas consequências negativas, como acidentes, doenças ou insatisfação dos trabalhadores em relação ao trabalho. Ainda, segundo Guérin *et al.* (2001), somente uma parte dos problemas se relaciona à situação de trabalho.

Para melhor evidenciar a demanda, Thiollent (1997) indica que um trabalho preliminar da equipe de pesquisadores é eventualmente necessário para estimulá-la, requerendo a participação mais intensa e prolongada dos envolvidos. Assim, cabe ao pesquisador detectar outros problemas potenciais que possam afetar a saúde dos trabalhadores e o próprio desempenho econômico da empresa.

Em geral, a maior parte dos departamentos está – de uma maneira ou de outra – envolvida na demanda da ação ergonômica. Eles podem possuir informações, formalizadas ou não, que dizem respeito aos problemas levantados, podendo, portanto, ser esclarecidos. Normalmente, a formulação inicial é decorrente de problemas a resolver, isolados de seu contexto (GUERIN *et al.* 2001).

Portanto, as diferentes estruturas hierárquicas e funcionais da empresa devem estar informadas desde o início da análise da demanda, tanto de seu conteúdo quanto dos resultados esperados. Assim, poderão expressar seus pontos de vista quanto à demanda e as diversas competências da empresa poderão ser solicitadas e implicadas desde o início da ação.

2.2.3 Coleta de dados

Nessa fase, são coletadas todas as informações que poderão fornecer subsídios à equipe para determinar as causas do problema.

Para Dul e Weerdmeester (2000), o trabalho de um ergonomista deve começar com um levantamento das informações existentes. Dependendo dos aspectos que se quer analisar, diferentes técnicas de análise podem ser utilizadas, destacando-se:

- análise de documentos e estatísticas, como índices de absenteísmo, consultas ao serviço médico e outros;
- observações sobre eventos relevantes, como a frequência na mudança de posturas corporais;
- entrevistas conduzidas por questionários estruturados, dependendo das circunstâncias;
- discussões com pequenos grupos de usuários;
- questionários escritos dirigidos a um grande número de usuários;
- métodos experimentais, para obter dados sob condições controladas, tanto em laboratório como em campo.

Moraes e Mont'Alvão (2000) complementam que não se pode observar muitas coisas ao mesmo tempo; por isso, é fundamental limitar e definir o que se deseja. Para guiar a análise do trabalho é necessário dispor de um modelo adaptado para a situação em estudo. Segundo Montmollin (1990), torna-se necessário um método de observação que indique como e o quê deve ser observado. Para Guerin *et al.* (2001), a observação é a maneira mais imediata de interpretar uma atividade. Logo, observar significa obter uma determinada informação sobre algum aspecto da realidade.

De acordo com Thiollent (1997), o método da pesquisa-ação auxilia a análise ergonômica do trabalho. Esse método consiste, essencialmente, em acoplar pesquisa e ação em um processo no qual os atores implicados participam, junto com os pesquisadores, para chegarem interativamente a elucidar a realidade em que estão inseridos, identificando problemas coletivos, buscando e experimentando soluções em situação real.

2.2.4 Pré-diagnóstico ergonômico

Para Moraes e Mont'Alvão (2000), trata-se de uma fase exploratória que compreende o mapeamento dos problemas ergonômicos da empresa. Essa etapa consiste na sistematização do sistema homem-tarefa e na delimitação dos problemas ergonômicos, tais como: posturais, cognitivos, movimentacionais, operacionais, espaciais, físico-ambientais. Faz-se observações nos locais de trabalho e entrevistas com supervisores e trabalhadores. Uma das maneiras de documentar essa etapa é através de registros fotográficos e/ou em vídeo.

Para Balbinotti (2003), esse mapeamento tem a função de desencadear uma dinâmica entre os participantes da ação, de modo a estruturar o processo da pesquisa-ação em seminários e produzir efeitos pela divulgação de resultados preliminares e o encaminhamento de propostas de ação.

O pré-diagnóstico apresenta uma explicação dos problemas levantados, aponta os elementos que deverão ser considerados nas transformações e justifica as investigações a serem realizadas. Segundo Guérin *et al.* (2001), ele é elaborado a partir das constatações possíveis ao longo da investigação do funcionamento da empresa, das observações das atividades e dos conhecimentos do ergonomista sobre o homem no trabalho.

Nessa etapa, elabora-se o parecer ergonômico, que compreende a apresentação ilustrada dos problemas, a modelagem e as disfunções do sistema homem-tarefa. Para finalizá-la, os problemas são hierarquizados, a partir dos custos humanos do trabalho, segundo sua gravidade e urgência. Também se estabelece a priorização dos postos a serem diagnosticados e modificados: sugestões preliminares de melhoria e predições que se relacionam à provável causa do problema a ser focado no diagnóstico (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

2.2.5 Diagnóstico ergonômico

O diagnóstico ergonômico permite aprofundar os problemas priorizados na etapa anterior e testar as soluções. Segundo Moraes e Mont'Alvão (2000), é o momento de realizar observações sistemáticas das atividades no trabalho, dos registros de comportamento, em situação real de trabalho, ou seja, analisar o trabalho propriamente dito.

A análise advinda do diagnóstico constitui-se no exercício teórico do ergonômista, pois possibilita compreender a atividade de trabalho, os custos para o trabalhador (fadiga, acidentes etc.) e para a empresa (tempo perdido, problemas de qualidade etc.). A análise dessas dificuldades permite uma melhor adaptação do trabalho ao homem. Segundo Montmollin (1990), a análise do trabalho implica em uma descrição da atividade e, especialmente, dos critérios de produção, de qualidade e de segurança que permitirão calcular a eficácia das medidas propostas.

De modo complementar, para Guérin *et al.* (2001), o diagnóstico pode indicar diversas ações, tais como:

- concepção dos próprios produtos, para facilitar sua fabricação;
- a redefinição do serviço de atendimento ao cliente;
- concepção das construções ou dos espaços de trabalho;
- concepção das máquinas e das ferramentas;
- a concepção do sistema de tratamento das informações;
- elaboração dos procedimentos ou auxílios ao trabalho;
- organização geral da empresa, distribuição das missões entre os diferentes departamentos;
- organização do trabalho, distribuição das tarefas;
- elaboração de planos de formação;
- a organização da circulação de informações sobre as dificuldades encontradas etc.

Para Oliveira *apud* Rodrigues (1999), a Análise Ergonômica do Trabalho tem contribuído com metodologias e técnicas de observação próprias, buscando compreender a

atividade em situação real de trabalho, atendendo à variabilidade da situação, à descrição detalhada do modo operatório dos trabalhadores, à organização dinâmica da atividade e ao aspecto essencialmente coletivo do trabalho.

Santos e Fialho (1997) complementam que, em ergonomia, o diagnóstico diz respeito às patologias do sistema homem-tarefa que foi delimitado, dentro do qual intervêm fatores cuja natureza, modo de influência e as possibilidades de transformação podem ser inferidos pelos conhecimentos em ergonomia.

Por outro lado, para Thiollent (1997), tal diagnóstico baseia-se na identificação de problemas a partir de “sintomas”. Ele nunca é exaustivo, embora seja desejável que o pesquisador recorra a determinadas pesquisas ou exames mais aprofundados. Todavia, nunca se chega a uma total comprovação. Sempre permanece um aspecto de “palpite” que remete à intuição ou à experiência própria do especialista.

2.2.6 Elaboração do plano de ação

Nessa fase são definidos os responsáveis, os prazos e os custos das ações de transformação necessárias.

Para Couto (2002), essa etapa trata de relacionar as medidas de correção dos riscos ergonômicos, após a discussão pela equipe, incluindo outras pessoas, quando necessário. O autor acrescenta que, nem sempre, o grupo consegue ter uma ideia clara da solução no primeiro momento. Muitas vezes, tem-se que amadurecer a solução, estudar alternativas, procurar fornecedores, fazer visitas a outras empresas que tenham situação semelhante, até chegar-se à melhor medida.

Segundo Thiollent (1997), essa fase define vários objetivos práticos. É necessário definir se são alcançáveis por meio de ações concretas; apresentar propostas que serão negociadas entre as partes interessadas; implementar ações-piloto que, após avaliação, poderão ser assumidas e estendidas pelos próprios atores, sem a participação dos pesquisadores. Para o autor, as ações envolvem, ainda, os seguintes pontos estratégicos:

- clareza dos objetivos, simplicidade e assimilação dos procedimentos pelos participantes;
- identificação e resolução de problemas, com envolvimento efetivo de um número crescente de interlocutores;
- negociação dos objetivos com os membros da diretoria como condição de viabilidade da experiência.

Para fundamentar a escolha, pode-se realizar testes e experimentos com variáveis controladas. De acordo com Maline (1994), simular uma determinada situação corresponde a montar mentalmente e descrever situações hipotéticas e imaginárias, ensaiar erros, enfim, prever antes da implantação das ações, possíveis falhas no sistema.

Para Guérin *et al.* (2001), trata-se não somente de propor uma antecipação do funcionamento técnico das instalações, mas da atividade futura dos operadores que nela trabalharão. Tal antecipação permite verificar se as escolhas foram bem feitas, antes da efetiva transformação.

2.2.7 Execução das ações planejadas

Fase em que são executadas as ações de transformação necessárias para o controle das causas fundamentais dos problemas.

Segundo Campos (1992), o processo de execução exige a ativa cooperação de todos os envolvidos. Especial atenção deve ser dada às seguintes ações:

- apresentar claramente as tarefas e a razão delas;
- certificar-se de que todos entendem e concordam com as medidas propostas;
- verificar fisicamente o local em que as ações estão sendo tomadas;
- registrar todos os resultados alcançados, mesmo que não sejam bons.

Para Santos *et al.* (1997), nessa fase, realiza-se o confronto entre o que foi proposto e o que realmente está sendo realizado, considerando os aspectos que vão desde as

características antropométricas, necessidade de formação dos trabalhadores até as condições de manutenção básica dos equipamentos e de peças de manutenção.

Em complemento, Guérin *et al.* (2001) indicam que acompanhar essa fase é particularmente importante, pois permite localizar dificuldades não previstas e obter sua rápida correção. É provável que, por ocasião de uma modificação na organização e nos meios de produção, novas dificuldades possam aparecer.

2.2.8 Avaliação das transformações

Nessa fase, realiza-se o balanço para verificar os resultados da ação ergonômica, avaliar quais os benefícios trouxe, quanto custou e planejar ações futuras.

Para Guérin *et al.* (2001), em vez de ir embora após deixar suas recomendações, é desejável que o ergonomista acompanhe o processo de transformação. Transformar o trabalho é necessário, para evitar desperdícios de energia e inteligência, para responder às exigências de qualidade, flexibilidade e redução de custos que a sociedade de competição econômica demanda.

Assim, torna-se possível demonstrar à direção, aos trabalhadores e à própria equipe de trabalho os resultados alcançados no decorrer da ação ergonômica. Portanto, é a etapa em que será julgada e avaliada a própria competência técnica do pessoal envolvido.

2.2.9 Validação

Fase na qual se realiza uma análise crítica para:

- padronizar o que deu certo: corrigir o que não deu certo;
- planejar ações futuras.

Segundo Guérin *et al.* (2001), é difícil precisar o fim de uma ação ergonômica, pois é provável que, devido a uma mudança de produção, de uma modificação na organização ou ao envelhecimento das instalações, novas dificuldades venham a aparecer.

Por outro lado, para Dejours (1992), essa é a questão fundamental. A validação faz-se, geralmente, em dois momentos. Primeiro, durante a própria pesquisa do desenvolvimento da ação, ou seja, as elaborações, interpretações, hipóteses, temas e comentários são feitos à medida que a discussão se desenrola, sendo então, rejeitados ou retomados, eventualmente até aprofundados, com uma nova análise.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ERGONOMIA

3.1.1 Introdução

A palavra Ergonomia deriva do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (normas, regras, leis). Trata-se de uma disciplina orientada para uma abordagem sistêmica de todos os aspectos da atividade humana. Visando à amplitude dessa dimensão e interferência nas atividades do trabalho, é preciso que os ergonomistas tenham uma abordagem holística de todo o campo de ação da disciplina, tanto em seus aspectos físicos e cognitivos, como sociais, organizacionais, ambientais etc. Frequentemente, esses profissionais atuam em setores particulares da economia ou em domínios de aplicação específicos.

Há diversas definições para o termo *ergonomia*. Aqui, será feito um resumo de algumas das quais merecem destaque.

Montmollin (1990) a define como a tecnologia das relações homem-máquina. Para Granjean (1998), a ergonomia é uma ciência interdisciplinar e compreende uma gama de conhecimentos como: fisiologia e a psicologia do trabalho; antropometria e estudos sobre a sociedade no trabalho. Seu objetivo prático é adaptar postos de trabalho, instrumentos, máquinas, horários e meio ambiente – entre outros – às necessidades e expectativas humanas. Tais adaptações propiciam um melhor desempenho no trabalho, bem como maior satisfação aos seus funcionários. Leplat (1972) considera que a ergonomia não é uma ciência, mas sim, tecnologia, cujo objeto de estudo é a organização da relação homem-máquina. Já Murrell (1965) a define como o estudo científico das relações entre o homem e o seu ambiente de trabalho. Wisner (1972) avalia que a ergonomia é o agrupamento de conhecimentos científicos relativos ao homem, que possam conceber instrumentos, máquinas e dispositivos a serem utilizados de forma a trazer o máximo de conforto e eficácia aos empregados de uma determinada empresa ou instituição.

3.1.2 Origem e histórico

A ergonomia, no Brasil, teve origem na Universidade de São Paulo (USP), nos anos 60, pelo Prof. Sergio Penna Khel, que apoiou o desenvolvimento da primeira tese brasileira em Ergonomia, a Ergonomia do Manejo. Também na USP, Ribeirão Preto, Paul Stephaneek introduzia o tema na Psicologia.

Nessa época, no Rio de Janeiro, o Prof. Alberto Mibielli de Carvalho apresentava a Ergonomia aos estudantes de Medicina das duas faculdades mais importantes do Rio, a Nacional (UFRJ) e a de Ciências Médicas da Universidade do Estado da Guanabara (UEG), posteriormente denominada Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). O Prof. Franco Seminério falava desta disciplina, com seu refinado estilo, aos estudantes de Psicologia da UFRJ. O maior impulso ocorreu no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), no início dos anos 70, com a vinda do Prof. Itiro Iida para o Programa de Engenharia de Produção. Além dos cursos de mestrado e graduação, Itiro organizou com Collin Palmer um curso que deu origem ao primeiro livro editado em português.

A Ergonomia utiliza métodos e técnicas científicas para observar o trabalho humano. A estratégia utilizada pela Ergonomia para apreender a complexidade do trabalho é decompor a atividade em indicadores observáveis (postura, exploração visual, deslocamento).

A partir dos resultados iniciais, obtidos e validados com os operadores, chega-se a uma síntese que permite explicar a relação de vários condicionantes à situação de trabalho.

Como em todo processo científico de investigação, a base da intervenção ergonômica é a formulação de hipóteses.

Segundo Leplat (1972), o pesquisador trabalha, geralmente, com uma hipótese e, assim, lhe é possível ordenar os fatos. São as hipóteses que darão o *status* científico aos métodos de observação nas atividades do homem no trabalho.

A organização das observações em uma situação real de trabalho é feita em função das hipóteses que guiam a análise, mas também, segundo Guérin *et al.* (2001), em função das imposições práticas ou das facilidades de cada situação de trabalho. Os

comportamentos manifestáveis do homem são frequentemente observáveis pelos ergonomistas.

3.1.3 Conceitos básicos

O objetivo da ergonomia é produzir conhecimentos específicos sobre a atividade do trabalho humano. Para o êxito dessa empreitada, é necessário que, no processo de produção de conhecimentos, se tenha informação sobre a carga do trabalhador, sendo a atividade do trabalho específica a cada um deles (VISBISKI; SOUZA, 2007).

O procedimento ergonômico é orientado pela perspectiva de transformação da realidade, cujos resultados obtidos irão depender, em grande parte, da necessidade da mudança. Mesmo que o objetivo possa ser diferente, de acordo com a especialização de cada pesquisador, o objeto do estudo não pode ser definido anteriormente, pois sua construção depende do propósito da transformação (VISBISKI; SOUZA, 2007).

Em ergonomia, o objeto sobre o qual se pretende produzir conhecimentos deve ser construído por um processo de decomposição/ recomposição da atividade complexa do trabalho, que é analisada, a fim de ser transformada (VISBISKI; SOUZA, 2007).

O objetivo é ocultar o mínimo possível a complexidade do trabalho real. Quanto mais a ergonomia aprofunda o seu relacionamento com a realidade, maior ficam os seus questionamentos (VISBISKI; SOUZA, 2007).

Lida (1990) define a ergonomia como o estudo da adaptação do trabalho ao homem. Neste contexto, o autor alerta para a importância de se considerar, além das máquinas e equipamentos utilizados para transformar os materiais, também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e o seu trabalho. Logo, não apenas o ambiente físico, mas também os aspectos organizacionais de como esse trabalho é programado e controlado para produzir os resultados desejados.

A ergonomia também pode ser entendida como o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficiência (WISNER, 1972).

Laville (1977) considera a ergonomia como um corpo de conhecimentos sobre o homem, aplicáveis aos problemas levantados pelo conjunto homem-trabalho. Sua ação ocorre por meio de métodos específicos de estudo e pesquisa sobre a realidade do homem no trabalho, que definem um tipo de pensamento que lhe é próprio, colocando questões às diversas ciências sobre as quais se apoia, principalmente a Fisiologia e a Psicologia. Assim, vista sob este ângulo, a ergonomia implica o estudo de um trabalho concreto, a observação da realização da tarefa no local e com os equipamentos e pessoal envolvidos.

O grande desenvolvimento da tecnologia influenciou também a ergonomia: primeiro as máquinas assumiram o trabalho pesado do homem e, hoje em dia, o computador assume grande parte da rotina dos escritórios. Para Karwowski *apud* Moraes e Mont'alvão (2000), a ergonomia, também conhecida como *human factors*, é uma disciplina científica, que trata da interação entre os homens e a tecnologia, integrando o conhecimento proveniente das ciências humanas para adaptar tarefas, sistemas, produtos e ambientes às habilidades e limitações físicas e mentais das pessoas.

Grandjean (1998) acrescenta, ainda, que a ergonomia é um aspecto fundamental a ser considerado dentro da nossa realidade a partir do momento que intervém diretamente em pontos tais como:

- alto índice de acidentes de trabalho;
- problemas associados a doenças do trabalho;
- redução da produtividade nos locais de trabalho, como por exemplo, alto índice de absenteísmo, retrabalho, queda de motivação no trabalho;
- na Qualidade de Vida do Trabalho (QVT), propiciando mais do que um posto de trabalho melhor, mas, principalmente, uma vida melhor para o trabalhador.

De acordo com Moraes e Mont'Alvão (2000), tais pontos se expressam por meio de custos humanos do trabalho para o operador, tais como fadiga, doenças profissionais, lesões temporárias ou permanentes, mutilações e mortes. E, ainda, acidentes, incidentes, erros excessivos, paradas não controladas, lentidão e outros problemas de desempenho, bem como danos e má conservação das máquinas e equipamentos. Esses problemas acarretam

queda de produção, desperdício da matéria-prima e baixa qualidade dos produtos, comprometendo a qualidade e produtividade das empresas.

A partir dessas discussões, pode-se afirmar que o equacionamento contínuo dos temas relacionados com a ergonomia representa uma grande contribuição para a melhoria da competitividade das empresas. Afinal, aqueles que executam tarefas – como assalariados ou não – merecem que seu ofício não apenas um meio para ganhar a vida, mas um instrumento de desenvolvimento pessoal e social (GUÉRIN *et al.*, 2001).

De modo complementar, o objetivo da ergonomia através da ação é resolver os problemas da relação entre homem, máquina, equipamentos, ferramentas, programação do trabalho, instruções e informações, solucionando os conflitos entre o homem e a tecnologia (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000). Neste sentido, Guérin *et al.* (2001) afirmam que transformar o trabalho é a principal finalidade da ação ergonômica, sendo que essa ação deve ser realizada de forma a contribuir para que:

- a concepção das situações de trabalho não traga prejuízo à saúde dos trabalhadores;
- a empresa alcance seus objetivos econômicos, em função dos investimentos realizados e a serem realizados no futuro.

No que se refere ao aspecto legal, a segurança e a medicina do trabalho no Brasil são reguladas pelas Normas Regulamentadoras da Consolidação das Leis do Trabalho. Tais normas foram aprovadas pela Portaria nº 3.214, de 08 de julho de 1978, do Ministério do Trabalho. Dentre essas, a de nº 17 trata da Ergonomia, sendo que no item 17.1 encontra-se transcrito que:

Esta Norma Regulamentadora visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

Para Pacheco Jr., Pereira Filho e Pereira (2000), as normas legais visam atender aos requisitos técnicos mínimos, porém nem sempre suficientes para tratar das questões de

segurança e saúde ocupacional. Desse modo, mesmo que a legislação seja cumprida, nem sempre as necessidades de proteção do trabalhador são atendidas. Os autores acrescentam que, uma vez que a área de segurança e saúde ocupacional tem se mostrado de valia duvidosa na agregação de valor, as empresas tratam essas questões somente como uma exigência legal para evitar problemas com a fiscalização e a justiça do trabalho. Segundo Mainieri e Hissa (2002), pode-se classificar a ergonomia em dois tipos:

- Ergonomia de concepção — É a que se encarrega do projeto local de trabalho, da adequação da máquina ou do sistema de produção, da organização do trabalho e da formação de pessoal. Portanto, é preventiva e está voltada à antecipação dos problemas;
- Ergonomia de correção — Ao contrário da ergonomia de concepção, atua de maneira limitada, modificando ou corrigindo elementos parciais do posto de trabalho. Age assim, com uma eficiência limitada, pois sua ação é meramente corretiva.

Dessa maneira, a ergonomia busca não apenas evitar aos trabalhadores os postos de trabalhos fatigantes e/ou perigosos, mas procura colocá-los nas melhores condições de trabalho possíveis, de forma a melhorar o rendimento e evitar o acidente ou fadiga excessiva.

Por outro lado, para Guérin *et al.* (2001), todo negócio possui um caráter socioeconômico, que resulta de sua inserção em uma organização social e econômica da produção. O resultado da atividade é social; em primeiro lugar, porque o que é produzido (objeto ou serviços) resulta da atividade coordenada de vários operadores. Tal caráter social do trabalho é inseparável de sua dimensão econômica. Os objetos e serviços são reconhecidos como o resultado de um trabalho se somente puderem ser vendidos no mercado. Há, aí, uma verdadeira transformação do resultado concreto em um valor econômico. Desta forma, acrescentam os autores, as ferramentas de gestão da empresa são estruturadas em função dessa transformação.

3.1.4 O sistema homem-máquina

De acordo com Santos e Fialho (1997), do ponto de vista da ergonomia pode-se dizer que um sistema é um conjunto de componentes: homem, tecnologia, organização e meio ambiente de trabalho. Essas partes relacionam-se entre si, formando uma atividade, agindo sobre energia e matéria-prima, para fornecer um produto.

A ergonomia não estuda o homem e máquina isoladamente. O que há é uma interação entre eles, expressada a partir das atividades da tarefa. Para Moraes e Mont'Alvão (2000), no contexto da ergonomia, o conceito de sistema significa que o desempenho do homem no trabalho só pode ser pensado em termos de um *todo organizado* – aqui entendido como o sistema homem-máquina.

Nesse sentido, os profissionais envolvidos na adequação ergonômica também devem integrar-se às ações e aos sistemas estratégicos e operacionais da organização.

Segundo Pacheco Jr., Pereira Filho e Pereira (2000), os processos devem fazer parte do planejamento estratégico, transformando-se em ações coerentes e integrativas. Assim, uma ação não pode ser dissociada e isolada, sob pena de fugir dos objetivos organizacionais.

3.1.5 O sistema homem-tarefa

Segundo Santos e Fialho (1997), o sistema homem-tarefa é significativamente mais rico que o sistema homem-máquina, uma vez que as tarefas compreendem não só as máquinas e as condições técnicas de trabalho, mas também as condições organizacionais e ambientais de trabalho. Para melhor entendimento dos aspectos que interferem no modo com que o trabalho é executado pelos trabalhadores, é necessário compreender a diferença entre trabalho real e prescrito (OLIVEIRA, 2001), a saber:

- Trabalho prescrito — aquele que é determinado para ser executado pelos trabalhadores, isto é, a maneira como o trabalho deve ser executado: o modo de utilizar as ferramentas e as máquinas, o tempo concedido para cada

operação, os modos operatórios e as regras a respeitar. Moraes e Mont'Alvão (2000) complementam que o trabalho prescrito consiste na tarefa, ou seja, no objetivo a ser atingido, o resultado a obter.

- Trabalho real — aquele que realmente foi executado. Montmollin (1990) descreve o trabalho real como sendo igual à atividade, que é, antes de tudo, o modo de atuação dos trabalhadores, tal qual eles podem ser observados.

Assim, o trabalho é composto pela prescrição e pela execução. A primeira abarca o comando e os meios que a organização oferece para sua realização, que são chamados de tarefas. A segunda diz respeito à maneira pela qual o trabalhador executa esta tarefa, chamada de atividade. Deste modo, “a análise ergonômica do trabalho, entre outras coisas, é centrada no estudo da atividade executada pelo trabalhador e nas dificuldades que ele encontra para não se afastar do prescrito” (OLIVEIRA, 2001. p.2).

Na prática da análise, não se pode observar separadamente a tarefa ou a atividade – ambas fazem parte de um todo. Tal fato implica que a análise do trabalho será frequentemente *em espiral*, marcada pelas passagens sucessivas da análise da tarefa à análise da atividade e inversamente, cada uma enriquecendo-se a partir da outra, a cada etapa (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

Desse modo, toma-se evidente que, para conduzir uma ação ergonômica, antes de qualquer coisa, é necessário a observação e o entendimento das atividades de trabalho para planejar ações de observações mais específicas sobre os problemas que se apresentam.

3.1.6 Custos humanos no trabalho

O trabalho faz e sempre fará parte de nossas vidas, sendo importante para o desenvolvimento das sociedades e dos indivíduos. Porém, muitas situações de trabalho e da vida cotidiana são prejudiciais à saúde. As doenças do sistema músculo-esquelético (principalmente dores nas costas) e aquelas psicológicas (estresse, por exemplo) constituem

a mais importante causa do absenteísmo e de incapacidade ao trabalho (DUL; WEERDMEESTER, 2000).

Para Moraes e Mont'Alvão (2000), as atividades implicadas no trabalho, seu ambiente físico e social, exercem sobre o trabalhador um certo constrangimento, exigindo-lhe gastos de naturezas diversas: físico, mental, emocional, afetivo – o que acarreta, portanto, desgastes e custos para o indivíduo. Tais custos podem resultar em mutilações, lesões permanentes e temporárias, além de doenças e fadiga.

Guérin *et al.* (2001) ressaltam que a atividade de trabalho e as condições nas quais é realizada trazem consequências múltiplas para os trabalhadores, assim como para a produção e os meios de trabalho. Isto pode afetar a saúde e o estado funcional dos trabalhadores. Para a empresa, tais problemas manifestam-se, por vezes, a longo prazo, sendo que:

- uma doença de origem profissional só se manifesta após uma longa exposição aos fatores nocivos;
- as dificuldades de um trabalho manifestar-se-ão na vida de um operador fora do trabalho (fadiga, irritabilidade);
- o serviço de atendimento ao consumidor de uma empresa constatará os defeitos na fabricação de um produto após a sua comercialização.

Para medir essas consequências, as áreas de recursos humanos das empresas utilizam, ainda, os índices a seguir:

- absenteísmo - A *Fondation Européenne pour L'omieloration des Conditions de Vie et de Travail* (1998) define absenteísmo como sendo a incapacidade temporária ou permanente do trabalhador para que exerça suas atividades, fruto de uma enfermidade relacionada às suas atividades laborais. Além disso, as empresas arcam com custos diretos e indiretos decorrentes do absenteísmo, que provêm, principalmente, de tratamento e indenizações ao trabalhador, além da perda de produtividade;

- *turnover* - Taxa de entrada e saída de trabalhadores em um cargo ou empresa, em relação ao número total de empregados nesse cargo ou empresa, que é, normalmente, expresso em percentagens anuais (Iida, 1990). Essa taxa também implica em custos para as empresas, pois um turnover alto traz gastos elevados com recrutamento e treinamento de novos trabalhadores.

Para Wisner (1972), é preciso tratar os afastamentos como um todo: não existe uma diferença fundamental entre o absenteísmo, seja ele decorrente do descontentamento do trabalhador com seu trabalho, ou por depressão nervosa, ou ainda por doença ou ferimento. Contudo, trata-se sempre de um sinal de rejeição das condições de trabalho.

Desta forma, quando tais situações ocorrem, é necessário que a empresa adote medidas para controlá-las, por meio de ações que minimizem ou eliminem os problemas que penalizam os trabalhadores e a própria atividade da empresa. Apresenta-se, a seguir, algumas categorias de problemas a serem identificados no decorrer da ação ergonômica.

3.1.7 Erros humanos

O erro manifesta um tipo de desvio em relação a uma norma preestabelecida, relativo a um comportamento. Segundo Santos e Fialho (1997), geralmente este desvio consiste em uma discordância de certas características do comportamento do trabalhador em relação às ordens e instruções recebidas, podendo ser detectado em diferentes níveis de erro: na atividade individual do trabalho; na atividade coletiva de trabalho e no funcionamento do conjunto do sistema homem-máquina-tarefa.

Nesse contexto, explorar os eixos consiste em observá-los na situação de trabalho. Alguns tipos de erros mais comuns que podem ser detectados em diversas situações de trabalho são:

- manipulação de uma ferramenta de uma forma não prescrita;
- acionamento de um comando de forma intempestiva;

- modo operativo proibido pelas normas de segurança;
- omissão de uma operação prevista no processo;
- dosagem de produtos mal formulados;
- leitura de aparelhos de medição de forma equivocada;
- leitura de desenho técnico de forma errônea;
- montagem de peças diversas (engrenagens, polias, correias) de maneira não conforme;
- estabelecimento de uma trajetória de forma equivocada etc.

Ainda, segundo Santos e Fialho (1997), o erro permite identificar o desvio em relação à norma ou ao comportamento que leva a um resultado negativo. Para Iida (1990), a forma mais correta de considerar os erros humanos não é pelas consequências prejudiciais, mas pelo acompanhamento das variações do comportamento humano.

Duas condições são, então, necessárias: conhecer as normas e dispor de meios para acompanhar a execução do trabalho, ao menos nos seus aspectos fundamentais.

Pode-se afirmar que o erro constitui um sintoma de uma disfunção do sistema homem-máquina-tarefa. Logo, a análise desses erros permite centrar o estudo sobre os pontos críticos do funcionamento deste sistema, evitando-se, assim, uma dispersão de esforços sobre pontos secundários.

3.1.8 Os acidentes de trabalho

Bird Jr. e Germain (1990) definem *acidente* como sendo um evento não desejado, que resulta em dano à pessoa, à propriedade ou perda no processo ou meio ambiente. Ainda, segundo os autores, mesmo que a ocorrência acarrete somente dano à propriedade ou perda no processo – e não ocasiona lesão –, é também caracterizado como um acidente. Esse conceito não limita os resultados somente sobre o ser humano, mas também sobre a propriedade, como por exemplo, incêndio, quebra de ferramentas, máquinas e equipamentos.

Segundo Benito e Coutinho (2000), o conceito legal para acidente do trabalho, de acordo com o texto apresentado pela Lei de Acidente do Trabalho n° 6.367/76, Regulamento Decreto n° 79.03 7/76 e Lei da Previdência n° 8.213/91, regulamentada pelo Decreto n° 2.172, de 05/03/97, define que

Acidente do Trabalho é aquele que ocorre pelo exercício do trabalho, a serviço da empresa, provocando lesão corporal, perturbação funcional ou doença que cause a morte ou perda ou redução permanente ou temporária da capacidade para o trabalho; isto diz respeito também à causa que, não sendo única, tenha contribuído para o resultado; pode ocorrer no local de trabalho, a serviço da empresa e nos intervalos ou a caminho. Equipara-se ao acidente do trabalho a doença profissional e a doença do trabalho.

No primeiro conceito, o prevencionista, que admite a presença dos riscos ocupacionais, define o acidente do trabalho como sendo uma ocorrência não programada, inesperada ou não, que interrompe ou interfere no processo normal de uma atividade, ocasionando perda de tempo útil e/ou lesões nos trabalhadores ou danos materiais (FISCHER; GUIMARÃES, 2001). Por outro lado, o do ponto de vista legal, baseia-se exclusivamente no prejuízo físico sofrido no trabalho.

Com o propósito de entender melhor as circunstâncias que originam as causas das ocorrências não programadas e, portanto, indesejáveis, Bird Jr. e Germain (1990) consideram a existência de quatro grandes elementos ou subsistemas que constituem as suas fontes. Estes elementos incluem:

- A pessoa - incluindo a administração, os trabalhadores, os empreiteiros, os clientes, os visitantes, os fornecedores, o público, enfim, o elemento humano;
- O equipamento - considerando todas as ferramentas e máquinas com que as pessoas trabalham – diretamente ou que se encontram a seu redor: máquinas fixas, veículos, aparatos para o manejo de materiais, ferramentas manuais, equipamentos de proteção, utensílios pessoais etc.;
- Os materiais - trata-se das matérias-primas, dos produtos químicos e outras substâncias que as pessoas usam, trabalham e processam;

- O meio ambiente - que é representado por todos os aspectos ao redor: prédios e recintos em torno das pessoas; os fluidos e o ar em torno de outros elementos; os riscos químicos tais como vapores, gases, fumaça e poeira; os fenômenos climáticos e atmosféricos; os riscos biológicos, tais como mofo, fungos, bactérias e vírus; as condições físicas como luz, ruído, calor, frio, pressão umidade e radiação.

Todos esses quatro elementos devem relacionar-se ou interagir adequadamente entre si, ou se produzirão problemas que poderão ocasionar perdas.

Pode-se dizer que a legislação sobre segurança e saúde ocupacional é o requisito mínimo a ser cumprido pelas empresas. No entanto, segundo Pacheco Jr., Pereira Filho e Pereira (2000), para uma empresa que pretende atuar de modo estratégico, tal conduta é comprometedora, principalmente referindo-se aos aspectos legais que possam estar defasados em relação às formas de gestão e tecnologias mais recentes.

3.1.9 Os defeitos da produção e da baixa produtividade

Em uma economia de mercado, a competitividade da empresa depende, fundamentalmente, da produtividade do seu sistema de produção e da qualidade dos seus produtos. Por outro lado, os defeitos de produção constituem-se em uma categoria que compreende os desvios constatados em nível do produto fabricado, ou seja, do resultado previsto do trabalho. A qualidade de um produto ou de um serviço deve ser garantida desde o início até o final do processo produtivo e não somente controlado na saída do processo (SANTOS; FIALHO, 1997).

Para Rio e Pires (2001), a saúde é condição exata para o desempenho e a produtividade ótimos. Fatores como motivação, treinamento e comprometimento compõem com a saúde o conjunto de condições que permitem às pessoas tornarem o trabalho um diferencial competitivo da mais alta importância estratégica para as organizações.

Nesse sentido, a área de produção adota seus próprios indicadores ou medidas para quantificar se os objetivos de desempenho – qualidade, velocidade, confiabilidade,

flexibilidade e custo – foram bons, maus ou indiferentes (SLACK *et al.*, 1997). De acordo com os autores, as medidas de desempenho mais utilizadas são:

- qualidade - número de defeitos por unidade, nível de reclamação do consumidor, nível de refugo, alegações de garantia, tempo médio entre falhas e escore de satisfação do consumidor;
- velocidade - tempo de cotação do consumidor, *lead time* de pedido, frequência de entregas e tempo de ciclo;
- confiabilidade - porcentagem de pedidos entregues com atraso, atraso médio de pedidos, proporção de produtos em estoque e desvio médio de promessa de chegada;
- flexibilidade - tempo necessário para desenvolver novos produtos/serviços, tempo de mudança de máquina, tamanho médio do lote, tempo para aumentar a taxa de atividade, capacidade média/ capacidade máxima e tempo para mudar programação;
- custo - tempo mínimo de entrega/tempo médio de entrega variação, contra orçamento, utilização de recursos, produtividade da mão de obra, valor agregado, eficiência, custo por hora de operação.

Nota-se que os padrões de desempenho adotados pelas empresas estão ligados diretamente ao trabalho que as pessoas executam. Assim, torna-se evidente que, se as condições de trabalho interferem na saúde e bem-estar do trabalhador, estarão interferindo, também, nos padrões de produtividade planejados pela direção. Para Santos e Fialho (1997), a produtividade identifica o alcance de um certo nível de produção, com a garantia de um certo padrão de qualidade. Nesse sentido, uma baixa produtividade e baixo nível de qualidade caracterizam-se como uma disfunção do sistema homem-tarefa-máquina.

3.1.10 A ergonomia como estratégia empresarial

As empresas que tem como objetivo sobreviver no mercado globalizado devem utilizar a ergonomia como estratégia para otimizar as condições de trabalho e diminuir as

influências nocivas à saúde física e mental dos funcionários / colaboradores e, também, proporcionar a eles meios para que possam ser criativos e participativos em suas organizações.

Os profissionais de segurança e medicina do trabalho devem se preparar para os problemas do presente e se capacitar para os desafios do futuro, onde a ergonomia será sua principal ferramenta para integração e interação com os setores produtivos e administrativos de suas organizações.

O projeto ergonômico do posto de trabalho (tradicional ou global) será uma necessidade tanto do ponto de vista social como do econômico. Quanto ao primeiro, leva-se em consideração a saúde física, a psicológica e cognitiva do indivíduo, que são de interesse dos governos. Sob a ótica econômica, tal projeto gerará meios de produzir mais e com melhor qualidade, o que é vantajoso para a empresa e empresários.

As certificações de saúde e segurança exigem das empresas, cada vez mais, um amplo programa de melhorias de condições laborais e de qualidade de vida no trabalho. A ergonomia, mais uma vez, será utilizada para suprir esta nova demanda, em que o projeto ergonômico do posto de trabalho será o foco central da questão.

Desta forma, a tecnologia ergonômica e o projeto ergonômico do posto de trabalho deverão proporcionar uma contribuição importante aos governos e às empresas para harmonizar a relação entre o capital e o trabalho e, também, serão um item de vital importância para a melhoria da qualidade e da competitividade das empresas no mundo globalizado.

3.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

3.2.1 Introdução

Todo ser humano, para desenvolver qualquer atividade, principalmente aquelas voltadas ao planejamento, necessita estar rodeado de muitos dados e informações. Nas instituições – tanto públicas como privadas – que atuam nas grandes cidades, a manipulação desses dados e informações pode ser bastante crítica. Trabalhar com papéis,

relatórios, pesquisas, plantas, croquis e outros tipos de informações é bastante desgastante, além de tornar o ambiente de trabalho desorganizado e sufocante. Isto pode levar à improdutividade, à perda e mistura de informações, a uma diminuição da qualidade dos serviços desenvolvidos, enfim, à ineficiência de qualquer instituição. A tecnologia vem desenvolvendo meios para tentar ajudar essas pessoas. Cada vez mais se procura diminuir a quantidade de papéis a serem manipulados, substituindo-os por arquivos magnéticos. Dentre as tecnologias desenvolvidas nos últimos anos, sobressaem-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) – em inglês, *Geographic Information System* (GIS). Estes sistemas possuem grande capacidade de sobrepor e combinar diversos tipos de dados em um mesmo mapa, associando dados gráficos com não gráficos. O SIG é genericamente entendido como um sistema de coleta, armazenamento, análise e representação dos dados.

3.2.2 Origem e histórico

Os sistemas de informações geográficas surgiram há mais de três décadas e se tornaram ferramentas valiosas nas mais diversas áreas de conhecimento. Tais sistemas constituem um ambiente tecnológico e organizacional e têm, cada vez mais, ganhado adeptos no mundo todo. É interessante observar que o emprego do conceito de computação para o processamento de dados geográficos reporta-se ao século passado, quando Herman Hollerith, funcionário do *Bureau of Census* americano, criou e empregou cartões perfurados e uma máquina tabuladora para agilizar as atividades relativas ao censo de 1890, tendo finalizado, após três anos, um imenso avanço ao censo anterior (1880), que demorou oito anos para ser completamente processado por vias convencionais (TREMBLAY; BUNT, 1983).

Tremblay e Bunt (1983) comentam, também, que o *Bureau of Census* inovou mais uma vez quando, em 1951, instalou o primeiro computador automático universal, o qual era o mais avançado de sua geração e que se tornou o primeiro a entrar em linha de produção. Entretanto, a comunidade científica ressentia-se com a falta de ferramentas matemáticas adequadas para descrever quantitativamente a variação espacial. Os primeiros

desenvolvimentos apropriados em Matemática, segundo Burrough (1989), para lidar com problemas espaciais começaram por volta dos anos 30 e 40, em paralelo com desenvolvimentos em métodos estatísticos e análise de séries temporais. O progresso prático efetivo foi completamente bloqueado pela ausência de ferramentas computacionais adequadas. Foi somente após 1960 que, com a disponibilidade do computador digital, floresceram tanto os métodos conceituais de análise espacial quanto as reais possibilidades de mapeamento temático quantitativo e análise espacial, de acordo com Burrough (1989).

Diversas iniciativas foram feitas no sentido de empregar a tecnologia computacional no processamento de dados espaciais. Entretanto, o primeiro SIG que se tem notícia surgiu em 1964, no Canadá (*Canada Geographic Information System*), por iniciativa do Dr. Roger Tomlinson que, embora tenha construído os módulos básicos de *software* – impulsionando o desenvolvimento de *hardware* – e elaborado uma complexa base de dados, só publicou seus trabalhos uma década depois. Na verdade, somente no final da década de 70 é que a indústria dos SIGs começou a amadurecer, favorecendo, inclusive, no início dos anos 80, o surgimento da versão comercial dos primeiros sistemas, que passaram a ter aceitação mundial. Naquela ocasião, os governos federais, seja o americano, o canadense ou alguns europeus como Suécia, Noruega, Dinamarca, apoiavam financeiramente iniciativas voltadas tanto à Cartografia Assistida por Computador (CAC), quanto aos SIGs. Foi naquele período que a *United States Geological Survey* (USGS) passou a tornar disponíveis ao público bases de dados digitais, tais como os modelos digitais de elevação ou *Digital Elevation Models* (DEMs) (TREMBLAY; BUNT, 1983).

Entre o final da década passada e o início da atual houve um crescimento acentuado das aplicações de SIGs, o que se deve, em parte, ao advento e à disseminação do microcomputador pessoal (*personal computers*), além da introdução de tecnologia de relativo baixo custo e alta capacidade de *performance*, tais como as estações de trabalho (*workstations*). Os desenvolvimentos técnicos e tecnológicos que vão de 1985 a 1990 foram tão acentuados e rápidos que pode-se afirmar que eles é que impulsionaram as aplicações, ou seja, exatamente o oposto do que ocorreu no início do processo na década de 60, quando havia aplicações, mas não existiam recursos físicos, nem mesmo para digitalização ou plotagem automatizados.

Um dos grandes desafios do momento atual é mais de natureza organizacional e política do que tecnológica, pois cabe à nossa geração avaliar a necessidade de implantação de SIGs, descobrir maneiras de enxertá-los nas organizações burocráticas, encontrar maneiras eficientes e seguras de gerenciar, compartilhar e atualizar os dados.

Este é um dos problemas deste início de século: a questão do acesso aos dados, a responsabilidade de sua manutenção e até mesmo a preocupação intelectual. Se, com o passar do tempo, a informação passou a ser um bem de consumo, ela pode, ao mesmo tempo em que é vendida para o usuário, ser conservada pelo vendedor, que não necessariamente é seu produtor.

Em alguns países, e em especial na Inglaterra, além do serviço de venda de mapas analógicos aos usuários, surgiu outra alternativa: o arrendamento de dados mediante o estabelecimento de contratos, definindo, inclusive, a frequência com que as atualizações (*updates*) devem ser remetidas ao contratante. Vale lembrar que, com o surgimento dos Sistemas de Informação, associou-se à "informação" o conceito de valor adicional (*added value*), que é obtido ao se reunir, de forma ordenada, conjuntos de dados que previamente estavam não relacionados, e cuja combinação pode ser usada a fim de se realizar tarefas adicionais. Mais que nunca na história da humanidade, é válida a expressão "Informação é Poder" e aqueles que têm acesso à informação não apenas chegam na frente dos concorrentes, como seus concorrentes, que não têm acesso à informação, nem ficam sabendo que ficaram para trás.

3.2.3 Conceitos básicos

Para se entender o que é um sistema de informação geográfica, é necessário conhecer a definição de alguns conceitos básicos que são normalmente empregados pela comunidade que trabalha com esta tecnologia (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

Os autores conceituam o termo *sistema* como um arranjo de entidades (elementos) relacionadas ou conectadas, de tal forma que constituem uma unidade ou um todo organizado, com características próprias e subordinadas a processos de transformação conhecidos. As entidades são os elementos ou objetos tomados como unidades básicas para

a coleta dos dados. Os dados se relacionam com os atributos, que caracterizam e fornecem significado à unidade estudada. Por exemplo, pode-se tomar um lugar como entidade – e suas características de solo, relevo e uso da terra como alguns de seus atributos. O conjunto de entidades corresponde à área estudada. Os dados disponíveis sobre os atributos representam a riqueza informativa.

O número de atributos mensurados fornece a base para melhor caracterização da área através do cruzamento das informações. Como o sistema básico inclui fases de entrada de dados, transformação e saída de informação, pode-se prever a inclusão de novas entidades, aumentando a grandeza da área estudada, bem como a inclusão de dados sobre novos atributos, que vão sendo considerados importantes. Esse processo representa a realimentação do SIG.

Deve-se ainda definir os termos *dado* e *informação*. Um dado é um símbolo utilizado para a representação de fatos, conceitos ou instruções em forma convencional ou preestabelecida e apropriada para a comunicação, interpretação ou processamento por meios humanos ou automáticos, mas que não tem significado próprio. Já informação é definida como o significado que o ser humano atribui aos dados, utilizando-se de processos preestabelecidos para sua interpretação. Pode-se dizer que os dados são um conjunto de valores, numéricos ou não, sem significado próprio e que informação é o conjunto de dados que possuem significado para determinado uso ou aplicação (TEIXEIRA *et al.*, 1992).

Como informação geográfica considera-se o conjunto de dados cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial, dados esses que podem ser apresentados em forma gráfica (pontos, linhas e áreas/polígonos), numérica e alfanumérica. Assim, um sistema de informação geográfica utiliza uma base de dados computadorizada, que contém informação espacial sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais.

Os SIGs incluem-se no ambiente tecnológico que se convencionou chamar de geoprocessamento, cuja área de atuação envolve a coleta e tratamento da informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. A tecnologia ligada ao geoprocessamento envolve *hardware* e *software* com diversos níveis de sofisticação, destinados à implementação de sistemas com fins didáticos, de pesquisa acadêmica ou aplicações profissionais e científicas nos mais diversos ramos das geociências.

O SIG é uma base de dados digitais no qual um sistema de coordenadas espaciais comum é o meio primário de referência. Um SIG requer recursos de:

- entrada dos dados a partir de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites, levantamentos de campo e outras fontes;
- armazenamento, recuperação e busca de dados;
- transformação de dados, análise e modelagem, incluindo estatística espacial;
- comunicação dos dados, através de mapas, relatórios e planos.

Os SIGs são relacionados a outras aplicações de banco de dados, mas com uma diferença importante. Toda a informação em um SIG é vinculada a um sistema de referência espacial. Outras bases de dados podem conter informação locacional (como endereços de rua ou códigos de endereçamento postal), mas uma base de dados de SIG usa georreferências como o meio primário de armazenar e acessar a informação.

O SIG possui uma característica de tecnologia integradora: enquanto outras tecnologias só poderiam ser usadas para analisar fotografias aéreas e imagens de satélite, para criar modelos estatísticos ou para traçar mapas, todas estas capacidades são oferecidas conjuntamente no SIG.

Esta tecnologia possui um papel muito importante na tomada de decisão. Os dados que são inseridos, armazenados e analisados dentro de um SIG devem refletir a maneira pela qual a informação será usada para uma pesquisa específica ou resolução de um problema. Ver o SIG como somente um *software* ou sistema de *hardware* é perder de vista o papel crucial que ele pode desempenhar em um processo amplo de tomada de decisão.

Uma razão pela qual pode ser difícil chegar a um acordo a respeito de uma única definição para SIG é que existem vários tipos de sistemas de informação geográfica, cada um apresentando propósitos distintos e servindo a diferentes tipos de tomada de decisão. Uma variedade de nomes tem sido aplicada para seus diversos objetivos, distinguindo suas funções e papéis.

3.2.4 Elementos componentes do SIG

Um sistema de informação geográfica tem três importantes componentes – *hardware* e sistema operacional, *software* de aplicação e aspectos institucionais – que necessitam ser balanceados para que o funcionamento do sistema seja aceitável.

O *hardware* é o componente físico do sistema e envolve o computador e seus periféricos. Pode-se citar, por exemplo: a CPU (*central processing unit*), memória RAM (*random access memory*), *hard drive*, *floppy drive*, teclado, *mouse*, *scanner*, mesa digitalizadora, *plotter*, câmera digital, monitor, *fax-modem*, GPS, CDROM, fita DAT, coletor de dados etc.

Não existe um conjunto fixo de equipamentos para qualquer aplicação SIG e há uma variação grande, de acordo com a aplicação. Por exemplo, para uso em um cadastro de lotes urbanos, o GPS deve ser uma peça fundamental para testar a precisão de localização dos dados. No caso de uma estação de monitoramento ambiental, o GPS – como fornecedor de dados espaciais – seria menos relevante do que a antena para recepção de imagens de satélite.

A Internet trouxe possibilidades de processamento distribuído antes inespensáveis. Os supercomputadores, em grandes centros de pesquisa, podem ser compartilhados via *web* por várias aplicações SIG, em vários lugares do mundo, cobrando uma pequena taxa pelo tempo de utilização. Portanto, neste caso, o componente *hardware* está pulverizado geograficamente e não é um sistema fechado e exclusivo de uma aplicação SIG (ROSA, 1995).

Finalmente, é importante salientar que, no mercado de geoprocessamento, a participação de microcomputadores é crucial, devido ao crescente poder de processamento a um custo baixo. Isso não aconteceria se os *softwares* não fossem reprojitados, a fim de aumentar a potencialidade dos novos processadores e sistemas operacionais existentes hoje. Antes, o SIG era restrito aos usuários com o poder de compra suficiente para adquirir estações gráficas de alto desempenho. Hoje, vem se popularizando rapidamente, à medida que seu custo cai vertiginosamente.

Os componentes de *hardware* mais comuns – para se trabalhar com um sistema de informação geográfica – são o computador propriamente dito ou unidade central de

processamento (CPU). Este componente é conectado a uma unidade de armazenamento, que providencia espaço para armazenamento dos programas e dados. Outros são: mesa digitalizadora e/ou *scanner* ou outro dispositivo de entrada, que é usada para converter dados da forma analógica (mapas, cartas etc.) para o formato digital e para enviá-los ao computador; unidade de visualização de imagens (monitor de vídeo) e/ou *plotter* ou outro dispositivo de saída que são usados para mostrar o resultado dos processamentos efetuados nos dados. A comunicação entre computadores pode ser feita utilizando-se sistemas de rede ou linhas telefônicas.

Segundo Rosa (1995), os dispositivos de saída e os de entrada são considerados periféricos de um computador.

Os SIGs podem funcionar com sistemas operacionais diversos e em microcomputadores com vários tipos de configuração, que apresentem um bom desempenho no desenvolvimento de tarefas que envolvam processamento gráfico.

Um sistema de informação geográfica é composto, de forma simplificada, por cinco componentes (subsistemas): de entrada de dados, de armazenamento de dados, de gerenciamento de dados, de análise e manipulação de dados e de saída e apresentação dos dados (relatórios, gráficos, mapas etc.).

Antes que os dados geográficos possam ser utilizados em um SIG, deverão ser convertidos para um formato vetorial adequado, que está relacionado com a conversão de informações analógicas em digitais, tarefa que consome muito tempo e de custo elevado. A digitalização é o processo de conversão de dados a partir de mapas em papel para arquivos em computador. A tecnologia SIG mais moderna permite automatizar este processo de forma completa para grandes projetos, utilizando tecnologia de *scanning*; projetos de menor dimensão poderão requerer digitalização manual (em tela ou utilizando uma mesa digitalizadora).

As informações são provenientes de diversas fontes como, por exemplo, fotografias aéreas, imagens de satélite, folhas topográficas, mapas, relatórios estatísticos e outras fontes de informação.

Este módulo é responsável pela entrada e atualização dos dados não espaciais (atributos) das entidades geográficas. Também responde pela entrada da localização geográfica e outros dados espaciais dessas entidades. A entrada dos dados espaciais é,

muitas vezes, feita a partir da digitalização de mapas analógicos (em papel), mas, atualmente, esse método vem sendo substituído pela varredura ótica com o uso de um *scanner*, seguida por um processo de vetorização semiautomática. Tal fato tem sido possível pela queda significativa no preço de *scanners* de alta resolução nos últimos anos e pela evolução dos *softwares* de desenho profissionais existentes no mercado (ROSA, 1995).

Ao contrário da cartografia digital, cuja simbologia gráfica utilizada para representar as entidades é definida previamente ao trabalho de edição, o SIG exige apenas que as entidades geográficas sejam classificadas utilizando formas primitivas geométricas que mais se aproximam de sua representação no mundo real. As formas geométricas básicas mais utilizadas são ponto, linha e polígono. A simbologia gráfica das entidades no SIG é definida, posteriormente, com base nos seus atributos, podendo ser alterada com muito mais facilidade.

Destaca-se que, nos últimos anos, verifica-se uma forte tendência na criação de formatos de arquivos espaciais abertos, ou seja: não são de uso exclusivo de apenas um desenvolvedor. Antes, a conversão de mapas digitais criados em um *software* para serem utilizados em outro *software* era muito complexa, porque a estrutura de armazenamento dos dados espaciais de cada *software* era guardada como segredo da empresa que o desenvolveu. No entanto, o mercado vem exigindo essa facilidade de integração e, hoje, existem inúmeros *softwares* de conversão entre formatos de SIG, além de que muitos SIGs já são capazes de ler arquivos em vários formatos.

Uma consequência dessa tendência é possibilitar que esse módulo de entrada e atualização possa ser delegado a um *software* de desenho profissional, aproveitando-se do seu custo mais baixo. Assim, a estação do SIG pode se ocupar de tarefas mais nobres – como a geração da topologia de um mapa e análise espacial. Vários *softwares* originalmente criados para o desenho técnico aos poucos procuram incorporar funções de SIG, na tentativa de se inserir nesse novo mercado para aplicações geográficas. O mesmo se pode dizer de alguns *softwares* de tratamento de imagens que passam a executar funções, antes exclusivas de SIG na manipulação de imagens *raster*. Muitas vezes, essa combinação revela-se uma excelente parceria, já que os dois *softwares* executam tarefas complementares, cada um na sua área de excelência.

Hoje, já existem muitos dados geográficos em formatos compatíveis com os SIGs. Tais dados podem ser obtidos junto aos produtores de dados e carregados diretamente no SIG. Com o advento da Internet, foram criadas enormes bibliotecas de mapas, que têm contribuído para a rápida disseminação da cultura do geoprocessamento nos EUA. Tal fenômeno trouxe uma enorme redução de gastos para a sociedade, advinda do compartilhamento e reaproveitamento de informações espaciais por todos os usuários, eliminando a custosa tarefa de digitalização de mapas os mais diversos.

O armazenamento de dados está relacionado com os dispositivos de *hardware* destinados a guardar (armazenar) as informações inseridas na fase anterior. Alguns exemplos são: discos rígidos e flexíveis, fitas magnéticas, CDs, DVDs etc.

O gerenciamento de dados consiste na inserção, remoção e/ou modificação/atualização nos dados. Tradicionalmente, os SIGs armazenavam os dados geográficos e seus atributos em arquivos internos. Esse tipo de solução vem sendo substituído pelo Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), para satisfazer à demanda do tratamento eficiente de dados espaciais e não espaciais (tabelas) cada vez maiores. O uso do SGBD permite com maior facilidade a interligação de banco de dados já existentes com o SIG (ROSA, 1995).

A dificuldade do armazenamento e gerenciamento de dados geográficos advém não só do grande volume de dados, mas, principalmente, da sua grande variação ao longo de uma região. Os SGBDs relacionais atuais ainda têm muita dificuldade de armazenar eficientemente dados tão irregulares. A linguagem de consulta (SQL) deverá ser expandida para incorporar operadores espaciais e uma estrutura de índices espaciais que permita encontrar, rapidamente, a localização de entidades a partir de uma consulta definida sobre valores de atributos, e também retornar atributos de entidades existentes em uma localização definida por uma consulta.

As análises oferecidas pelo SIG exigem que os dados sejam manipulados de diversas formas. Um SIG deve possibilitar, por exemplo, a seleção, classificação, agregação, identificação e derivação de novos dados geográficos, seja através de expressões lógicas de uma linguagem de consulta, ou por meio da manipulação direta e interativa da interface gráfica.

Os procedimentos operacionais e tarefas analíticas que são particularmente úteis para a análise espacial incluem operações espaciais sobre um ou múltiplos mapas temáticos e servem para fazer a modelagem espacial, análise de distribuição espacial de pontos, análise de rede, análise de superfície, dentre outras análises.

A criação de zonas de *buffer*, por exemplo, é uma operação efetuada sobre um mapa, ao passo que a sobreposição é feita sobre múltiplos mapas.

A modelagem espacial tem por objetivo construir um modelo que facilite a compreensão de um fenômeno geográfico, além de permitir a projeção futura do seu comportamento com base em projeções estatísticas. Por exemplo, o fenômeno das inundações envolve a conjugação de diversos fatores temáticos como a topografia do terreno, a vegetação, o clima e etc.

Ao fazer uma análise de distribuição espacial de pontos, é necessário verificar as relações de proximidade ou de intensidade de algum atributo associado a esses pontos. A autocorrelação espacial de um conjunto de pontos distribuídos espacialmente é tanto maior quanto mais houver concentrações densas de pontos em pequenas partes da região total. Na agricultura, por exemplo, um conjunto de amostras de solo retirado regularmente ao longo de um campo pode gerar vários mapas temáticos, sendo um para cada tipo de mineral, representando o seu nível de incidência, facilitando assim, a visualização das áreas mais propícias para o cultivo.

A análise de rede é tradicionalmente exemplificada pelas aplicações de otimização de rotas de frotas de veículos em uma zona urbana. Essa análise se baseia no relacionamento topológico da conectividade entre as feições geográficas. Existem várias aplicações: análise de melhor caminho entre dois pontos, melhor caminho entre vários pontos, delimitação de área de atendimento com base na distância e no tempo de deslocamento, e etc.

A análise de superfície lida com informações espacialmente distribuídas modeladas através de uma estrutura em três dimensões. A superfície pode representar uma variedade de fenômenos como população, crime, potencial de mercado, topografia, dentre outras. Existem várias técnicas para a geração dessa superfície. Destacam-se as mais conhecidas: USGS Digital Elevation Model (DEM) e Triangulated Irregular Network (TIN).

Este subsistema é responsável pela saída de dados nos dispositivos periféricos do sistema. A partir daí são feitos os relatórios, os *layouts*, mapas, tabelas etc. A apresentação

final pode ser exibida no monitor, impressa em uma impressora ou *plotter* ou pode gerar um arquivo para ser utilizado em uma apresentação multimídia.

Um banco de dados se compara a um arquivo de aço onde são armazenadas fichas com múltiplas informações. As gavetas seriam as tabelas, que irão concentrar as informações comuns. Dentro das gavetas há as fichas. As gavetas são chamadas de registros e o conjunto desses registros é denominado tabela. O registro é composto por várias informações. Cada espaço alocado para digitação dessas informações é nomeado de campo.

Tipos de bancos de dados:

- sequencial: as informações são armazenadas em registros organizados sequencialmente, um após o outro;
- hierárquico: os registros são classificados como país e filhos; um registro pai é associado a vários filhos, que podem ou não ter seus próprios filhos;
- rede : as informações são relacionadas entre si por apontadores; estes apontadores formam pares de entidades e, de par em par, conseguem expressar relacionamentos do tipo 1 para 1, 1 para vários, vários para 1 e vários para vários;
- orientado a objetos: a unidade fundamental de recuperação e armazenamento de informações passa a ser o objeto, que é uma estrutura de dados que contém, além de suas informações gráficas e alfanuméricas, informações sobre o relacionamento deste objeto com outros objetos;
- relacional: os diversos arquivos (ou tabelas) são ligados entre si de forma apenas lógica; cada arquivo contém diversos campos – ou colunas – e, para se relacionar com outro arquivo, basta que este novo arquivo tenha um destes campos em comum.

Segundo Rosa (1995), uma boa estrutura de banco de dados é a base para a sua criação, de forma a executar tudo que seja necessário de maneira eficaz, precisa e eficiente.

Ainda, o autor sugere as seguintes etapas para estruturar um banco de dados:

- determinar a finalidade do banco de dados;
- determinar as tabelas que farão parte no banco de dados;
- determinar os campos que são necessários na tabela;
- identificar os campos com valores exclusivos;
- determinar o relacionamento entre tabelas;
- redefinir a estrutura;
- adicionar dados e criar outros objetos de banco de dados.

A primeira etapa na estruturação de um banco de dados consiste em determinar a sua finalidade e como será utilizado. É necessário saber que tipo de informação se deseja obter do banco de dados. A partir disso, pode-se determinar os assuntos sobre os quais precisa armazenar ocorrências (tabelas) e que ocorrências precisam armazenar sobre cada assunto (campos das tabelas).

A determinação de tabelas pode ser a etapa mais complicada no processo de estruturação do banco de dados. Isso porque os resultados esperados do seu banco de dados, os relatórios impressos, os formulários utilizados, as questões respondidas, não fornecem, necessariamente, indicações sobre a estrutura das tabelas que os produzem. Não é necessário estruturar as tabelas utilizando um banco de dados. De fato, o ideal seria fazer um esboço e trabalhar manualmente sua estrutura no papel.

Tabelas não podem conter informações duplicadas, e as informações não podem ser duplicadas entre tabelas. Quando cada parte da informação é armazenada em uma única tabela, a atualização é em um único lugar. Esse procedimento é mais eficiente, além de eliminar a possibilidade de duplicar entradas que contenham informações diferentes. No momento em que a tabela contém ocorrências sobre apenas um assunto, é possível manter informações sobre cada assunto independentemente.

Toda tabela contém informações sobre o mesmo assunto e cada campo de uma tabela contém fatos individuais sobre o assunto a que a tabela se refere. São informações importantes na criação das tabelas: relacionar cada campo diretamente com o assunto da tabela; não incluir dados derivados ou calculados (dados resultantes de uma expressão);

incluir todas as informações necessárias; armazenar informações em suas menores partes lógicas.

Para que um SGBD acesse informações armazenadas em tabelas separadas, todas as tabelas do seu banco de dados devem incluir um campo ou conjunto de campos que identifique cada registro na tabela. Esse campo ou conjunto de campos é denominado chave primária. Depois de estruturar as tabelas, campos e relacionamentos necessários, é preciso estudar a estrutura e detectar qualquer falha que possa ter restado. É mais prudente modificar a estrutura do seu banco de dados nessa fase do que depois de tê-la preenchido com dados.

O gerenciamento de dados através de um SGBD permite ao *software* lidar eficientemente com um grande volume de dados característico dos SIGs. Os dados espaciais, pela sua natureza complexa, se adaptam melhor em um banco de dados orientado a objetos. O mais importante de um SIG é a ligação lógica entre o mapa cartográfico e o banco de dados.

3.2.5 Fases de implementação de um SIG

Aronoff (1989) considera que um SIG fornece os meios pelos quais a informação geográfica pode ser usada para uma grande variedade de aplicações e por usuários com muita diversidade de habilidades. Para que esses dados possam ser usados no processo de tomada de decisão, sua qualidade deve ser conhecida fidedignamente. Organizações públicas encarregadas da produção e disseminação da informação geográfica devem estar cientes das questões de responsabilidade que podem surgir quando seus dados são usados. É o gerenciamento de uma estrutura SIG que determinará a qualidade da informação e a extensão de sua distribuição. As organizações podem ser tão grandes quanto uma agência nacional de mapeamento – ou mesmo uma única pessoa em uma comunidade rural. As considerações específicas que se tornam críticas diferirão, mas o alcance das questões enfrentadas por cada um é basicamente o mesmo. A lista de questões que tem sido identificadas na literatura e discutidas entre os praticantes é realmente longa. Como não

seria de grande utilidade enumerar as causas de sucessos e fracassos passados, Aronoff (1989) apresenta uma estrutura para implementação do SIG, considerada como todo o processo de transferência de tecnologia, desde quando uma organização se torna consciente da tecnologia SIG até sua *adoção*. Este termo é usado pelo autor para caracterizar que uma organização incorporou o SIG em suas operações e o usa regularmente quando apropriado às suas atividades diárias. Abaixo as seguintes fases da implementação:

- **Conscientização:** Quando as pessoas dentro da organização se tornam cientes da tecnologia SIG e dos benefícios potenciais para sua organização. Os usuários potenciais e os usuários do SIG são postulados;
- **Desenvolvimento dos requisitos do sistema:** A ideia que um SIG poderia beneficiar a organização é formalmente reconhecida; um processo mais sistemático e formal é estabelecido para coletar informações sobre a tecnologia e para identificar os usuários potenciais e suas necessidades. Normalmente, uma análise formal das necessidades é feita neste estágio;
- **Avaliação do sistema:** Sistemas alternativos são propostos e avaliados. O processo de avaliação considera a análise das necessidades da fase anterior. No final desta fase, uma decisão formal deve ser feita a fim de se prosseguir ou não com a aquisição do SIG;
- **Desenvolvimento de um plano de implementação:** Caso a decisão seja a de se prosseguir com a aquisição de um sistema, um plano é desenvolvido para adquirir o equipamento necessário e contratar mão de obra qualificada, fazer mudanças organizacionais e financiar o processo. O plano pode ser um documento formalmente aceito ou uma série de ações mais ou menos informais;
- **Aquisição do sistema e inicialização:** O sistema é adquirido e instalado, os funcionários são qualificados, a criação da base de dados é iniciada e os procedimentos de operação começam a ser estabelecidos. A criação da base de dados

é, geralmente, a parte mais dispendiosa do processo de implementação. É necessário rigor no estabelecimento de controles apropriados na qualidade dos dados, a fim de assegurar que os dados introduzidos atendam aos padrões estabelecidos e que procedimentos adequados de atualização sejam implementados para manter a atualidade e integridade da base de dados;

▪ Fase operacional: Até este estágio, a automação inicial da base de dados está completa e os procedimentos de operação foram desenvolvidos para manter a base de dados e prover os serviços de informação que a organização demanda. Nesta fase, procedimentos são desenvolvidos para manter a estrutura SIG e os serviços de melhoria do *hardware* e *software*, tal que o SIG continue a dar suporte às necessidades de informação da organização, que estão mudando. Questões operacionais, relativas às responsabilidades da estrutura SIG prover serviços necessários e garantir padrões de desempenho, tornam-se mais relevantes. Em resumo, as questões que surgem em cada um destes estágios têm um componente técnico e um organizacional. Existem várias maneiras de uma organização adquirir uma estrutura operacional de SIG. Elas variam desde a contratação de todos os serviços e a não aquisição de qualquer *hardware* e *software* para SIG, até a compra de um sistema completo de SIG, ou mesmo o desenvolvimento na própria organização de todo um conjunto de componentes de *hardware* e *software*. Para Aronoff (1989) a atenção deve ser focalizada no componente mais oneroso de implementação do SIG, ou seja, a base de dados, a qual representa 75% ou mais do montante total. A construção da base de dados comumente custa de 5 a 10 vezes o preço de *hardware* e *software* somados.

Entretanto, a base de dados é um investimento e torna-se ainda mais valiosa com o passar do tempo, enquanto que o *hardware* e o *software* se depreciam. A manutenção da base de dados deve começar imediatamente após ter sido criada. Suas especificações e os procedimentos de análise determinarão a qualidade dos produtos a serem gerados. O sucesso de um SIG, segundo Aronoff (1989), dependerá das pessoas (*peopleware*) que o implementam. Seus entusiasmo e engajamento permitirão a continuidade do projeto, apesar das inevitáveis dificuldades e retrocessos. Gerenciar o processo é crítico. Grupos de

usuários devem ser coordenados, o *design* detalhado da base de dados deve ser completo, compras de equipamento, treinamento e serviços de contratação devem ser gerenciados. O plano de implementação deveria definir o grupo – ou grupos – dentro da organização que será responsável pela implementação e operação do SIG. As funções do pessoal do SIG são: gerente do sistema, gerente da base de dados, programadores e analistas de sistema e pessoal de digitalização e digitação de dados. A importância da venda contínua dos benefícios da estrutura SIG não deveria ser subestimada. Manter o apoio político é crucial para se manter o apoio financeiro e a cooperação necessários para a complementação do projeto, conclui Aronoff (1989).

O projeto e a implementação de um SIG são atividades de longa duração. Segundo Aronoff (1989), todo o processo, desde quando uma organização se torna ciente da tecnologia pela primeira vez, até quando o sistema finalmente está operacional, comumente leva um ano ou mais. Para os não iniciados, a aquisição de um SIG se centra em questões técnicas de: sistema computacional (*hardware* e *software*), requisitos funcionais e padrões de *performance*. Mas a experiência tem mostrado que, por mais importantes que essas questões possam ser, elas não são as que determinam se a implementação do SIG será um sucesso ou um fracasso.

As questões responsáveis pelas falhas na implementação são quase sempre problemas humanos – e não, tecnológicos. Em princípio, as capacidades da tecnologia podem ser racionalmente avaliadas por meio de um teste físico. Espera-se que os resultados possam ser repetidos. Se o usuário puder produzir um certo mapa, uma vez, o mesmo procedimento, provavelmente, o produzirá novamente. Mesmo as falhas imprevisíveis de sistema podem ser antecipadas e as contingências planejadas. Entretanto, as decisões que as pessoas tomam não são previsíveis. As pessoas são influenciadas significativamente não apenas pelos fatos relativos à tecnologia, mas também pelo contexto da situação. Um conflito de personalidades ou uma luta pelo poder podem reverter uma decisão aparentemente lógica. Não significa que as decisões tomadas pelas pessoas não tenham lógica, mas que as pessoas envolvidas têm múltiplos objetivos. Os participantes de uma decisão comumente operam com várias agendas diferentes, que podem mudar abruptamente. Onde quer que as pessoas interajam, há política. A implementação de um

SIG é onde a tecnologia e as pessoas se encontram (SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE, s/ data).

Uma das razões para a complexidade do processo de implementação é que ele é, necessariamente, político. São as pessoas na organização que adotam e aprendem a usar uma nova tecnologia. Ao fazer isso, a organização por si só é mudada. Os fluxos de informação são deslocados e diferentes pessoas exercem diferentes graus de controle sobre a informação, sua distribuição e seu uso (SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE, s/ data).

Dessa forma, as pessoas exercitam o poder. Informação é poder e o poder da informação vai para a organização cujo orçamento a gera e a controla. A tecnologia computacional é política, no que o controle sobre os sistemas centralizados de informação tende a aumentar o poder dos administradores e especialistas técnicos que os gerenciam, em detrimento daqueles a quem falta a especialização para usá-los efetivamente. Por essa razão, há uma forte tendência para que cada agência queira controlar sua própria informação. Quando o departamento de obras públicas de um município tem os únicos mapas atualizados de infraestrutura pública, seus funcionários podem exercer controle sobre o acesso e uso daquela informação, inclusive quando a solicitação proceder de um outro departamento. Entretanto, se aqueles mapas forem disponibilizados em um SIG, então qualquer usuário com privilégios de acesso pode usar a informação diretamente. O controle informal prévio e a revisão dos pedidos de informação podem ser solicitados quando a informação não tiver que ser mais requisitada a partir de uma única fonte. Pode também ser mais difícil negar acesso ou esconder algum tratamento diferencial.

Dados gerados por computador são uma ferramenta política potente no seu poder de influenciar, comenta Aronoff (1989). Os que elaboram planos e políticas, em geral, baseiam-se nas informações geradas por computador. A linguagem técnica que cerca a preparação, o uso e a avaliação dos dados computadorizados tende a ser neutra, não expressando nenhum valor particular ou tendência política. Isso predispõe o ouvinte a ver os dados gerados por computador como mais autorizados que a informação gerada de uma maneira não computadorizada. Há também aqueles que desacreditam a informação se ela for gerada por computador. Os computadores e as técnicas analíticas associadas são, frequentemente, considerados como ferramentas objetivas e não tendenciosas nas mãos de

especialistas técnicos neutros. Na realidade, os dados computadorizados e as técnicas de análise estão sujeitas aos mesmos tipos de tendências políticas e inexatidões que outros dados. As tendências entram na seleção dos dados a serem incluídos, os métodos analíticos a serem usados e a maneira que os resultados são apresentados. Essas escolhas são inerentemente políticas porque elas influenciam a análise dos resultados, a percepção das questões e o alcance das soluções potenciais.

Um uso astucioso dos computadores pode efetivamente esconder escolhas políticas sob análises técnicas supostamente mistificadoras (KLOSTERMAN *apud* ARONOFF, 1989). A mera conversão da informação para a forma digital pode ter implicações dramáticas. A informação sobre a propriedade, que é disponível publicamente na forma de documentos manuscritos, pode ser usada de uma maneira inteiramente diferente se os mesmos dados estiverem em forma digital. De acordo com Aronoff (1989), a introdução de um SIG mudará os sistemas existentes de gerenciamento da informação. Na maioria dos casos, no momento em que uma organização considerar a implantação de um SIG, este já tem alguma forma de sistema de informação baseado em computador instalado. O sistema pode não manusear adequadamente a informação espacial, mas ele dá suporte a algumas necessidades operacionais. O sistema existente é também aquele com o qual os funcionários estão familiarizados e ele provavelmente reflete a estrutura, os valores, a filosofia de gerenciamento da organização. A não ser que o sistema existente seja totalmente inadequado, a introdução de um SIG deve ser integrada com o sistema de informação existente. Algumas funções que estejam duplicadas serão eventualmente relegadas a um sistema ou ao outro.

Entretanto, é importante coordenar o processo de integração tal que a operação da organização durante a transição não seja comprometida.

A introdução de nova tecnologia mudará uma organização de maneira que não se pode prever inteiramente (ARONOFF, 1989).

A atenção é, geralmente, focalizada nas mudanças desejadas e em suas ramificações, mas haverá numerosas transformações organizacionais sutis – também significativas. Por exemplo, se pessoal adicional for contratado para operar o equipamento de SIG, seus salários podem ser significativamente maiores do que os dos gerentes sob os quais eles trabalharão. Estes tipos de mudanças são estressores dentro da organização e podem

facilmente resultar em não cooperação. Similarmente, disputas e rivalidades podem se desenvolver entre departamentos em uma organização quando a responsabilidade pela coleta e manutenção dos dados é "racionalizada" e um departamento perde controle sobre "seus" dados. Situações como essas ocorrerão em um momento em que a organização já estará estressada porque, frequentemente, não tem pessoal suficiente para suprir o trabalho extra requerido ao se introduzir um SIG.

Tipicamente, há insuficiente habilidade em lidar com a nova tecnologia, financiamento abaixo do esperado, bem como, possivelmente, planejado para uma duração muito curta. Aronoff (1989) sugere que, ao invés de criar uma expectativa de que a responsabilidade seja forçada externamente, as organizações deveriam tomar a iniciativa de antecipar e lidar com estas questões quando implementarem um SIG.

Durante o processo de implementação de um Projeto SIG, é necessário ter bem explícitos os objetivos e a filosofia da própria organização, de tal maneira que o sistema a ser implantado esteja em sintonia com o que se pretende atingir a curto, médio e longo prazos, o que pode requerer uma análise de custo-benefício, de modo a sensibilizar e convencer a presidência ou a diretoria da organização. Seminários técnicos, com abordagem geral e linguagem simplificada, constituem-se em uma maneira de fornecer subsídios aos membros administrativos e executivos da empresa para uma melhor disseminação junto aos demais elementos. A fim de esclarecer melhor a estrutura do SIG, uma maneira eficaz é apresentar seus módulos constituintes e as relações entre eles e procurar, assim, demonstrar a contribuição efetiva que se espera de cada membro da equipe na implementação do sistema.

3.2.6 SIG como uma tecnologia integradora

O SIG é uma das muitas tecnologias da informação que indicam mudanças no modo como os geógrafos conduzem a pesquisa e oferecerem contribuições à sociedade. Nos últimos anos, estas tecnologias da informação causaram efeitos formidáveis nas técnicas de pesquisas específicas à disciplina, bem como nos modos gerais nos quais os geógrafos se comunicam e colaboram (ROSA; BRITO, 1996).

Computadores oferecem as mesmas vantagens aos cartógrafos que um editor de texto oferece aos escritores. Técnicas automatizadas são, agora, a regra na produção cartográfica.

A aereofotogrametria, uma técnica bem estabelecida para produção cartográfica e análise geográfica, é complementada pelo uso das informações de sensoriamento remoto provenientes de satélites artificiais. As tecnologias da informação têm disponibilizado prontamente os dois tipos de informações de forma que o uso e leitura sejam mais fáceis.

A análise estatística e modelagem de padrões e processos espaciais têm confiado, ao longo do tempo, na tecnologia computacional. Avanços na tecnologia da informação fizeram estas técnicas mais amplamente acessíveis e permitiram que os modelos se expandissem em complexidade e escala para prover representações mais exatas dos processos do mundo real.

Os SIGs são sistemas que permitem aos geógrafos coletar e analisar a informação muito mais rapidamente do que era possível com técnicas tradicionais de pesquisa. Como será notado a seguir, o SIG pode ser considerado uma tecnologia integradora, que se apoia e amplia as técnicas que os geógrafos têm usado para analisar sistemas naturais e sociais.

Técnicas de ensino a distância tornam possível que aulas interativas e seminários ocorram simultaneamente em locais distantes. O acesso em rede aos recursos de pesquisas básicas e avançadas está se expandindo rapidamente. A partir dos seus escritórios, estudiosos podem obter informações de bibliotecas, agências governamentais e instituições de pesquisa em qualquer parte do mundo. As tecnologias da informação estão reduzindo substancialmente o custo de publicação e distribuição da informação, além de diminuir o tempo exigido para circular as mais recentes notícias e resultados de pesquisa (SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, s/ data).

Estes avanços na aplicação das tecnologias da informação na Geografia começaram há várias décadas e continuarão ampliando os seus efeitos em um futuro previsível. Pesquisadores que estudaram a expansão das inovações tecnológicas na sociedade dividem o processo em quatro fases (ROSA; BRITO, 1996):

- iniciação - uma inovação torna-se disponível;
- contágio - experimentos de longo alcance são necessários para ver como a inovação pode ser adaptada para atender a uma grande

variedade de necessidades comerciais e de pesquisas; algumas dessas experiências, mas não necessariamente todas, funcionarão;

- coordenação - as aplicações mais promissoras da inovação ganham aceitação gradualmente e são desenvolvidas em colaboração; a coordenação dos experimentos ajuda a distribuir potencialmente os altos custos de desenvolvimentos adicionais e implementação;
- integração - uma inovação é aceita e integrada em tarefas rotineiras de pesquisa.

Na Geografia, muitas inovações na aplicação de tecnologias da informação começaram no final dos anos 50 até o início dos anos 70. Sofisticados métodos de modelagem matemática e estatística foram desenvolvidos e disponibilizados os primeiros sensores remotos. Pesquisadores também começaram a antever o desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica. Da década de 70 até o início dos anos 90 foi um período de contágio. O primeiro *software* comercialmente disponível para SIG ficou acessível aos usuários no final da década de 70 e estimulou muitas experiências, como o desenvolvimento dos primeiros microcomputadores no início da década de 80. Este foi um tempo excitante no qual o desenvolvimento de um *software* poderoso juntou-se com a disponibilidade de computadores baratos, permitindo muitos pesquisadores testarem ideias novas e aplicações pela primeira vez. No início da década de 90, muitas inovações entraram na fase de coordenação, assim como outros experimentos continuaram rapidamente. Os pontos fortes e fracos de muitas tecnologias de informação eram até então aparentes, os pesquisadores começaram a colaborar uns com outros com a finalidade de acelerar o desenvolvimento das aplicações mais promissoras (ROSA; BRITO, 1996).

A integração completa de tecnologias de informação na Geografia tem, ainda, que ser alcançada – exceto, talvez, em algumas áreas de pesquisa relativamente especializadas. A integração completa das disciplinas pode se dar, de fato, daqui a muitos anos.

No contexto dessas inovações, Sistemas de Informações Geográficas têm desempenhado um papel importante como integrador de tecnologia. Ao invés de ser de natureza completamente nova, os SIGs têm unido várias tecnologias discretas em um todo, que é maior do que a soma das partes. O SIG vem emergindo como uma poderosa

tecnologia porque permite aos geógrafos integrarem seus dados e métodos de maneira que apoiem as formas tradicionais de análise geográfica, tais como análises por sobreposição de mapas bem como novos tipos de análises e modelagem que vão além da capacidade de métodos manuais. Com o SIG, é possível elaborar mapas, modelar, fazer buscas e analisar uma grande quantidade de dados, todos mantidos em um único banco de dados (SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, s/ data).

O desenvolvimento do SIG tem se baseado em inovações que ocorreram em disciplinas distintas: Geografia, Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Topografia, Geodésia, Engenharia Civil, Estatística, Ciência da Computação, Pesquisas Operacionais, Inteligência Artificial, Demografia, e muitos outros ramos das Ciências Sociais, Ciências Naturais e Engenharias, com a contribuição de todas as citadas disciplinas.

3.2.7 SIG no processo de tomada de decisão

Diversos sistemas de *software* SIG possibilitam e favorecem a tomada de decisão. Este número elevado dificulta a escolha do *software* para cada caso em questão. Um aspecto importante para se observar é que há muitos tipos diferentes de sistemas de *software* SIG, assim como processos para tomada de decisão. Na verdade, tais sistemas são aperfeiçoados para atender a necessidades específicas de planejamento – demográfico, de transporte, urbano –, bem como de análise de recursos ambientais, só para citar algumas.

O Arc/INFO, Atlas*GIS, MapInfo, e ArcView são utilizados com sucesso por milhares de organizações para auxiliar nos processos de análises espaciais e suporte à tomada de decisão, tendo um vasto número de aplicações. Tais sistemas apresentam características que podem ser customizados para satisfazer várias necessidades individuais, tornando o *software* personalizado.

A atividade voltada para o planejamento necessita de muitos dados e informações para que possa ser desenvolvida de forma eficiente.

A tecnologia vem desenvolvendo meios para organizar dados e aumentar a qualidade dos serviços, buscando diminuir a quantidade de papéis e substituindo-os por arquivos digitais.

Sistemas de Informações Geográficas possuem grande capacidade de sobrepor e combinar diversos tipos de dados em um mesmo mapa, associando dados gráficos com não gráficos. O SIG é genericamente entendido como um sistema de coleta, armazenamento, análise e representação dos dados.

O desenvolvimento da tecnologia de computadores e de ferramentas matemáticas para análise espacial, que ocorreu na segunda metade do século XX, fez surgir várias habilidades, entre elas a armazenagem, recuperação e combinação dos dados disponíveis sobre a superfície da Terra. Os atuais sistemas de informação geográfica podem não só fazer análises dos dados existentes, mas também projetar e simular situações ideais e potenciais fazendo previsões e modelos de simulação. Além disto, os dados armazenados em um sistema de informação geográfica podem ser exibidos de diversas maneiras, dependendo ou não de dados alfanuméricos associados e de variações de escala. As habilidades deste sistema fizeram uma revolução no modo de trabalhar e pensar das pessoas no seu dia a dia.

Os SIGs também fornecem àqueles que detêm o poder decisório um ambiente flexível no processo de investigação da decisão e na solução do problema.

Com o surgimento dos SIGs, abriram-se novas perspectivas de integração entre os modelos computacionais da investigação operacional e estes sistemas de informação, em um ambiente flexível e adaptável, apresentando uma interface amigável ao utilizador. A visualização do contexto e estrutura do problema e suas soluções alternativas é um dos componentes mais poderosos de um suporte à decisão.

4. BANCO DE DADOS

4.1 SISTEMAS DE BANCO DE DADOS

Para melhor compreender o estado atual da tecnologia de banco de dados, é interessante observar como ela surgiu e evoluiu.

O surgimento dos primeiros computadores está intimamente ligado à realização de cálculos numéricos repetitivos. Da mesma forma, os trabalhos pioneiros, na Alemanha e nos Estados Unidos, eram computadores voltados para a solução de problemas numéricos. Por um longo período, o desenvolvimento de computadores científicos (para aplicações numéricas) foi independente do avanço de máquinas para aplicações comerciais. Somente no início da década de 60, a integração entre estas duas tendências ocorreu de modo mais acentuado, principalmente através dos esforços da IBM para otimizar sua linha de produção de máquinas para as duas áreas de aplicação.

O conceito que motivou o surgimento de bancos de dados é quase tão antigo quanto os primeiros sistemas computacionais para aplicações não numéricas, remontando ao final da década de 50.

Entretanto, o surgimento de sistemas gerenciadores de banco de dados sofreu influências de outras áreas de aplicação, notadamente da área de defesa e de aplicações militares.

Em meados dos anos 60, os paradigmas de armazenamento e processamento de informações passaram por uma grande mudança, com o surgimento da tecnologia de armazenamento baseada em discos magnéticos. Isso fez com que dados e aplicações de *software*, que antes formavam um único elemento, passaram a ser independentes um do outro. Isso permitiu a criação de ferramentas capazes de gerenciar e manipular estes dados da forma mais eficiente possível, a fim de obter os resultados esperados.

Os sistemas de banco de dados vieram a surgir na década de 60, com o objetivo de fornecer recursos capazes de armazenar, organizar, manipular e recuperar dados de forma segura, rápida e eficiente. Trata-se de uma solução que supera todas as limitações da tecnologia baseada nos sistemas de arquivos tradicionais, que tinham uma ampla dependência

com relação à forma de organização da estrutura dos arquivos. Essa dependência obrigava a modificação de toda a programação das funções de dados, sempre que houvesse alterações em sua estrutura. Além disso, tais sistemas não apresentavam soluções para problemas relativos à duplicação da informação, inconsistências e integridade.

Segundo Melo (1997), um sistema de banco de dados pode ser definido como “um ambiente de *hardware* e *software* composto por dados armazenados em banco de dados (BD), o *software* que gerencia o banco de dados (SGBD) e os programas de aplicação”.

Pode-se dizer que esta modalidade de processamento de dados trouxe uma série de vantagens, sendo que a mais significativa foi tornar os bancos de dados independentes da aplicação. As aplicações, que antes acessavam os dados diretamente, passaram a se comunicar com o SGBD, enviando apenas as requisições necessárias para obter os resultados desejados.

Para chegar aos modelos atuais, os sistemas de banco de dados passaram por uma série de mudanças na sua arquitetura, de forma a se tornar compatível com as novas tendências de tecnologia adotadas pelas organizações. Nos anos 70, quando o foco principal era voltado, exclusivamente, aos programas de aplicação, os sistemas projetados tinham a função de atender apenas às necessidades específicas da empresa. Isso resultou em sistemas robustos, que dependiam, diretamente, da plataforma computacional na qual eram projetados para operar.

Já nos anos 80, o avanço da tecnologia dos *chips* contribuiu de forma significativa para diminuir o tamanho e o custo dos computadores. Juntamente com a popularização do *software* e a disseminação das redes de computadores, criou-se uma nova filosofia de desenvolvimento de aplicações de bancos de dados, cujo foco estaria centralizado no usuário final. Com a difusão da computação distribuída, que levou a aplicação a ser executada nas estações de trabalho, os requisitos de novas aplicações se baseavam em oferecer recursos que tornassem a apresentação dos dados mais simples para os usuários. Para complementar, as ferramentas de conectividade remotas adequadas fizeram com que os dados pusessem ser compartilhados por sistemas computacionais de diferentes plataformas.

Atualmente, os sistemas de banco de dados podem ser agrupados em modelos, os quais representam claramente os diversos estágios de evolução até chegar aos modelos

atuais. Segundo Salemi (1995), os modelos de banco de dados possibilitaram dividir os sistemas em várias categorias que serão apresentadas a seguir.

a) Sistema de Gerenciamento de Arquivos – *File Management System* (FMS): Foi a primeira forma utilizada para armazenamento de dados em banco de dados. A metodologia de funcionamento baseia-se em armazenar os dados de forma sequencial em um único arquivo. Esse sistema tem como vantagem a simplicidade na forma em que os dados são estruturados no arquivo. No entanto, esse sistema não apresenta relação entre os dados, nem mecanismos de busca, classificação e recursos para evitar problemas de integridade.

b) Sistema de Banco de Dados Hierárquico – *Hierarchical Database System* (HDS): Surgiu na década de 60 com a primeira linguagem de banco de dados conhecida como a DL/I desenvolvida pela IBM e a *North American Aviation*. É um modelo de banco de dados no qual os dados armazenados são estruturados em forma de árvore. Cada estrutura de dados se origina a partir de um nó-raiz e se ramifica, criando relações pai-filho com outras classes de dados, gerando, assim, vínculos de um para vários elementos. A desvantagem estaria na rigidez da estrutura de dados, que obrigaria refazer todo o BD, caso a classe de dados principal ou a que possuísse classes dependentes fosse alterada. São exemplos de bancos de dados hierárquicos o *Information Management System* (IMS), da IBM, e *Time-shared Database Management System* (TDMS), da *System Development Corporation*.

c) Sistema de Banco de Dados em Rede – *Network Database System* (NDS): Esse modelo surgiu entre as décadas de 60 e 70 como uma extensão do modelo hierárquico, incorporando recursos para criar mais de uma relação pai-filho e estabelecer vínculos entre os seus elementos. Esta metodologia torna a pesquisa mais rápida e mais flexível, pois não depende de um único nó-raiz como vetor de inicialização de pesquisa. Entretanto, apesar da flexibilidade, o modelo de rede ainda apresenta os mesmos problemas com relação ao projeto de estrutura do modelo hierárquico. Qualquer alteração feita em uma classe de dados implicaria na criação de uma nova estrutura para suportar tal modificação. Seus principais representantes são o IDS, da *General Electric*, e o Idms, da *Cullinet*.

d) Modelo de Dados Relacional – *Relational Data Model* (RDM): Trata-se de um modelo criado na década de 70 pelo pesquisador da IBM, Dr. E. F. Codd, cujo propósito era representar os dados de forma mais simples, através de um modelo matemático de

conjuntos de tabelas inter-relacionadas. Este modelo abandona por completo os conceitos anteriores, tornando os bancos de dados mais flexíveis, tanto na forma de representar as relações entre os dados, como na tarefa de modificação de sua estrutura, sem ter que reconstruir todo o banco de dados. A única peculiaridade com os modelos anteriores é que os detalhes sobre como os dados são armazenados e acessados não são revelados ao usuário, o que torna necessário projetar as aplicações de forma que acessem os dados baseados apenas no formato já estabelecido pelo SGBD.

Com base nesta retrospectiva, pode-se notar que os modelos de dados são diretamente responsáveis pela evolução dos sistemas de banco de dados. Com o surgimento de novos modelos, novas categorias de SGBDs puderam ser utilizadas ao longo dos anos.

4.2 DESENVOLVIMENTOS DE GERENCIADORES DE BANCO DE DADOS

Os primeiros protótipos desenvolvidos com a funcionalidade de gerenciar dados de uma aplicação, se comparados com os sistemas atuais, oferecem pouca semelhança de funcionalidade. Entretanto, foram esforços significativos para a época e que influenciaram de diversos modos o desenvolvimento dos sistemas (FRY; SIBLEY, 1976). Alguns desses esforços são citados a seguir.

Base-Ball foi um sistema especialista de acesso a dados através de uma interface em linguagem natural. Os dados, assim como o vocabulário de interação entre usuários e a base de fatos, eram relacionados a beisebol.

B-Tree é uma estrutura extensivamente utilizada para acesso eficiente a arquivos, cuja primeira implementação foi apresentada em artigo publicado na *Communications da ACM* de janeiro de 1962, por Collilla e Sams.

QUERY era uma linguagem de consulta a dados com tradução para linguagem de máquina, descrita em artigo na *Communications da ACM*, também de janeiro de 1962, por Cheatham e Warshall.

Recol (Retrieval Command-Oriented Language) era um sistema de gerenciamento de acesso à informação generalizado para unidades de fita, descrito por Climenson na *Communications da ACM*, de março de 1963.

ACSI-Matic foi um sistema projetado para explorar o uso efetivo de memória e inferências. Foi o primeiro sistema a oferecer um pacote generalizado para recuperação de dados em discos com requisições em *batch*, a oferecer gerenciamento dinâmico de memória principal e a utilizar um montador com rotina para alocação dinâmica de memória. Era parte de um projeto do exército norte-americano, descrito inicialmente em 1960, com um protótipo implementado em 1964 pela RCA.

Advanced Data Management System (ADAM) foi um sistema desenvolvido com recursos da Força Aérea norte-americana a partir do protótipo *Experimental Transport Facility* (ETF), da *MITRE Corporation*. Tinha por objetivo ser um laboratório para modelagem, desenvolvimento de protótipos, verificação de projeto e avaliação de sistemas gerenciadores de dados.

Colingo era um conjunto de sistemas de gerência de dados orientados a fitas, oferecendo uma estrutura estilo COBOL em máquinas IBM.

Após estes primeiros esforços no sentido de oferecer sistemas manipuladores de dados, surgiram, de fato, as primeiras famílias de gerenciadores de dados. Esforços pioneiros incluíam o *Mark IV* para máquinas IBM1401, desenvolvido por Postley na *Informatics* no período 1964–1968; o *Integrated Data Store* (IDS), desenvolvido por Bachman no período 1964–1966; e o *Formatted File*, desenvolvido pela força aérea norte-americana no período 1961–1965. Este último influenciou o produto da IBM, *Generalized Information System* (GIS), que introduziu como contribuições o armazenamento de tabela com o formato do arquivo e a manipulação de grandes arquivos.

O IDS combinava tecnologia de acesso a posições aleatórias com linguagens procedimentais de alto nível (inicialmente, Gecom; posteriormente, COBOL, em 1966), oferecendo um modelo de dados do tipo rede. Nesta mesma família de gerenciadores, incluem-se também *Associative PL/I* (APL), desenvolvido na General Motors (1966), e dataBASIC, da Honeywell (1970). As principais características destes gerenciadores, que foram contribuições importantes para outros que se seguiram, incluem:

- verbos para manipulação de dados na interface de alto nível;
- descrições separadas para armazenamento e para programação;

- princípios elementares de manutenção da consistência, com mecanismos para remoção e inserção implícitas;
- conceitos de paginação de dados; e
- acesso compartilhado aos dados.

Os primeiros desenvolvimentos comerciais em gerenciadores de banco de dados foram marcados pelos esforços da CODASYL, com o *Data Base Task Group* (DBTG, 1969–1971) e o projeto IMS (1966–1969), da Agência Espacial norte-americana (NASA), que influenciou o produto IMS/360 da IBM.

A abordagem do DBTG foi propor uma extensão a COBOL para a manipulação de bancos de dados. Esta abordagem foi adotada por diversos produtos, entre os quais destacam-se o *Integrated Data Management System* (IDMS), desenvolvido pela IBM para *IBM System/360*; IDMS-11 e DBMS-10, implementações de IDMS pela *Digital Equipment Corporation* para suas máquinas PDP- 11/45 e PDP-10, respectivamente; e o IDS/II, uma adaptação de IDS realizada pela *Honeywell* para adequação ao padrão DBTG.

O projeto IMS foi resultado de um desenvolvimento conjunto das empresas *Rockwell*, IBM e *Caterpillar* para apoio ao programa Apollo, da NASA. Foram frutos deste projeto os produtos *Information Control System*, *Data Language/I* (ICS/DL/I), da *Rockwell*; e IMS/360, da IBM, desenvolvido para suas máquinas da família *System/360*.

4.3 CONCEITOS DE SISTEMA DE BANCOS DE DADOS

O projeto de um banco de dados deve ser realizado com o apoio de um modelo de dados de alto nível, também conhecido como modelo conceitual. Durante vários anos, as pesquisas no campo dos modelos de dados para SIG concentraram-se na busca por estruturas de dados para o armazenamento de dados georreferenciados, o que ficou conhecido como *debate raster-vector* (COUCLELIS, 1992). Atualmente, sabe-se que para o projeto de banco de dados são necessários novos modelos conceituais. Desde então, diversos modelos específicos para modelagem de dados em aplicações de SIG têm sido propostos na literatura.

Uma metodologia atual para estruturação e modelagem conceitual de dados geográficos tem utilizado técnicas bem consolidadas de projeto de banco de dados (ex.: Modelo E-R) além de outras, mais modernas, como a linguagem UML, a fim de fornecer uma base conceitual sobre sistemas de bancos de dados.

Por banco de dados entende-se a coleção dos dados propriamente dita. Algumas definições, encontradas na literatura, incluem: “Um banco de dados é uma coleção de dados relacionados” (ELMASRI, 1994); “Um banco de dados é uma coleção de dados operacionais armazenados, sendo usados pelos sistemas de aplicação de uma determinada organização” (DATE, 2000).

Um banco de dados pode ser mantido manualmente ou por computador e sempre é povoado com dados para um propósito específico, ou seja, contém elementos da aplicação e informações que circulam por ela. Numa aplicação de distribuição de energia elétrica, por exemplo, o banco de dados armazena tanto a descrição dos consumidores quanto os dados sobre o consumo mensal de cada um.

Os dados armazenados em um banco de dados devem respeitar as regras da aplicação, definidas pelas restrições de integridade. Por exemplo, se existe uma restrição do tipo “o consumo de energia elétrica não pode ser negativo”, não deve haver nenhum registro de consumo de energia cujo valor seja negativo.

4.3.1 Sistema de gerenciamento de bancos de dados

Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados constitui-se de uma coleção de programas que permite criar e manter o BD. Assim, um SGBD é um *software* com propósito geral de facilitar o processo de definição, construção e manipulação do BD. Por ser de propósito geral, o SGBD é usado não como uma ferramenta final, mas como um *software* através do qual os programas de aplicação são desenvolvidos. Um SGBD inclui o suporte a:

- definição do BD - especificação e descrição detalhada dos tipos, estruturas e restrições referentes aos dados a serem armazenados no BD;

- construção do BD - processo de carga inicial dos dados em um meio de armazenamento controlado pelo SGBD;
- manipulação do BD - abrange as alterações realizadas nos dados para refletir mudanças ocorridas no ambiente. Isto inclui as operações de inclusão e exclusão de dados;
- consulta aos dados - tipo de operação mais comum, realizada por usuários que necessitam extrair informações armazenadas no BD.

4.3.2 Programa de aplicação

Os programas de aplicação são sistemas desenvolvidos para um propósito específico (ex.: sistema de estoque, sistema de vendas, folha de pagamento). O acesso e a manipulação dos dados realizados pelo programa de aplicação são feitos por intermédio do SGBD. Assim, o programa de aplicação realiza as funções da aplicação, enquanto o SGBD serve de base para o gerenciamento dos dados manipulados pelo programa de aplicação.

Um exemplo de programa de aplicação é um sistema de controle de consumo de energia elétrica. Uma de suas funções seria executar o cálculo do consumo mensal de energia elétrica, a partir dos dados de leitura dos medidores. O algoritmo que descreve a política de cobrança, de acordo com a quantidade consumida e o tipo de consumidor, é implementado pelo programa de aplicação, enquanto o acesso aos dados referentes ao consumo de eletricidade e aos consumidores é feito através do SGBD. O programa de aplicação garante restrições de integridade que não podem ser controladas pelo SGBD. O programa de aplicação implementa interface e relatórios específicos como, por exemplo, emissão de extrato de consumo, enquanto o SGBD pode ser usado para possibilitar ao usuário elaborar consultas eventuais, não previstas/fornecidas pelo programa de aplicação (SILBERCHATZ *et al.*, 2006).

4.3.3 Sistema de banco de dados: vantagens e desvantagens

A existência de bancos de dados nas organizações é muito comum atualmente. As pessoas já estão habituadas a usar diversos termos, a ele relacionados, de forma bastante informal. É comum se ouvir no noticiário que um determinado órgão está elaborando a construção de um novo banco de dados. No entanto, é importante que os profissionais envolvidos no desenvolvimento de sistemas computacionais compreendam os diferentes termos utilizados a este respeito. Assim, Sistema de Banco de Dados é um sistema composto pelos programas de aplicação, pelo SGBD e pelo BD para um determinado conjunto de aplicações.

Muitos programas de aplicação são construídos sem o uso de SGBD para gerenciar os dados. Neste caso, eles são usados para implementar as rotinas que realizam o armazenamento e recuperação dos seus dados.

A seguir estão listadas uma série de vantagens e a principal desvantagem do uso de SGBD pelos programas de aplicação (LISBOA *et al.*, 1997):

Vantagens dos bancos de dados:

- Diminui a redundância dos dados - Em uma organização que possui diversos programas de aplicação é comum o compartilhamento de dados entre os diversos sistemas. Quando o número de sistemas aumenta ou sua complexidade cresce, é comum que alguns dados sejam repetidos na busca de simplificar a implementação e a manutenção dos sistemas. Esse processo gera redundâncias, que são a principal causa de dados inconsistentes nas organizações.
- Padroniza a definição e o acesso aos dados - O SGBD fornece linguagens de definição e acesso aos dados que devem ser utilizadas por todos os programas de aplicação, criando, assim, uma interface única de acesso aos dados armazenados no BD.
- Assegura independência física e lógica dos dados - Uma das principais vantagens do uso de SGBD é, exatamente, a liberdade que o administrador

do BD tem para promover alterações nas estruturas dos dados sem que estas mudanças provoquem uma série de manutenções em cascata. Independência física significa que alterações podem ser feitas no nível físico do BD sem provocar mudanças no nível lógico. Por exemplo, pode-se mudar o local onde está armazenado o BD (troca de servidor). Independência lógica significa que alterações podem ser feitas no nível lógico do BD sem provocar alterações nos programas de aplicação que utilizam as estruturas do BD modificadas. Por exemplo, pode-se incluir um novo campo em uma tabela sem ter de recompilar todos os programas que acessam aquela tabela.

- Consistência dos dados em caso de falhas - O SGBD deve dispor de dispositivos que tragam o BD para um estado consistente, mesmo após a ocorrência de falhas como, por exemplo, falta de luz. Sistemas de *backups* devem ser providos para que o SGBD fique imune também a falhas de *hardware*.
- Manutenção de restrições de integridade da aplicação - Muitas verificações que são realizadas durante a obtenção de dados pelos programas de aplicação podem ser transferidas para o SGBD.
- Segurança dos dados em ambiente multiusuário - Controle de acesso e de transações no caso de acesso simultâneos a um mesmo dado pode ser feito de forma confiável pelo SGBD.

Desvantagem dos bancos de dados

A grande desvantagem do uso de um SGBD consiste na existência de um overhead para prover segurança, controle de concorrência, recuperação e funções de integridade.

4.3.4 Fases do projeto de banco de dados

O processo de desenvolvimento de um banco de dados está intimamente relacionado com o ciclo de vida do desenvolvimento de *software* no qual, a cada etapa, novas informações e detalhes são acrescidos ao projeto do *software* (PRESSMAN, 1988). No projeto de banco de dados, as informações que o comporão são especificadas utilizando-se modelos de dados em diferentes níveis de abstração, iniciando pelos de alto nível e os refinando até que sejam incorporados detalhes específicos, relacionados ao armazenamento dos dados.

Segundo Elmasri (1994), o projeto de banco de dados deve ser dividido em três etapas, nas quais são empregados diferentes tipos de modelos.

- Projeto Conceitual – Nesta fase, é elaborado o esquema conceitual do banco de dados, através da utilização de modelos semânticos. Tais modelos empregam construtores de alto nível de abstração, a fim de descrever os requisitos de dados das aplicações (ex.: modelo E-R (Chen *apud* Elmasri, 1994)). Normalmente, são utilizadas linguagens (modelos) bastante simples, que facilitam a comunicação e o entendimento entre usuários e projetistas. São identificadas e definidas as entidades que serão representadas no banco de dados, suas estruturas (atributos) e os relacionamentos existentes entre elas. No projeto conceitual não são considerados aspectos sobre o sistema de computação (*software/hardware*) que será utilizado.
- Projeto Lógico – Nesta fase, é elaborado o esquema lógico do banco de dados com base no tipo de modelo de SGBD que será utilizado. O esquema lógico independe do *software* a ser usado, mas é dependente de um modelo de dados. É gerado a partir da aplicação de regras de transformação (mapeamento) dos construtores de abstração empregados no esquema conceitual em elementos de representação de dados de um dos modelos de banco de dados (ex.: relacional, hierárquico, orientado a objetos, objeto-relacional).

- Projeto Físico – Define os aspectos de implementação física do banco de dados como, por exemplo, estruturas de armazenamento, caminhos de acesso, particionamento e agrupamento. É específico para um determinado SGBD e permite ao projetista planejar aspectos ligados à eficiência do sistema de banco de dados.

4.4 MODELOS DE DADOS

Para Brodie (1984), um modelo de dados é uma coleção de conceitos bem definidos matematicamente, que auxilia a pensar e expressar as propriedades estáticas e dinâmicas das aplicações. Numa visão mais específica de banco de dados, um modelo de dados consiste de três componentes: uma coleção de tipos de objetos, uma coleção de operadores e uma coleção de regras de integridade (CODD, 1979).

Como exemplo dos principais modelos de banco de dados, é possível citar os clássicos: Rede, Hierárquico e Relacional. Este último é o modelo em uso na maioria dos SGBD existentes, estando instalado em 90% das organizações atualmente (Dbms, 1994).

Com a evolução do *hardware* e do *software*, novos modelos foram desenvolvidos para atender, principalmente, a uma série de aplicações ditas não convencionais (ex.: CAD, GIS, Automação de Escritório).

Estes novos modelos são classificados como Modelos Orientados a Objetos ou Modelos Objeto-Relacionais.

Os modelos semânticos fornecem um conjunto de conceitos (construtores) que auxiliam a pensar e expressar as propriedades estáticas e dinâmicas das aplicações. A característica básica de um modelo, como o próprio termo explicita, é que ele é uma abstração da realidade (PEUQUET, 1995). A distância existente entre a maneira na qual as entidades existem na realidade e como são representadas internamente nos computadores levaram ao surgimento de modelos de dados em diferentes níveis de abstração. No nível lógico, estão os modelos citados anteriormente (ex.: relacional, objeto-relacional), os quais são implementados por SGBD, incluindo suas linguagens para definição e manipulação dos dados. No nível conceitual, estão os modelos semânticos, voltados para o entendimento por

parte das pessoas (usuários e projetistas), embora possam ser processados por ferramentas CASE.

Ullman (1982) define um modelo de dados (semântico) como uma descrição geral de um conjunto específico de entidades e seus relacionamentos. Uma entidade pode ser qualquer coisa distinguível (ex.: um conceito, um evento, um objeto). Um conjunto de entidades agrupa entidades que possuem características em comum (ex.: rios, cidades e pessoas). Características de entidades são descritas por meio de atributos que possuem valores específicos dentro de um determinado domínio (ex.: nome e população de cidades). O exemplo mais conhecido de modelo semântico é o Entidade-Relacionamento (E-R).

Um modelo de dados semântico fornece uma base formal (notacional e semântica) para ferramentas e técnicas usadas para suportar a modelagem semântica do BD. Modelagem semântica é o processo de abstração no qual somente os elementos essenciais da realidade observada são enfatizados, descartando-se os elementos não essenciais.

4.5 NOÇÕES BÁSICAS DO MODELO RELACIONAL

O modelo relacional é o utilizado na grande maioria dos SGBD integrados aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), constituindo os chamados modelos de arquitetura dual. Exemplos de SIG que implementam essa arquitetura incluem o ARC/INFO, MGE, Idrisi e Spring. Nestes sistemas, normalmente, o SGBD relacional é usado para armazenar os dados descritivos, enquanto os dados geométricos são guardados por meio de estruturas de dados mantidas em arquivos. Algumas estruturas de dados geométricos (ex.: topologia) também são armazenadas no SGBD relacional.

Existem SIGs que são construídos com base em outras arquiteturas diferentes da dual. Os sistemas SIRO-DBMS e SYSTEM 9, por exemplo, são baseados em sistemas com suporte a campos longos, enquanto os sistemas *SmallWorld* e GEO2 são construídos com base em modelos orientados a objetos.

4.5.1 Modelo relacional

O modelo relacional foi proposto por Ted Codd em 1970. Fundamentado em uma forte base matemática, possibilitou a definição precisa de operadores de consulta aos dados.

Neste modelo, o BD é composto por uma coleção de tabelas (ou relação), que é o único tipo construtor, é usada para estruturar todos os dados do BD. O modelo fornece um conjunto de linguagens para definição – *Data Definition Language* (DDL), para manipulação – *Data Manipulation Language* (DML) e para consulta ao BD – *Query Language* (QL). A linguagem de consulta – *Sequential Query Language* (SQL) possui funções de definição e manipulação de dados e é considerada padrão para SGBD.

Outros conceitos empregados no modelo relacional incluem (CODD, 1979):

- Esquema do BD - Descrição textual (ou gráfica) dos dados e suas estruturas. Compreende a definição dos esquemas de todas as tabelas do BD e não é alterado com frequência.
- Instâncias do BD - Conjunto de dados armazenados no BD em um determinado instante de tempo, que respeita a definição de um esquema de BD. Pode alterar com frequência.
- Estado do BD - Conjunto de dados armazenados em um BD em um determinado instante. Uma transação no BD deve levá-lo de um estado consistente a outro estado consistente. Caso contrário, esta transação deve ser desfeita.
- Domínio de atributo - Em uma relação, cada coluna só pode conter valores de um determinado tipo, especificado pelo domínio do atributo. Assim, o domínio é o conjunto de valores possíveis para um atributo. Exemplos de domínios incluem os valores inteiros, reais, cadeias de caracteres, datas e valores lógicos ou *booleanos* (verdadeiro/falso).
- Atributos-Chave - Toda relação deve possuir um ou mais atributos capazes de identificar, univocamente, cada tupla (linha) que possui. Esse atributo (ou conjunto de atributos) é chamado de “chave primária”. As relações também podem possuir atributos, conhecidos como “chave estrangeira”, cujo valor

aparece como chave primária em uma outra relação. As chaves estrangeiras são utilizadas para implementar os relacionamentos definidos no modelo conceitual. É importante observar que o acesso a uma relação não precisa ser feito, necessariamente, através de chaves, ou seja, as tuplas também podem ser acessadas, por exemplo, de forma sequencial.

- Restrições de integridade - São imposições que devem ser satisfeitas pelo SGBD para uma determinada relação. Restrições são especificadas no esquema e devem ser mantidas em todas as instâncias deste esquema.

Existem diversos tipos de restrições, sendo que os principais são:

- Restrições de domínio - O valor de cada atributo deve ser atômico e pertencer ao domínio especificado;
- Restrições de chave - Todas as tuplas de uma relação devem ser distintas entre si;
- Integridade referencial - O valor de uma chave estrangeira deve ser nulo ou igual a algum valor da chave primária na relação correspondente.

Além dos conceitos referentes ao esquema do BD, um segundo aspecto importante do modelo relacional é o tipo de linguagem fornecida. Conforme descrito anteriormente, o modelo relacional provê linguagens para definição, manipulação e consulta ao BD. A possibilidade de o usuário realizar consultas ao BD, que não estavam previstas inicialmente no programa de aplicação, deu ao usuário um grande poder de uso, uma vez que ele, agora, independe do pessoal técnico para implementar um novo relatório. A partir de um conhecimento básico de uma linguagem de consulta, o próprio usuário pode explorar diferentes visões dos dados armazenados.

4.5.2 Álgebra relacional

A álgebra é uma linguagem de consulta procedural, consistindo de um conjunto de operações que permitem a extração de dados do BD. As operações podem ser aplicadas a uma única relação (unária) ou a duas (binária), tendo como resultado uma nova relação.

As operações na álgebra relacional podem ser classificadas em: operações específicas para SGBD relacionais (seleção, junção, projeção, divisão, renomear e atribuição) e operações da teoria de conjuntos (união, interseção, diferença e produto cartesiano) (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Segundo Lisboa Filho e Iochpe (2001), as seguintes definições devem ser consideradas na álgebra relacional:

Seleção (δ) - Seleciona um conjunto de tuplas (linhas) que satisfaçam uma dada condição. A relação resultante terá os mesmos atributos da relação original, ou seja, o mesmo esquema.

Projeção (Π) - A operação de projeção permite ao usuário selecionar um conjunto de atributos (colunas) em uma relação.

Produto cartesiano (\times) - As duas operações anteriores são operações unárias, ou seja, operaram sobre uma única tabela por vez.

No entanto, algumas consultas só podem ser resolvidas a partir do cruzamento de duas ou mais tabelas. Para resolver este problema, na álgebra relacional, é necessário “criar” uma nova tabela cujo esquema seja uma concatenação das duas tabelas desejadas. A operação produto cartesiano possibilita esta concatenação.

4.5.3 SQL: Linguagem de consulta estruturada

A linguagem de consulta SQL foi desenvolvida, originalmente, como a linguagem de consulta do SGBD *System R*, da IBM. Após se tornar um padrão, foi adotada internacionalmente como a linguagem de consulta para SGBD relacionais.

A primeira versão do padrão foi estabelecida pelo Comitê de padronização American National Standard Institute (ANSI) em 1986, sendo batizada de SQL1. Em 1992,

o padrão foi revisado, dando origem ao atual, também conhecido como SQL2. Uma terceira versão (SQL3) encontra-se em desenvolvimento, devendo ser oficializada nos próximos anos. Entre as novidades do novo padrão SQL3 está a inclusão de conceitos de orientação a objetos e o suporte a objetos espaciais (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Para Lisboa Filho e Iochpe (2001), SQL é muito mais do que uma linguagem de consulta; ela foi construída como uma linguagem de banco de dados, uma vez que inclui:

- linguagem de consulta (QL);
- linguagem de definição de dados (DDL);
- linguagem de manipulação de dados (DML);
- interface para linguagens de manipulação de dados embutida;
- autorização de acesso;
- restrições de integridade;
- controle de transações.

Um esquema de BD é composto não só de tabelas, mas também por definições de visões, restrições de integridade e autorização de acesso. Todas as informações sobre o esquema de um BD são armazenadas no catálogo do BD, o qual é gerenciado pelo SGBD.

Como a consulta em SQL é feita por meio de uma linguagem declarativa, o usuário não precisa especificar o algoritmo a ser seguido pelo programa para a execução da consulta, como ocorre nas linguagens procedurais. O usuário necessita, apenas, especificar “o que” ele quer e o SGBD resolve a consulta. Como consequência, SQL não é uma linguagem computacionalmente completa, ou seja, nem tudo que é possível realizar com uma linguagem procedural também o é com SQL. Por outro lado, o banco de dados pode ser consultado de forma exploratória pelo usuário, sem que este tenha que possuir grandes habilidades em programação.

4.6 PROJETO DE BANCOS DE DADOS

Um modelo de dados fornece uma base formal (notacional e semântica) para ferramentas e técnicas usadas para suportar a modelagem de dados. Modelagem de dados é o processo de abstração no qual somente os elementos essenciais da realidade observada são enfatizados, descartando-se os elementos não essenciais (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

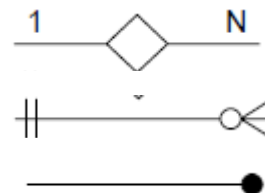
O processo de modelagem conceitual compreende a descrição e definição dos conteúdos dos dados, além de suas estruturas e de regras aplicáveis aos dados (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1996). A modelagem conceitual é sempre feita com base em algum formalismo conceitual (ex.: Entidade-Relacionamento, Orientação a Objetos), independente do nível de abstração empregado. O resultado da modelagem, denominado esquema conceitual, é apresentado através de uma linguagem formal de descrição, que possui uma sintaxe e/ou uma notação gráfica.

Para cada formalismo conceitual existe um conjunto de linguagens de descrição de esquema compatíveis com o formalismo. O formalismo fornece um conjunto de regras que são usadas no processo de modelagem da realidade, enquanto a linguagem de descrição fornece uma gramática para a apresentação do esquema conceitual resultante da modelagem. A linguagem léxica possibilita o processamento computacional do esquema, enquanto a notação gráfica é mais adequada para facilitar o entendimento e a comunicação entre humanos.

A seguir, são listadas as principais linguagens de modelagem disponíveis, classificadas segundo o formalismo empregado (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

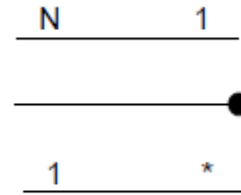
Formalismo E-R:

- Peter Chen
- James Martin (eng. informações)
- IDEF1X



Formalismo da orientação a objetos:

- OOA – Análise orientada a objetos
- OMT – Técnica de modelagem de objetos
- UML – Linguagem de modelagem unificada



4.7 MODELO ENTIDADE-RELACIONAMENTO

O modelo Entidade-Relacionamento (E-R), proposto por Peter Chen, em 1976, baseia-se na percepção de um universo constituído por um grupo básico de objetos chamados entidades e por relacionamentos entre estes objetos (CHEN *apud* ELMASRI, 1994).

Tal modelo foi desenvolvido para facilitar a tarefa de projetar bancos de dados relacionais. É um modelo semântico (ou conceitual) de alto nível, ou seja, usa uma linguagem que está mais próxima do usuário do que da máquina (computador). Um esquema de dados elaborado com o modelo E-R especifica “quais” os dados que serão representados e não “como” os dados serão armazenados. Assim, é um modelo independente do SGBD a ser utilizado na implementação do BD.

Por possuir uma notação gráfica bastante simples, é de fácil aprendizado. Além de facilitar o entendimento da estrutura do BD por parte dos usuários leigos, melhora a comunicação entre os projetistas e os usuários.

Entidade é todo fenômeno de interesse da aplicação. Uma entidade pode ter existência física (ex.: rio, estrada, igreja) ou conceitual (ex.: empresa, cargo, município).

Entidades são modeladas através do mecanismo de abstração conhecido como classificação, no qual as entidades que são similares são descritas uma única vez, formando um conjunto entidade. As características de uma entidade são modeladas através de atributos da entidade (ex.: nome e população de um município).

Ao contrário do modelo relacional, no qual todo atributo deve ser atômico, no modelo E-R diversos tipos de atributos podem ser especificados. São eles:

- Atômico (ex.: nome, população);
- Composto (ex.: endereço = (rua+número+bairro+cep));
- Derivado (ex.: idade = dataHoje - dataFundação);
- Multivalorado (ex.: {telefones para contato}).

A notação gráfica para representar um conjunto entidade é um retângulo. Os atributos podem estar dentro ou fora dos limites do retângulo, de acordo com a linguagem gráfica usada.

A chave primária, apesar de ser um conceito muito próximo da implementação, é de fundamental importância para um banco de dados relacional e, por isso, é importante que os atributos que a compõem sejam identificados nessa fase.

Chave primária é o atributo (ou conjunto de atributos) que identifica(m) univocamente cada elemento em um conjunto entidade.

Entidade fraca acontece quando alguns conjuntos de entidade não possuem um conjunto de atributos capaz de identificar univocamente uma determinada entidade. Neste caso, sua existência depende da existência de outra entidade. Um exemplo clássico de entidade fraca ocorre quando um sistema de pessoal possui dados sobre os dependentes de seus funcionários.

É comum que os funcionários tenham um número de matrícula na empresa que é usado como atributo-chave da tabela de funcionários. Por outro lado, normalmente, os dependentes dos funcionários não possuem uma matrícula própria, bem como não possuem um conjunto mínimo de atributos que possam constituir a chave primária da tabela de dependentes. Neste caso, o conjunto entidade Dependente deve ser modelado como uma entidade fraca.

4.8 IDENTIFICANDO ENTIDADES

Cada entidade deve possuir um *identificador*. Um identificador é um conjunto de um ou mais atributos cujos valores servem para distinguir uma ocorrência da entidade das demais ocorrências da mesma entidade.

O caso mais simples é o da entidade que possui um único atributo como identificador. No DER, atributos *identificadores* são representados por um círculo preto. Isso significa que cada pessoa possui um código diferente. Já os atributos *nome* e *endereço* não são identificadores – o mesmo nome (ou o mesmo endereço) pode ser associado a diferentes pessoas.

Finalmente, há casos em que o identificador de uma entidade é composto não somente por atributos da própria entidade, mas, também, por relacionamentos dos quais a entidade participa (*relacionamento identificador*).

No diagrama entidade-relacionamento (DER), o relacionamento usado como identificador é indicado por uma linha mais densa.

Nesse caso, alguns autores dizem que a entidade *dependente* é uma entidade *fraca*. O termo *fraca* deriva-se do fato de a entidade somente existir quando relacionada a outra entidade e de usar como parte de seu identificador, entidades relacionadas. Entretanto, os autores de livros mais recentes preferem não utilizar o conceito, já que as entidades chamadas “fracas” por este critério podem, dependendo da realidade modelada, ser centrais a um modelo.

O identificador de uma entidade, seja ele simples, composto por diversos atributos, ou composto por identificadores externos, deve obedecer a duas propriedades:

- O identificador deve ser mínimo. Isso significa que o identificador de uma entidade deve ser composto de tal forma que, retirando um dos atributos ou relacionamentos que o compõe, ele deixa de ser identificador.
- Cada entidade deve possuir um único identificador. Em alguns casos, diferentes conjuntos de atributos podem servir para distinguir as ocorrências da entidade.

4.9 RELACIONAMENTO

O modelo E-R é o construtor para representação de relacionamentos. Este último descreve uma associação entre duas ou mais entidades.

Da mesma forma que entidades semelhantes são agrupadas em conjuntos-entidade, relacionamentos semelhantes são agrupados em conjuntos-relacionamentos e modelados uma única vez (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

A modelagem dos relacionamentos é uma das tarefas mais importantes no projeto conceitual. É a partir dos relacionamentos que o banco de dados poderá ser explorado através de consultas. O projetista de uma aplicação deve ter a habilidade de escolher, dentre uma infinidade de possíveis relacionamentos, aqueles que são importantes de acordo com os objetivos do sistema (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

No modelo E-R, os relacionamentos devem especificar um importante tipo de restrição de integridade, que é a sua cardinalidade. A cardinalidade de um relacionamento indica o número de entidades no qual uma outra entidade pode estar associada via um relacionamento.

Em um relacionamento entre dois conjuntos-entidade A e B, existem três tipos básicos de cardinalidades (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001):

- 1:1 (um para um) – cada entidade no conjunto-entidade A pode estar associada a, no máximo, uma entidade no conjunto-entidade B e vice-versa;
- 1:N (um para muitos) – cada entidade no conjunto-entidade A pode estar associada a nenhuma ou muitas entidades no conjunto-entidade B e cada entidade no conjunto-entidade B só pode estar associada a uma única entidade no conjunto-entidade A;
- M:N (muitos para muitos) – cada entidade no conjunto-entidade A pode estar associada a nenhum ou muitas entidades no conjunto-entidade B, e vice-versa.

4.10 IDENTIFICANDO RELACIONAMENTOS

Em princípio, uma ocorrência de relacionamento diferencia-se das demais do mesmo relacionamento pelas ocorrências de entidades que dela participam. Em outros termos, para cada par há, no máximo, um relacionamento.

Entretanto, há casos nos quais entre as mesmas ocorrências de entidade podem existir diversas ocorrências de relacionamento. Entre um determinado médico e um determinado paciente pode haver diversas consultas. Neste caso, é necessário algo que distinga uma consulta entre um médico e seu paciente das demais consultas entre eles. A diferenciação dá-se através de *atributos identificadores de relacionamentos*.

Assim, de forma geral, um relacionamento é identificado pelas entidades dele participantes, bem como pelos atributos identificadores eventualmente existentes.

4.11 TRANSFORMANDO RELACIONAMENTOS

Relacionamentos podem ser transformados de duas formas distintas: (1) através da inclusão do atributo-chave de uma das entidades, na tabela resultante da transformação da outra entidade envolvida no relacionamento; (2) definição de uma tabela específica para armazenar os relacionamentos, a qual tem como chave primária as chaves primárias das duas tabelas envolvidas (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Portanto, a transformação de relacionamentos depende de vários aspectos do problema (sistema) em questão. Exemplos que influenciam na decisão de qual a melhor forma de transformar os relacionamentos incluem, por exemplo, cardinalidade opcional, volume de entidades envolvidas em um determinado tipo de relacionamento, volume de uso deste relacionamento em consultas futuras etc. Assim, embora existam regras que orientem este tipo de transformação, é importante o projetista ter em mente que aspectos da aplicação devem ser considerados para uma escolha mais adequada em cada caso. As regras apresentadas a seguir são um resumo dos casos mais comuns de transformação. Apenas alguns casos especiais são comentados (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Relacionamentos 1:1 normalmente são transformados através da inclusão de um atributo extra em uma das tabelas envolvidas. A escolha de qual entidade vai receber o atributo-chave da outra entidade merece uma análise especial do projetista.

Ao contrário dos relacionamentos 1:1, em que há a opção de escolha, em um relacionamento 1:N, a entidade do lado “N” sempre recebe o(s) atributo(s)-chave da

entidade do lado “1”, a menos que o projetista opte por transformar o relacionamento em uma tabela própria (caso excepcional).

A única forma possível de transformação de relacionamentos M:N é através da definição de uma tabela adicional, cuja chave é composta pelas chaves primárias das duas entidades envolvidas. Isto ocorre porque no modelo relacional há a restrição de domínio atômico (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Uma situação que ocorre com frequência é um relacionamento ter atributos.

4.12 FERRAMENTAS CASE

As regras de transformação resolvem grande parte dos problemas de transformação de esquemas conceituais em esquemas relacionais. Como se pode notar, a base para escolha da regra a ser empregada é o tipo de cardinalidade do relacionamento. Portanto, o projetista deve reservar especial atenção à modelagem dos relacionamentos e suas cardinalidades.

Estas regras também são empregadas pelos programas de apoio a projetos de BD, conhecidos como ferramentas CASE (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Os sistemas de bancos de dados representam um papel fundamental em aplicações de processamento de informação, em que a utilização de tais sistemas permite facilitar a organização e a manutenção de dados, que podem ser compartilhados por diversas aplicações, as quais não precisam conhecer o modo como estes dados são armazenados ou representados. A tecnologia de banco de dados é muito utilizada nas áreas administrativas e comerciais. Contudo, novas categorias de aplicações têm demandado o gerenciamento de dados mais complexos. Exemplos dessas aplicações são: sistema de apoio a projetos, automação de escritórios e, mais recentemente, a ergonomia (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Não se justifica ter uma grande quantidade de dados onde não se possa retirar as informações esperadas, ou seja, dados desorganizados não geram o conhecimento necessário.

5 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS E O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

5.1 BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICO

5.1.1 Dado, informação e fenômeno geográficos

Uma informação é obtida a partir do processamento ou da contextualização de dados brutos. Este, por sua vez, corresponde a um valor para uma medida observada. Por exemplo, a data 07/09/1822 é um dado bruto.

Quando este dado está associado a um contexto, torna-se informação. Assim, na expressão “O Brasil tornou-se independente de Portugal em 7 de setembro de 1822”, o dado exemplificado é transformado em informação.

De modo equivalente, informação geográfica é resultado do processamento de dados geográficos. Este último refere-se a uma medida observada de um fenômeno que ocorre sobre/sob a superfície terrestre, onde a localização da observação é um componente fundamental do dado.

O termo *fenômeno geográfico* compreende, de forma abrangente, qualquer ocorrência que pode ser: natural (ex.: um lago, a pressão atmosférica, uma formação geológica); antrópica (ex.: uma rodovia, um hospital, divisão territorial política); de fatos (ex.: uma epidemia, uma batalha); ou mesmo de objetos ainda inexistentes (ex.: o planejamento de um gasoduto, projeto de uma usina hidrelétrica).

Segundo Chrisman (1997), a informação geográfica possui três componentes básicos: atributo, espaço e tempo, que possibilitam responder, respectivamente, a três perguntas: “o quê?”, “onde?” e “quando?”.

Segundo Worboys (1995), cada um desses componentes determina uma categoria de dimensão ao longo da qual os valores são medidos, como mostra a Figura 1.

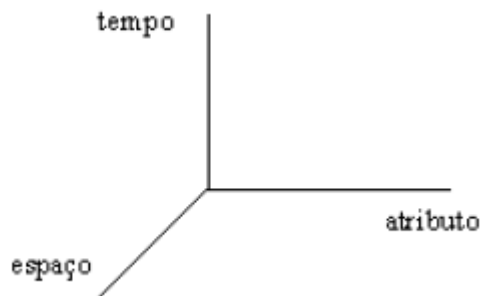


Figura 1 - Categorias de dimensões da informação geográfica Fonte: Worboys (1995)

Para que um dos três componentes possa ser medido deve-se fixar um segundo componente e usar o terceiro como controle (SINTON *apud* CHRISMAN, 1997). Por exemplo, para medir a altitude-atributo de uma determinada região, fixa-se o componente tempo, faz-se variar a posição no espaço-controle e toma-se o valor da altitude para os diversos pontos na região. Um segundo exemplo compreende a medição da temperatura em uma estação meteorológica. Neste caso, a localização da estação é fixa no espaço, o período de tempo da observação serve de controle e a temperatura-atributo é medida para cada unidade de tempo estabelecida. A definição de qual dimensão pretende-se fixar, usar como controle ou medir possibilita uma grande variedade de estruturas de medidas da informação geográfica.

O componente espacial descreve a localização geográfica e a forma geométrica do fenômeno é descrita pela referida informação, além de relacionamentos com outros fenômenos geográficos. Como a principal função de um SIG é possibilitar a realização de operações de análise espacial, o componente espacial é o mais importante no contexto de SIG.

Um dado geográfico é, antes de mais nada, um dado espacial, isto é, descreve a forma geométrica de coordenadas numéricas de um objeto no espaço. Por exemplo, a forma de um cubo no espaço \mathcal{R}^3 ou uma circunferência projetada no espaço \mathcal{R}^2 são dados espaciais. Assim, uma linha unindo dois pontos quaisquer em uma imagem de ecografia é um dado espacial, mas não um dado geográfico.

Quando o dado espacial está relacionado com sua localização sobre a superfície terrestre, ou seja, são utilizadas coordenadas geográficas (ex.: latitude/longitude), este dado,

além de ser espacial, é um dado geográfico, também conhecido por dado geoespacial ou dado georreferenciado.

Devido a uma herança cultural no desenvolvimento de SIG, decorrente do uso de mapas em papel, existe uma predominância quase total no processamento de dados bidimensionais, embora possam ser espaciais em três dimensões.

O atributo é um fenômeno geográfico que possui características qualitativas e quantitativas que são descritas de forma textual e/ou numérica. O componente atributo, também conhecido por atributo descritivo ou atributo não espacial, descreve as características não espaciais de um fenômeno geográfico. Nome, população e orçamento anual de um município são exemplos de atributos descritivos.

Atributos descritivos são os mais frequentes na maioria dos sistemas de informação. A maioria dos SIG utiliza um SGBD para o gerenciamento dos atributos descritivos.

Segundo Aronoff (1989), existe um certo grau de incerteza que é inerente ao componente atributo. Por exemplo, uma floresta de eucaliptos pode não ser formada por árvores 100% do tipo eucalipto ou um bairro residencial pode possuir algumas pequenas indústrias instaladas. Para alguns tipos de análises pode ser importante considerar a existência dessas incertezas, embora, normalmente, este tipo de problema seja desconsiderado pelos usuários de SIG.

Todo fenômeno geográfico é eminentemente temporal, ou seja, está associado a um instante ou intervalo de tempo em que este ocorre ou em que é observado (PEUQUET, 1995). O componente tempo pode ser crítico para a informação geográfica, dependendo do tipo de fenômeno e do tipo de aplicação em que este está sendo utilizado.

O componente tempo, embora muitas vezes esteja implicitamente associado aos demais componentes da informação geográfica, tem sido tratado como uma simples informação complementar. Por exemplo, todo mapa está associado a dois períodos de tempo: um, relativo à sua confecção e outro, referente à validade da informação apresentada. Um novo mapa retratando as divisões provinciais do Brasil no século XVII ilustra esta situação.

A maioria dos sistemas é projetada para fornecer informação atual sobre os fenômenos geográficos.

Por exemplo, um sistema de rede de telefonia deve fornecer aos seus usuários a informação mais atualizada possível. Desta forma, a informação que é extraída do sistema é tida como verdadeira para o momento da consulta. É comum a existência de aplicações nas quais os aspectos temporais não são contemplados ou são tratados de maneira superficial. No entanto, existem outras em que o aspecto temporal é fundamental. Por exemplo, em um sistema de cadastro urbano, os limites dos lotes podem ser modificados, divididos ou unidos a outros lotes, proprietários podem ser trocados, edificações são construídas. O histórico dessas modificações no cadastro territorial é um fator importante neste tipo de aplicação.

5.2 REQUISITOS DE MODELAGEM PARA APLICAÇÃO DE SIG

Devido à necessidade de tratar as três dimensões da informação geográfica, as aplicações de SIG impõem alguns requisitos especiais de modelagem que devem ser suportados pelos modelos conceituais no projeto de banco de dados para estas aplicações. A seguir, é descrito o conjunto de requisitos mínimos que um modelo conceitual de dados para aplicações de SIG deve suportar (LISBOA FILHO; IOCHUPE, 1999).

5.2.1 Fenômeno geográfico e objeto convencional

Em um banco de dados geográficos existem, além dos dados referentes aos fenômenos geográficos, outros objetos convencionais, presentes na maioria dos sistemas de informação. Por exemplo, uma fazenda é um fenômeno geográfico quando suas informações espaciais (ex.: os limites da fazenda) estão armazenadas no banco de dados.

Neste mesmo banco de dados, é possível ter dados sobre os proprietários de fazendas, considerados objetos convencionais por não terem informações espaciais associadas. Em um esquema conceitual, é importante que se possa diferenciar, facilmente, entre classes ou entidades descrevendo esses dois tipos de objetos.

5.2.2 Visões de campo e de objetos

Segundo Goodchild (1992), a realidade geográfica pode ser observada segundo duas visões: de campo e de objetos.

Na visão de campo, a realidade é modelada por variáveis que possuem uma distribuição contínua no espaço. Toda posição no espaço geográfico pode ser caracterizada através de um conjunto de atributos como temperatura ou tipo de solo e relevo, medidos para um conjunto de coordenadas geográficas.

Na visão de objetos, a realidade consiste de fenômenos individuais, bem definidos e identificáveis. Cada fenômeno na visão de objetos tem suas propriedades individuais e ocupa um determinado lugar no espaço. A realidade é modelada como um grande espaço onde os fenômenos estão distribuídos sem que, necessariamente, todas as posições do espaço estejam ocupadas.

A modelagem de fenômenos geográficos na visão de objetos é um processo natural e direto (ex.: rios) e são descritos pela classe ou entidade Rio. No entanto, um campo geográfico (ex.: altimetria) não pode ser modelado diretamente como uma classe, pois altimetria não é um objeto e, conseqüentemente, não pode ser descrito diretamente por uma classe.

Um modelo conceitual de dados deve prover construtores especiais para modelar tanto os campos quanto os objetos geográficos. A maioria dos modelos existentes não suporta a modelagem dos fenômenos geográficos que são percebidos na visão de campo.

5.2.3 Aspectos temáticos

Os fenômenos geográficos possuem vários atributos, dentre os quais o que fornece sua localização geográfica (atributo espacial). A localização e a forma dos fenômenos geográficos são representadas através de objetos espaciais, associados a um sistema de coordenadas. Um objeto representando um fenômeno geográfico (ex.: um rio) deve estar associado a um ou mais objetos espaciais que representam sua localização e sua forma sobre a superfície terrestre. Em um SIG, esses objetos espaciais não são tratados isoladamente, mas, sim, em grupos que representam fenômenos com características e

relacionamentos em comum. Diferentes termos como tema, camada e plano de informação são encontrados na literatura, referindo-se a estes agrupamentos.

No nível interno de um SIG, a organização dos dados espaciais é feita em camadas físicas (ex.: conjunto de polígonos representando os limites dos lotes urbanos). No entanto, embora o projeto de camadas físicas seja um problema a ser tratado nas etapas de projeto lógico ou físico, diversos autores afirmam que é importante que camadas conceituais sejam definidas durante a fase de projeto conceitual (WORBOYS, 1995; HADZILACOS; TRYFONA, 1996). Para Hadzilacos e Tryfona (1996), camadas conceituais não necessitam ter uma relação um-para-um com camadas físicas. Por exemplo, uma única camada conceitual, como hidrografia, pode dar origem a diferentes camadas físicas, uma contendo somente os rios, outra contendo somente os lagos etc.

5.2.4 Aspectos espaciais

A localização geográfica e a forma espacial dos fenômenos geográficos podem ser implementadas, em um SIG, através de objetos espaciais. Todo objeto espacial possui uma geometria, que representa a forma espacial do fenômeno, sendo que suas coordenadas devem estar registradas com base em um determinado sistema de coordenadas (ex.: latitude e longitude) e um sistema de projeção (ex.: Universal Transverso de Mercator - UTM).

Embora os aspectos espaciais dos fenômenos geográficos possam parecer detalhes que não deveriam ser tratados durante a modelagem conceitual, a sua inclusão no esquema conceitual tem sido fator fundamental na comunicação com o usuário (LISBOA FILHO; IOCHUPE, 2000).

Na visão de objetos, os fenômenos geográficos são representados por objetos espaciais do tipo ponto, linha, polígono ou suas possíveis combinações, enquanto que na visão de campo, uma superfície contínua pode ser representada, por exemplo, através de modelos numéricos, conjuntos de isolinhas, polígonos adjacentes e grade de células.

Diferentes abordagens têm sido propostas para modelagem conceitual dos aspectos espaciais dos fenômenos geográficos. A abordagem mais comum é a que define uma associação entre a classe que descreve o fenômeno e a classe do tipo de objeto espacial

correspondente a sua representação espacial. Alguns modelos, no entanto, utilizam pictogramas para substituir esta associação.

5.2.5 Múltiplas representações

Uma das características das aplicações geográficas é a possibilidade de existência de múltiplas representações para um mesmo fenômeno geográfico. Esta necessidade surge em resposta à complexidade da realidade a ser representada e às diferentes visões que os usuários têm de um mesmo fenômeno. Um fenômeno geográfico pode ser representado em diferentes escalas ou projeções, inclusive por diferentes objetos espaciais.

A existência de múltiplas representações pode ser modelada através da inclusão de várias associações entre o fenômeno geográfico e os tipos de objetos espaciais correspondentes (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

5.2.6 Relacionamentos espaciais

Uma das tarefas mais importantes quando se está modelando os dados de uma aplicação é a identificação de quais os relacionamentos que deverão ser mantidos no banco de dados, dentre os possíveis relacionamentos observáveis na realidade. No domínio das aplicações geográficas, este problema é bem complexo, uma vez que o número de relacionamentos possíveis de serem mantidos é ainda maior, devido à existência dos relacionamentos espaciais entre os fenômenos geográficos (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

A maioria dos SIG fornece estruturas especiais para o armazenamento explícito de alguns tipos de relacionamentos espaciais. Normalmente, são mantidos somente os relacionamentos de adjacência ou de conectividade, deixando os demais tipos de relacionamentos espaciais (ex.: pertinência, cruzamento) para serem calculados a partir das coordenadas espaciais dos objetos. Por outro lado, existem aplicações nas quais alguns

relacionamentos espaciais possuem significado semântico relevante, tal como vizinhança e cruzamento de ruas (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Nestes casos, o projetista necessita especificar estas informações no modelo de dados.

As cardinalidades, associadas aos relacionamentos, formam um conjunto de restrições de integridade que devem ser mantidas entre as instâncias dos objetos no banco de dados. Para os relacionamentos espaciais, novos tipos de cardinalidade podem ser definidos, tais como, associação espacial, pertinência etc. Um modelo conceitual de dados para SIG deve fornecer meios para que o projetista represente os relacionamentos a serem mantidos no banco de dados geográficos. Isto inclui tanto os relacionamentos convencionais como os espaciais (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

5.2.7 Aspectos temporais

A maioria dos SIG disponíveis atualmente considera os fenômenos como se o mundo existisse somente no presente. Dados geográficos são alterados ao longo do tempo, mas o histórico dessas transformações não é mantido no banco de dados.

Para Hadzilacos e Tryfona (1996), o fato de os dados geográficos estarem qualificados com base no tempo, se deve à necessidade de se registrar estados passados, de forma a possibilitar o estudo da evolução dos fenômenos geográficos. Para se permitir uma análise de dados com base nesta evolução, há que se adicionar aos SIG as potencialidades dos sistemas de bancos de dados temporais. Isto implica a inclusão de informações temporais relacionadas aos fenômenos geográficos e a extensão das linguagens de consulta disponíveis – para que estas suportem cláusulas de condição associadas a aspectos temporais (WORBOYS, 1995).

Alguns modelos conceituais, propostos na literatura, estendem a notação gráfica para ressaltar a existência dos aspectos temporais em determinadas classes. O modelo GeoOOA (KÖSTERS *et al.*, 1997), por exemplo, utiliza um pictograma especial – o símbolo de um relógio –, para diferenciar classes temporais. Além disso, a notação gráfica

do modelo é estendida para representar dois tipos especiais de relacionamentos temporais: conexão ancestral e conexão de atributo temporal.

No modelo GeoOOA, um relacionamento de conexão ancestral permite a associação entre versões de um mesmo objeto. Por exemplo, um lote pode ser dividido, em um determinado momento, dando origem a dois novos lotes. A conexão de atributo temporal é usada para destacar uma associação decorrente da necessidade de modelar o aspecto temporal de um atributo. Na modelagem não temporal, o usual é que cada lote tenha uma única associação com o proprietário atual (KÖSTERS *et al.*, 1997).

5.3 MODELANDO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS COM UML-GEOFRAME

Os requisitos apresentados anteriormente fazem com que modelos conceituais convencionais, como o E-R, não sejam adequados para modelagem de bancos de dados geográficos, ou seja, para modelagem de aplicações de SIG. Atualmente, diversas propostas de modelos conceituais de dados específicos para bancos de dados geográficos podem ser encontradas na literatura. Estes modelos são, na verdade, extensões dos modelos tradicionais.

A abordagem UML-GeoFrame, ou seja, o uso da linguagem *Unified Modeling Language* (UML) (BOOCH *et al.*, 1998), com base no *framework* GeoFrame (LISBOA FILHO; IOCHUPE, 1999), para a modelagem conceitual de bancos de dados geográficos. Esta solução possibilita a obtenção de esquemas conceituais de dados em uma linguagem bastante clara e, portanto, de fácil entendimento por parte dos usuários.

Os mecanismos de abstração e os respectivos elementos construtores da linguagem UML, que são utilizados na abordagem UML-GeoFrame, estão resumidos a seguir (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001):

- Classificação – Nos modelos orientados a objetos, um fenômeno de interesse da aplicação é representado como um objeto, o qual possui uma estrutura, capaz de armazenar suas características (atributos) e seu comportamento, descrito pelo conjunto de operações que podem ser realizadas com o objeto. Objetos semelhantes são modelados através da definição de uma classe, a

qual especifica um conjunto de atributos que descrevem a estrutura e um conjunto de métodos (ou operações) que definem o comportamento dos objetos definidos pela classe.

- Instanciação – Um objeto pertencente a uma classe é dito uma instância desta classe.
- Generalização – Classes semelhantes podem ser agrupadas e descritas de forma generalizada. Neste caso, as propriedades da classe genérica (superclasse), ou seja, atributos, métodos e associações são herdadas pelas classes que foram generalizadas (subclasses).
- Especialização – A especialização é o mecanismo inverso da generalização, no qual uma classe genérica (superclasse) pode ser especializada em uma ou mais classes (subclasses), as quais herdam as propriedades da superclasse, além de se poder definir novas propriedades.
- Associação – Representa os relacionamentos que podem haver entre objetos de diferentes classes. Multiplicidade é o nome dado à cardinalidade de uma associação.
- Agregação – Tipo especial de associação para representar relacionamentos entre objetos compostos e suas partes.
- Composição – Tipo especial de agregação na qual a existência do objeto composto (o todo) depende da existência dos objetos componentes (suas partes).

Além dos mecanismos de abstração relacionados anteriormente, a abordagem UML-GeoFrame utiliza dois elementos próprios da linguagem UML. São eles (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001):

- Pacote – Usado para particionar um diagrama de classes através do agrupamento de elementos da linguagem UML.
- Estereótipo – Mecanismo de extensão dos construtores da linguagem UML. Permite que o projetista defina novos construtores e os utilize na elaboração de diagramas UML.

De forma semelhante ao modelo E-R, o diagrama de classes da linguagem UML também não é adequado à modelagem de banco de dados geográficos, por não atender a vários dos requisitos impostos pelas aplicações de SIG. A seguir, é descrito o GeoFrame, o qual estende os construtores da linguagem UML através da definição de um conjunto simples de estereótipos para serem usados na modelagem de banco de dados geográficos.

5.3.1 Classes e subclasses de um GeoFrame

GeoFrame é um *framework* conceitual que fornece um diagrama de classes básicas para auxiliar o projetista nos primeiros passos da modelagem conceitual de dados de uma nova aplicação de SIG (LISBOA FILHO; IOCHUPE, 1999). Um *framework* pode ser definido como um projeto genérico em um domínio que pode ser adaptado a aplicações específicas, servindo como um molde para a construção de aplicações. Esta definição fornece uma visão bem mais abrangente sobre a potencialidade de um *framework* do que as definições apresentadas por autores mais ligados à programação orientada a objetos. Por exemplo, Ralph Johnson define um *framework* como sendo um projeto reutilizável de um programa – ou parte dele –, expresso como um conjunto de classes (JOHNSON, 1992).

Como instrumento de reutilização, um *framework* não necessita estar implementado em uma linguagem de programação para fornecer a solução parcial a uma família de problemas. O *framework* GeoFrame foi elaborado sob esse enfoque mais genérico, o qual expressa a ideia de um projeto conceitual parcial para uma família de aplicações geográficas.

O GeoFrame foi definido de acordo com as regras do formalismo da orientação a objetos, utilizando a notação gráfica do diagrama de classes da linguagem UML. As subseções seguintes descrevem as classes do diagrama.

Toda aplicação geográfica tem como objetivo o gerenciamento e a manipulação de um conjunto de dados para uma determinada região de interesse, constituindo um banco de dados geográfico. Assim, para cada região geográfica pode-se especificar uma coleção de temas.

Outra vantagem da utilização do conceito de temas, no esquema conceitual, é que ele funciona como um mecanismo para redução da complexidade em grandes esquemas. É comum existirem aplicações geográficas com centenas de entidades modeladas ex.: SIGPROGB (LISBOA FILHO, 1997).

O uso de temas permite ao projetista dividir o esquema em subesquemas coesos, nos quais são agrupadas classes fortemente relacionadas entre si. Em grandes projetos, conjuntos de temas afins podem ser agrupados em um tema mais genérico, formando uma hierarquia de temas.

Em um banco de dados geográficos, existe, além dos dados referentes àqueles fenômenos georreferenciados, com ou sem representação geoespacial, objetos convencionais presentes em qualquer sistema de informação. Tais objetos não possuem referência com relação a uma localização geográfica, sendo tratados, genericamente, como instâncias de subclasses da classe OBJETO GEOGRÁFICO (LISBOA FILHO, 2001).

A classe abstrata FENÔMENOGEOGRÁFICO generaliza qualquer fenômeno cuja localização em relação superfície terrestre seja considerada. Por exemplo, um lote de terra é uma instância de FENÔMENOGEOGRÁFICO caso seus atributos espaciais estejam representados no banco de dados (LISBOA FILHO, 2001).

Fenômenos geográficos e objetos não geográficos podem estar relacionados entre associação (relacionaCom) como no caso em que “todo lote pertence a um proprietário”. A modelagem desse tipo de relacionamento permite que os dados armazenados em um SIG estejam integrados com os demais sistemas de informação da organização (LISBOA FILHO, 2001).

Fenômenos geográficos são percebidos, na realidade, segundo as visões dicotômicas de campo e de objeto (GOODCHILD, 1992). Essas duas visões acarretam diferentes maneiras de modelagem dos fenômenos geográficos.

As classes CAMPO GEOGRÁFICO e OBJETO GEOGRÁFICO especializam a classe FENÔMENOGEOGRÁFICO, permitindo ao projetista especificar, de forma distinta, porém integrada, os campos e os objetos geográficos, respectivamente.

A classe abstrata OBJETO GEOGRÁFICO é uma generalização de todas as classes do domínio que são percebidas na visão de objetos. Neste caso, estão incluídas aquelas classes que representam fenômenos geográficos que podem ser individualizados, ou seja,

que possuem identidade própria e suas características podem ser descritas através de atributos.

A classe abstrata CAMPOGEOGRÁFICO generaliza os fenômenos que se enquadram na visão de campo.

Campos geográficos são modelados como funções sobre uma variável. Com base nesta definição, um campo geográfico pode ser modelado conceitualmente como subclasse de CAMPOGEOGRÁFICO. Alguns tipos de campos geográficos, os chamados categóricos, possuem uma associação especial com uma classe que representa a imagem da função de mapeamento do campo, uma subclasse de OBJETOGEOGRAFICO (LISBOA FILHO, 2001).

Objeto espacial é uma classe abstrata cujas subclasses formam o conjunto mínimo de construtores para a especificação do componente espacial dos fenômenos geográficos na visão de objetos. Alguns fenômenos geográficos podem apresentar dimensão espacial complexa, ou seja, composta por outros objetos espaciais (ex.: um arquipélago) (LISBOA FILHO, 2001).

Assim, a classe OBJETOESPACIAL possui as subclasses PONTO, LINHA, POLÍGONO e OBJESPACIALCOMPLEXO, que constituem o conjunto mínimo de classes necessárias para a fase do projeto conceitual (LISBOA FILHO, 2001).

Os aspectos espaciais de um campo geográfico são abstraídos de forma diferente daqueles de um objeto geográfico. Para especificação do componente espacial de um campo geográfico são usadas as subclasses da classe REPRESENTAÇÃOCAMPO. São elas: GRADECÉLULAS, POLADJACENTES, ISOLINHAS, GRADEPONTOS, TIN e PONTOSIRREGULARES (LISBOA FILHO, 2001).

Um mesmo campo geográfico pode ter seu componente espacial abstraído de diferentes formas, ou seja, através de mais de um desses modelos. Por exemplo, o campo temperatura pode ser abstraído por meio de um conjunto de pontos irregularmente distribuídos ou por meio de isolinhas.

Problema semelhante ocorre com os objetos geográficos cujos componentes espaciais podem ser percebidos, ora por formas alternativas, ora por formas duplas, dependendo de aspectos como a escala com a qual se pretende capturar a forma espacial de cada fenômeno. A possibilidade de haver múltiplas representações é sinalizada no

GeoFrame, através das associações (1:n), denominadas representa (LISBOA FILHO, 2001).

5.3.2 Processo de modelagem UML-GeoFrame

A abordagem UML-GeoFrame permite a solução da maioria dos requisitos de modelagem. Um esquema conceitual de dados geográficos, construído com base no GeoFrame, inclui, por exemplo, a modelagem dos aspectos espaciais da informação geográfica e a diferenciação entre objetos convencionais e objetos/campos geográficos.

O processo de modelagem com base na abordagem UML-GeoFrame envolve três etapas (LISBOA FILHO, 2001):

- Passo 1: identificar temas e subtemas para cada área geográfica;
- Passo 2: para cada tema, elaborar o subdiagrama de classes; associar classes de diferentes temas;
- Passo 3: modelar o componente espacial para cada fenômeno geográfico identificado.

A seguir, cada passo é apresentado com mais detalhes, baseando-se em LISBOA FILHO (2001).

Passo 1 – Identificar temas por região geográfica: Uma das primeiras atividades a ser realizada, no desenvolvimento de uma nova aplicação de SIG, é a escolha da área geográfica para a qual os dados serão coletados e analisados.

A seguir, partindo-se dos objetivos iniciais da nova aplicação, deve ser feita a identificação dos principais temas para os quais os dados serão coletados e mantidos no banco de dados geográfico.

Na abordagem UML-GeoFrame, temas são representados através do construtor Pacote da linguagem UML. Os diversos temas identificados na aplicação são modelados

através da elaboração de um diagrama hierárquico de temas para cada região geográfica da aplicação.

Passo 2 - Construir diagramas de classes por tema: A partir da análise dos requisitos da aplicação, um diagrama de classes deve ser elaborado para cada tema especificado. Com base no diagrama de classes do *framework* GeoFrame, as classes da aplicação devem ser modeladas como subclasses de uma das classes OBJETO GEOGRÁFICO, CAMPO GEOGRÁFICO ou OBJETO NÃO GEOGRÁFICO.

O problema que ocorre é o surgimento de um grande número de relacionamentos de especialização entre as diversas classes da aplicação e estas três classes do GeoFrame. A solução proposta pela abordagem UML-GeoFrame é a substituição destes relacionamentos de especialização por estereótipos.

O primeiro conjunto de estereótipos (fenômeno geográfico e objeto convencional) é usado para diferenciar os dois principais tipos de objetos pertencentes a um banco de dados geográficos.

Passo 3 – Modelar o componente espacial dos fenômenos geográficos: O terceiro passo, que pode ser executado simultaneamente ao segundo, implica a especificação dos possíveis tipos de representação espacial dos fenômenos geográficos. De acordo com o diagrama de classes do GeoFrame, o componente espacial dos campos e objetos geográficos é modelado através de associações entre as classes da aplicação e as subclasses de REPRESENTAÇÃO CAMPO e OBJETO ESPACIAL, respectivamente. Novamente, a fim de evitar a poluição visual do diagrama de classes, estas associações são substituídas por estereótipos.

O segundo e o terceiro conjuntos de estereótipos são usados para a modelagem do componente espacial de fenômenos, segundo as visões de objeto e de campo, respectivamente. A existência de múltiplas representações é modelada através da combinação de dois ou mais estereótipos em uma mesma classe. Por exemplo, uma classe município pode ter duas formas de abstração de seu componente espacial, pontual e/ou poligonal, o que é especificado pelo par de estereótipos.

Por último, o estereótipo <<função>> é usado para caracterizar um tipo especial de associação que ocorre quando da modelagem de campos categóricos. Segundo Chrisman (1997), em uma estrutura de cobertura categórica, o espaço é classificado em categorias

mutuamente exclusivas, ou seja, uma variável possui um valor do tipo categoria em todos os pontos dentro de uma região (ex.: tipos de solos).

5.4 PROJETO LÓGICO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

As mesmas regras de transformação de esquema conceitual em esquema lógico, apresentadas anteriormente, podem ser aplicadas, também, em banco de dados geográficos. No entanto, estas regras não são suficientes, devido à necessidade de transformação do componente espacial dos fenômenos geográficos.

Ao contrário dos SGBD relacionais, que têm como base um modelo bem definido, os *softwares* de SIG não possuem um modelo de dados único, ou seja, cada SIG tem seu próprio modelo lógico e suas próprias estruturas de armazenamento. Isto faz com que não exista um conjunto único de regras de transformação para bancos de dados geográficos.

O consórcio *Open GIS_Open Gis* (Consortion - OGC), fundado em 1994 por fornecedores de *software*, companhias de telecomunicações, universidades, órgãos governamentais, entre outros, é uma organização internacional, que está criando novas padronizações técnicas e comerciais para garantir interoperabilidade em SIG (BUEHLER; MCKEE, [1999]). O consórcio busca criar uma especificação de *software* e novas estratégias empresariais, a fim de tornar os sistemas de geoprocessamento abertos e integrar os dados geográficos e as operações necessárias para manipular esses dados.

Nesta seção, é apresentado um conjunto genérico de diretrizes para transformação de esquemas conceituais, elaborados segundo a abordagem UML-GeoFrame, para um esquema lógico espaço-relacional, encontrado na maioria dos SIG que são construídos segundo uma arquitetura dual.

Normalmente, em uma visão simplificada, pode-se dizer que os SIG organizam os dados descritivos em SGBD relacionais e os dados espaciais através de um conjunto de camadas, também denominadas de *layer*, cobertura ou plano de informação, dependendo do *software* de SIG em questão. Assim, um esquema conceitual UML-GeoFrame deve ser

transformado em um conjunto de tabelas com os dados descritivos e um conjunto de camadas com os dados geoespaciais (LISBOA FILHO, 2001).

Inicialmente, as regras apresentadas para transformação de esquemas E-R em esquemas relacionais devem ser aplicadas para a transformação de classes e associações em tabelas. A seguir, são apresentadas as diretrizes para as diversas possibilidades de transformação do componente espacial dos fenômenos geográficos.

5.4.1 Transformando objetos geográficos

Existem duas possibilidades para transformar o componente espacial das classes da aplicação modeladas como subclasses da classe OBJETO GEOGRÁFICO, do GeoFrame. A primeira é a transformação mais comum, na qual o objeto geográfico possui atributos descritivos e representação espacial. Neste caso, os atributos descritivos são transformados em colunas de uma tabela correspondente no SGBD, enquanto cada tipo de representação espacial dá origem a uma camada (ou *layer*) que contém a forma, a localização e, em alguns casos, os relacionamentos espaciais dos fenômenos geográficos representados pelas instâncias da classe sendo transformada (LISBOA FILHO, 2001).

É importante observar que uma camada no nível lógico pode vir a ser implementada através de múltiplas camadas físicas, dependendo do tipo de estrutura de dados utilizada no SIG em questão. Em um SIG como o MGE da Intergraph, além das camadas para armazenamento das formas poligonais e pontuais, seria adicionada uma outra, específica, para armazenar a localização da toponímia, ou seja, do texto formatado contendo o nome dos municípios.

A segunda possibilidade de transformação é quando o objeto geográfico não possui atributos descritivos, mas apenas representação espacial. Neste caso, há, apenas, componente espacial para ser transformado – e é idêntico ao caso anterior.

A transformação de objetos não geográficos, ou seja, aqueles que possuem apenas atributos descritivos, é feita de forma idêntica à transformação de entidades.

A transformação de campos geográficos, na maioria das vezes, é feita por meio da escolha de representação espacial para o campo que está sendo transformado.

Alguns campos geográficos, no entanto, podem estar diretamente relacionados a algum tipo de legenda. Na abordagem UML-GeoFrame, este tipo de associação é feita através de um estereótipo especial identificado por <<função>>.

Em alguns SIG, a tabela associada a este tipo de campo geográfico pode não estar necessariamente armazenada no SGBD, mas sim, mantida junto com a estrutura dos dados espaciais.

Um aspecto importante a ser observado é a diferença existente entre o nível de abstração em que os fenômenos geográficos são classificados nas visões de campo e de objetos e o nível de abstração mais baixo, no qual as estruturas de dados são classificadas como sendo vetoriais ou matriciais (*raster*). Este mesmo campo geográfico poderia ter sido transformado para uma estrutura de dados matricial, onde cada célula estaria associada a um determinado tipo de solo.

Da mesma forma, o componente espacial de um fenômeno geográfico percebido na visão de objetos (ex.: estados brasileiros) pode ser transformado em uma camada física implementada tanto em uma estrutura de dados matricial como em uma estrutura de dados vetorial (com ou sem topologia).

5.5 ARMAZENAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Uma estratégia comumente utilizada para descrever sistemas computacionais consiste em dividi-los em camadas funcionalmente cada vez mais complexas e, ortogonalmente, em sistemas especializados em determinada tarefa ou em certo tipo de dado.

A primeira camada distingue as questões de visualização dos problemas de manipulação e corresponde ao nível conceitual do modelo. A segunda é relativa ao nível de representação do modelo. A terceira camada engloba os subsistemas que oferecem serviços de armazenamento e manipulação para atributos convencionais, representações matriciais e representações vetoriais.

A arquitetura baseada em camadas pode ser implementada de diversas formas, entre as mais simples estão a Estratégia Dual e a Estratégia Baseada em Campos Longos.

- Estratégia Dual: Um SIG implementado segundo a estratégia dual utiliza um SGBD para armazenar em tabelas a componente convencional de todos os objetos, e arquivos normais para a componente espacial dos objetos.
- Estratégia Baseada em Campos Longos: baseia-se no uso de SGBDs relacionais, com suporte a campos longos, nos quais são armazenadas as componentes espaciais do objeto; em outras palavras, tanto os subsistemas para a manipulação e armazenamento dos atributos convencionais quanto subsistemas para armazenamento matricial e vetorial.

5.5.1 Armazenamento de representações matriciais

O método de armazenamento mais simples consiste em armazenar, nas páginas físicas em memória secundária, uma linha após a outra, ou uma coluna após a outra. Não é apropriado quando a operação exigir visitar elementos em uma ordem que não seja aquela usada no armazenamento, ou visitar um elemento e seus vizinhos em ambas as direções, ou mesmo recuperar os elementos da matriz coberta por uma janela definida por um intervalo de índices em cada dimensão (MACHRY; ORSSATTO, 2005).

No entanto, é possível minimizar os problemas decorrentes desse método através de um processo de armazenamento que divide cada linha, ou coluna, em segmentos de comprimento fixo, submúltiplo do tamanho da linha, e que permita transferir tais segmentos da memória secundária para a memória principal e vice-versa.

Outro método de armazenamento consiste em dividir cada matriz em pequenos blocos, armazenados, sequencialmente, em memória secundária segundo alguma ordem.

Em todos esses métodos, dado um elemento ou janela de elementos, é possível identificar os segmentos – ou blocos envolvidos – e capturar diretamente as páginas físicas em memória secundária que os contêm.

5.5.2 Armazenamento de indexação de representações vetoriais

Nesta subseção, serão tratados o armazenamento e a indexação espacial de conjuntos de pontos, retângulos, linhas e regiões definidos em R^2 , baseando-se em Machry e Orssatto (2005).

Pontos - Para o armazenamento e indexação de pontos são descritos, a seguir, dois métodos conhecidos como arquivos em grade e as árvores KD.

No método conhecido como arquivos em grade, uma grade particiona a região de interesse em células, através de retas paralelas aos eixos espaçadas de forma irregular. Um arquivo em grade consiste de duas escalas – uma para cada eixo – e um diretório. A escala associada ao eixo X é uma lista contendo as abscissas em que as retas paralelas ao eixo Y cruzam o eixo X (e similarmente para outra escala). O diretório é uma matriz bidimensional, com as mesmas dimensões da grade, tal que cada elemento do diretório corresponde a uma célula e aponta para a página física (ou *bucket*), que contém todas as coordenadas dos pontos localizados na célula.

Vários elementos podem indicar uma mesma página física. As escalas – e o próprio diretório –, se forem estruturas de dados pequenas, poderão residir em memória principal; caso contrário, deverão, por sua vez, ser paginados.

Uma árvore KD particiona, também, o espaço de células, mas de forma diferente dos arquivos em grade. Tal estrutura é uma árvore de busca binária, residindo em memória principal, tal que os nós interiores em cada nível contêm valores referentes a um único eixo, X ou Y, alternadamente, e as folhas apontam para páginas físicas. Várias folhas podem apontar para a mesma página física. Assim, o valor armazenado na raiz divide o espaço em dois subespaços, através de uma reta perpendicular ao eixo dos X. Exemplifique-se: o valor armazenado no filho à esquerda (ou direita), por sua vez, divide o subespaço à esquerda (ou direita) em dois subespaços através de uma reta perpendicular ao eixo dos Y; e assim por diante, alternando as dimensões. O processo de subdivisão para quando a célula contém um conjunto de pontos que possa ser armazenado em uma única página física.

Retângulos - Para o armazenamento de retângulos, o enfoque mais usual utiliza a noção de retângulo envolvente. O retângulo envolvente mínimo (r.e.m.) de um conjunto de

objetos no R2 é o menor retângulo com lados paralelos aos eixos X e Y que contém todos os objetos no conjunto.

O melhor exemplo deste enfoque são as árvores-R, que são uma estrutura de dados hierárquica derivada da árvore-B. As diferenças estão centradas na natureza das chaves: valores numéricos ou alfanuméricos simples, no caso das árvores-B, e pontos extremos de retângulos, no caso das árvores-R. A árvore-R possui parâmetros para determinar a quantidade de chaves (retângulos) que poderão ocorrer em cada bloco de armazenamento, analogamente à árvore-B, em função do tamanho da página de armazenamento em disco. Todas as folhas aparecem sempre no mesmo nível da árvore. Nós internos contêm a delimitação de retângulos que englobam todos os retângulos dos nós nos níveis inferiores. Uma árvore-R de ordem (m, M) conterà entre m e M entradas em cada nó da árvore ($m < M / 2$), exceto a raiz, que terá pelo menos dois nós (a menos que a árvore só tenha uma entrada). Pesquisas na árvore-R são relativamente simples de serem executadas. O único problema é que um grande número de nós pode ter que ser examinado, pois um retângulo pode estar contido em vários outros, mesmo que o objeto esteja contido em apenas um nó-folha. Existem diversas variações das árvores-R, cada uma tentando aperfeiçoar um aspecto diferente. No entanto, muitas vezes, estas variações introduzem desvantagens, ou uma maior complexidade de implementação, fazendo com que a árvore-R original acabe sendo a opção mais usual.

Linhas - O armazenamento e indexação espacial de conjuntos e linhas podem ser abordados adaptando-se os métodos utilizados para pontos e retângulos. Dado um conjunto de linhas, esta estratégia consiste em aproximar cada linha pelo seu retângulo envolvente mínimo e utilizar o método discutido anteriormente para armazenar e acessar os retângulos assim gerados. Por exemplo, adotando-se árvores-R, cada folha passa a conter como entradas um apontador para uma linha e seu retângulo envolvente mínimo.

Polígonos - O armazenamento e indexação de polígonos podem ser tratados de forma simplista, como um caso particular do tratamento de linhas. Baseia-se no uso de aproximações para a geometria dos polígonos e na sua decomposição em polígonos simples. Para que uma aproximação da geometria de um polígono seja útil ao processamento de consultas, ela deve ser conservativa, ou seja, deve conter completamente o polígono. Decompô-lo significa dividi-lo em vários componentes simples - triângulos,

trapézios, e outros -, de tal forma que, durante o processamento de uma consulta espacial, apenas um pequeno número destes componentes precise ser examinado. Assim, cada polígono sofre, inicialmente, uma decomposição em elementos geométricos mais simples, que são armazenados através de um método apropriado.

O método de decomposição por grades combina diretamente as ideias de aproximação e decomposição. Considere o espaço dividido hierarquicamente em células regulares. Cada polígono é aproximado pelo menor conjunto de células, de qualquer nível, que cobre completamente o polígono, até certo nível de subdivisão definido pela precisão desejada. Os endereços das células assim obtidas formam um conjunto de z-elementos associado ao polígono. Um conjunto de polígonos é, então, representado por um conjunto de conjuntos de z-elementos, armazenados em um índice convencional, como por exemplo, em uma árvore-B.

5.6 OPERAÇÕES SOBRE OS DADOS GEOGRÁFICOS

O que se espera de um sistema de informação geográfico quanto a operações sobre os dados tende a variar conforme a função, área de aplicação e do tipo de usuário. Frente a isso, diversas são as alternativas para categorizar as operações de um SIG. As operações em banco de dados geográficos podem ser agrupadas segundo as classes dos objetos envolvidos, sejam eles geocampos, geo-objetos ou ambos. Porém, não será apresentada uma série ilimitada de operações, mas, sim, se fará uma análise a respeito das classes dos objetos envolvidos nas operações (MACHRY; ORSSATTO, 2005).

5.6.1 Operações sobre geo-objetos

Para operações em geo-objetos deve-se considerar como eles estão representados, pois um mesmo objeto pode ser representado por um ponto, ou por uma área, dependendo do nível de representação que se deseja e, conseqüentemente, as operações a serem aplicadas sobre um ponto ou uma área são distintas. Desta forma, para se efetuar operações

de construção e atualização sobre os geo-objetos, há a necessidade de operações sobre os relacionamentos que os representam.

Desta forma, existem diversos tipos de relacionamentos espaciais entre estes geo-objetos, que podem ser direcionados, topológicos ou métricos. Os direcionados são os relacionamentos que indicam a direção de um objeto em relação ao outro, como por exemplo, se um objeto está acima ou abaixo de outro. Ou seja, um relacionamento direcional sempre necessita de um ponto de referência. Por outro lado, os relacionamentos topológicos também necessitam de dois objetos e representa a relação que existe entre eles, como por exemplo, contido ou adjacente. As relações topológicas são invariantes a transformações de escala, translação ou rotação, pois a referência é outro objeto que se movimenta com o conjunto. E, por fim, há as relações métricas, que derivam das operações de distância e direção. Elas também são operações que necessitam de uma referência.

Vários seriam os relacionamentos e funções admitidas no que diz respeito a relacionamentos, porém alguns muito complexos e que só aumentariam a complexidade do sistema. Desta forma, determina-se relacionamentos mais simples que, em sua combinação, podem formar relacionamentos mais complexos.

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas tem se tornado, a cada dia, mais frequente, o que impulsiona os estudos na área de gerenciamento dos dados geográficos.

Um banco de dados bem modelado e, conseqüentemente, organizado, possibilita otimizar a extração de informações de forma ótima, gerando o conhecimento necessário para diferentes aplicações. Não se justifica o investimento em uma grande base de dados da qual não se possa retirar as informações esperadas, ou seja, dados desorganizados não geram o conhecimento necessário (MACHRY; ORSSATTO, 2005).

Por esse motivo, criou-se uma demanda na organização dos dados na ergonomia, visto que em seu escopo há uma enorme massa de dados oriundos de diversas fontes sem um padrão definido.

6 METODOLOGIA PROPOSTA

6.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para construção de uma nova forma de atuação do ergonomista no projeto ergonômico, integrando dados ergonômicos. Nesta abordagem os dados são georreferenciados, proporcionando ao projeto ergonômico uma análise integrada e uma visualização mais eficiente dos problemas no momento em que se considera o espaço.

Este capítulo apresenta de que maneira esta metodologia foi desenvolvida e como será feita esta aplicação. A criação de um banco de dados, para armazenamento dos dados e posterior exportação destes para plataforma de sistema de informação geográfica visa à captura e recuperação destes dados. Com isso, a melhoria da qualidade das informações, proporcionando melhor gerenciamento, organização e rapidez na execução do projeto.

6.2 ETAPAS DA METODOLOGIA

Para criação desta metodologia objetivando a construção de uma nova forma de atuação do ergonomista, integrando dados ergonômicos e dados georreferenciados, foram propostas as seguintes etapas:

- Identificação da situação do projeto: Descreve a área analisada, informando as funções das unidades de negócios e os serviços.
- Identificação dos problemas existentes no ambiente: Tem como objetivo revelar os principais problemas, causas, enquadramento legal e normativo.
- Relação das melhorias sugeridas: Classificam as providências recomendadas, treinamentos sugeridos e projetos indicados.
- Exportação do banco de dados para plataforma SIG: Nesta etapa o banco de dados foi migrado para o ambiente SIG.

6.2.1 Identificação da situação do projeto

A primeira etapa da pesquisa iniciou-se com a caracterização da situação do projeto, ou seja, identificação dos dados do projeto, sendo feito através da alimentação da tabela principal - Projeto. Esta primeira etapa reúne informações a respeito do projeto, tendo a função de deixar claro quem é o cliente e o serviço que o mesmo exerce.

Para realizar este processo de caracterização do projeto foram criadas as tabelas, que de uma forma objetiva definem o cliente.

Os dados inseridos nesta tabela informam quem é o cliente em questão, retratando o perfil do mesmo. Os seguintes campos foram preenchidos, objetivando a caracterização do cliente: Código do Município onde está localizado o projeto, Nome da empresa na qual será realizado o projeto, Código organismo, Código natureza, Código tipo, Código cliente. Para o Código município foi utilizado a numeração oficial do IBGE e exportado para o banco de dados.

Os desenhos do banco de dados foi estruturado de forma que produziu a necessidade da criação de 02 (duas) tabelas. As mesmas foram denominadas de: tabela principal e tabela secundária.

Na estruturação da modelagem de dados foi necessária à utilização de tabelas secundárias para associação com cada item da tabela principal, como podemos observar abaixo.

Na tabela principal (Tabela 1) são informados os códigos que estão associados à tabela secundária apresentando apenas o código referente aquele campo específico. A tabela secundária (Tabelas 2 a 6) possui toda gama de informações possíveis para um determinado campo da tabela principal, que compõem o banco de dados. Estas opções possíveis são as possibilidades pensadas para este projeto, porém nada impede que para outro projeto sejam inseridos novos campos com outras possibilidades.

A tabela principal apresenta apenas códigos, que estão associados a tabela secundária. Os seguintes campos foram criados visando a definição do projeto.

Tabela 1 – Tabela principal: identificação da situação do projeto

Código	CodMunic	Nome	Codorganismo	Codnatureza	Codtipo	Codcliente
1	<u>3304557</u>	Laboratório de análise ambiental	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>1</u>

Tabela 2 – Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto município

MUNICDV	Nomemunip	POPULACAO	AREA97	LONGITUDE	LATITUDE	SEDE
5007208	RIO BRILHANTE	18660	3987,52	-54,54	-21,8	S
3154903	RIO CASCA	14940	384,18	-42,65	-20,22	S
3543907	RIO CLARO	153389	498,67	-47,56	-22,41	S
1100262	RIO CRESPO	4081	1722,81	-62,9	-9,7	S
4214409	RIO DAS ANTAS	5814	342,75	-51,07	-26,89	S
3304508	RIO DAS FLORES	6365	477,74	-43,58	-22,16	S
3304524	RIO DAS OSTRAS	28106	229,73	-41,94	-22,52	S
3544004	RIO DAS PEDRAS	22265	226,92	-47,6	-22,84	S
<u>3304557</u>	<u>RIO DE JANEIRO</u>	<u>5551538</u>	<u>1261,08</u>	<u>-43,2</u>	<u>-22,9</u>	<u>n</u>

Tabela 3 - Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto organismo

Código	Codorganismo
1	Empresas privadas
2	Soc econ mista
<u>3</u>	<u>Empresa pública</u>
4	Autarquias
5	Fundação pública
6	Fundação privada

Tabela 4 - Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto natureza

Código	Codnatureza
1	Administrativa
2	Social
3	Educativa
<u>4</u>	<u>Ambiental</u>
5	Saúde
6	Econômica
7	Agrícola
8	Cultural
9	Jurídica
10	Industrial
11	Esportiva

Tabela 5 - Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto tipo

Código	Codtipo
1	Hospital
2	Escola
3	Universidade
<u>4</u>	<u>Laboratório</u>
5	Escritório
6	Banco
7	Loja
8	Posto de gasolina
9	Agência de turismo
10	Shopping
11	Estádio
12	Clube

Tabela 6 - Tabela secundária: itens relacionados ao aspecto cliente

Código	Nome	CNPJ	Endereço	Número	Telefone	Inscrição
<u>1</u>	<u>Laboratório Ambiental</u>	<u>33.663.683/0055-09</u>	<u>Av. 6</u>	<u>S/N</u>	<u>(21) 2562-8564</u>	<u>00.000.000/0000-00</u>

A caracterização da situação do projeto consiste em uma descrição da área analisada, estabelecendo-se suas funções no contexto das unidades de negócios ou serviços e a partir da qual as tarefas podem ser mais bem compreendidas. A caracterização tem a função de fazer uma apreciação nas unidades de negócios ou serviço com estrutura diversificada. A Figura 2 esquematiza a 1ª etapa da pesquisa.

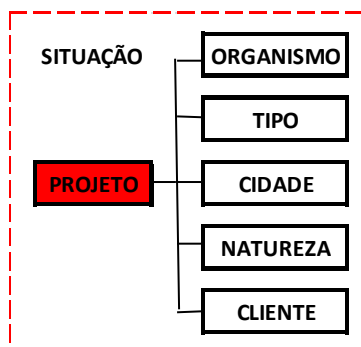


Figura 2 - 1ª Etapa – Identificação dos dados para caracterização do projeto

6.2.2 Identificação dos problemas existentes no ambiente

Nesta etapa foi realizada uma investigação na empresa, através da qual foi possível observar os erros cometidos e os motivos, pelos quais a empresa não se encontra em conformidade com o previsto. A abordagem permite revelar as disfunções encontradas e o esforço dos trabalhadores em suprir estas deficiências. Esta etapa foi realizada através de um processo de observação e entrevistas com os trabalhadores. Seguindo o mesmo modelo da fase anterior foram criadas a tabela principal e as tabelas secundárias.

Na tabela principal aparecem apenas os códigos, que estão associados as informações contidas na tabela secundária.

Esta etapa identifica no projeto em questão os impactos, as causas e diante disso definir o enquadramento legal e normativo.

Os seguintes campos foram criados para identificação dos problemas: posturas adotadas, mobiliário, causas biomecânicas, causas ambientais, causas antropométricas, causas organizacionais, referências normativas e referências empíricas.

Os campos inseridos foram definidos e baseados na NR-17.

A seguir podemos visualizar a tabela principal (Tabelas 7) e as tabelas secundárias. (Tabelas 8 a 15)

Tabela 7 - Tabela principal: problemas evidenciando os impactos e as causas

Código	CodPostadotadas	CodMobiliário	Codbiomecânicas	Codcausasamb
1	1	1	1	1
2	3	2	2	2
3	4	3	3	4
4	5	5	-	6
5	7	7	-	8

Codantropométricas	Codorganizacionais	Codrefnormativas	Codrefempíricas
1	3	1	1
2	4	14	-
4	8	-	-
7	9	-	-
8	10	-	-

Tabela 8 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável postura adotada

Código	Codpostadotadas
1	Elevação dos ombros
2	Flexão com torção ou inclinação lateral da cabeça
3	Inclinação lateral da cabeça
4	Posturas extremas dos cotovelos como a flexão
5	Desvios dos punhos como a flexão
6	Desvios radiais e cubitais extremos
7	Movimentos repetitivos

Tabela 9 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável mobiliário

Código	Codmobiliário
1	Altura das mesas e superfícies não compatíveis com a atividade
2	Área de trabalho de difícil alcance e visualização
3	Dimensões que não possibilitam mov adequados dos seg corporais
4	Pedais de difícil alcance e sem ângulos adequados para o corpo
5	Assentos sem altura ajustável
6	Pouca ou nenhuma conformação na base do assento
7	Borda frontal não arredondada
8	Encosto sem proteção para região lombar
9	Falta de suporte para os pés
10	Falta de assentos para descanso nas pausas

Tabela 10 - Tabela secundária: requisitos da variável biomecânicas do trabalhador

Codigo	Codbiomecânicas
1	Esforço
2	Repetitividade
3	Posturas

Tabela 11 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável ambiente

Código	Codambientais
1	Espaço
2	Temperatura
3	Acústica
4	Luminosidade
5	Vibração
6	Qualidade do ar
7	Veloc. do ar
8	Umidade rel. do ar

Tabela 12 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável ambiente antropometria

Código	Codantropométricas
1	Altura e caract da superfície
2	Área de trabalho
3	Posição e mov dos seg corporais
4	Altura ajustável dos assentos
5	Conformação na base do assento
6	Bordas dos assentos
7	Encosto para região lombar
8	Suporte para os pés
9	Suporte para documentos
10	Documentos legíveis
11	Condições de mobilidade
12	Teclado independente

Tabela 13 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável organizacional

Código	Codorganizacional
1	Normas de produção
2	Modo operatório
3	Exigência de tempo
4	Ritmo de trabalho
5	Tipo de tarefas
6	Estrutura das comunicações
7	Arranjo físico das maquinas e sistemas de produção
8	Métodos e procedimentos do trabalho
9	Modalidades de execução do trabalho
10	Modalidades de tomadas de decisão

Tabela 14 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável referências normativas

Código	Codrefnormativas
1	Lei estadual de prevenção às doenças e critérios de defesa da saúde dos trabalhadores
2	ISO 9241-11:1998.
3	ISO 9241-12:1998.
4	NR 01
5	NR 03
6	NR 04
7	NR 05
8	NR 07
9	NR 08
10	NR 09
11	NR 12
12	NR 15
13	NR 16
14	NR 17
15	NR 32
16	Decreto-Lei nº 247/1989
17	Despacho normativo nº1999/1990
18	Decreto-Lei nº 349/1993
19	Resolução do conselho dos ministros 1997/1999

Tabela 15 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável referências empíricas

Código	Codrefempíricas
1	Experiências vividas em outras situações

O impacto visa à identificação dos principais problemas em uma situação de trabalho. São revelados os impactos mais nítidos e registráveis, utilizando-se, basicamente, técnicas de fotografia e videografia especialmente desenvolvidas para a apreciação ergonômica. No intuito de aperfeiçoar o diagnóstico, o ergonomista utiliza métodos como a ação conversacional.

A análise das causas se volta, preferencialmente, ao ambiente físico, como causas ambientais, antropométricas, biomecânicas e organizacional – a primeira, analisa os dados

de riscos ambientais; a segunda, refere-se ao dimensionamento dos postos de trabalho; a terceira, diz respeito a posturas e, a última, relativa às normas de produção.

Para o enquadramento normativo, os relatórios de campo são elaborados de forma a classificar as anotações realizadas em categorias gerais de problemas que possibilitem a formação de um caderno de encargos referentes às melhorias possíveis nas áreas apreciadas.

A identificação dos problemas tem a função de fazer uma análise dos problemas, das causas e enquadrar estes problemas em referências normativas e empíricas. A Figura 3 demonstra através deste esquema a 2ª etapa da pesquisa.

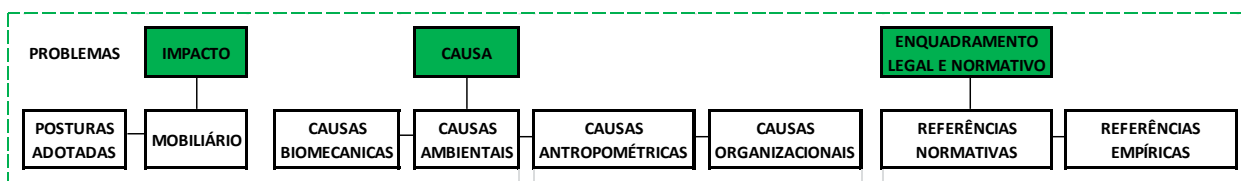


Figura 3 - 2ª Etapa – Identificação dos problemas existentes no ambiente

6.2.3 Relação das melhorias sugeridas

Esta etapa apresenta as sugestões de melhorias e providências, que após visita a empresa, na qual foram percorridos todos os setores e entrevistados diversos trabalhadores, com o objetivo de entender a função e a necessidade de melhoria de cada um. Na tabela principal (Tabela 16) foram inseridos os seguintes campos: Código providências recomendadas, Código treinamentos sugeridos e Código projetos indicados. Na tabela principal foram inseridos apenas os códigos associados à informação contida na tabela secundária. (Tabelas 17 a 19)

Tabela 16 - Tabela principal: problemas evidenciando as melhorias e providências

Código	Codprovidrecomendadas	Codtreinamensugeridos	Codprojetosindicados
1	1	1	1
2	2	-	2
3	3	-	-
4	4	-	-
5	5	-	-
6	6	-	-
7	8	-	-
8	11	-	-

Tabela 17 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável providências recomendadas

Código	Codprovrecomendadas
1	Revisão do sistema de climatização da área
2	Providenciar apoio para os pés
3	Aquisição de suporte de monitor regulável
4	Providenciar suporte para documentos
5	Rever o projeto de iluminação do ambiente
6	Remanejar interruptores que apresentam alt. inadequada
7	Promover local apropriado para guarda de objetos
8	Elaborar novo <i>layout</i>, repensar a ocupação do espaço
9	Ajuste da temperatura referenciada pelas normas para ambientes de trabalhador
10	Aquisição de armário, destinado a guardar objetos pessoais e pastas
11	Disponibilizar dispositivos apropriados para fixação dos fios
12	Reparo da base estrutural do mobiliário
13	Manutenção ou substituição do mobiliário danificado

Tabela 18 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável treinamentos sugeridos

Código	Codtreinamentossugeridos
1	Treinamentos para conscientização e consequente aplic das regulagens do mob. e equip. dos postos de trabalho

Tabela 19 - Tabela secundária: requisitos a observar na variável projetos indicados

Código	Codprojindicados
1	Elaboração do novo layout para o laboratório
2	Treinamento regulagens do mobiliário e equipamentos do popsto de trabalho

Os dados coletados nesta fase são originados de um eficiente trabalho de apoio, em que é examinado todo quadro legal, normativo e padrões ou boas práticas apontadas para o setor apreciado preliminarmente pela equipe de campo.

O documento com as oportunidades de melhoria se relaciona a cada impacto assinalado e à análise das respectivas causas. As oportunidades de melhoria classificam-se em providências recomendadas, treinamentos sugeridos e projetos indicados. A Figura 4 esquematiza a 3ª etapa da pesquisa.

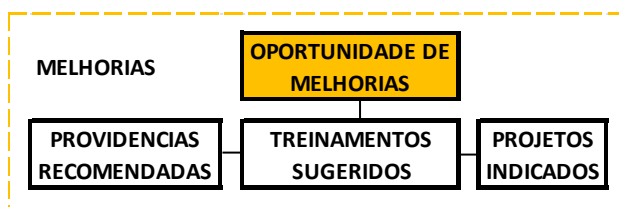


Figura 4 - 3ª Etapa – Relação das melhorias sugeridas

6.2.4 Exportação do banco de dados para plataforma SIG

Esta etapa se refere à migração do banco de dados para o ambiente SIG. A Figura 5 esquematiza a 4ª etapa da pesquisa.

Para migração do banco de dados, adotou-se o levantamento e captura de todos os dados envolvidos em um projeto ergonômico, tanto em meio digital quanto em analógico (dados em papel). Os dados analógicos utilizados foram aqueles que possibilitaram a recuperação e a transição das informações em meio digital no padrão para o banco de dados em ambiente SIG. O exemplo desta migração pode ser observado na Figura 6.

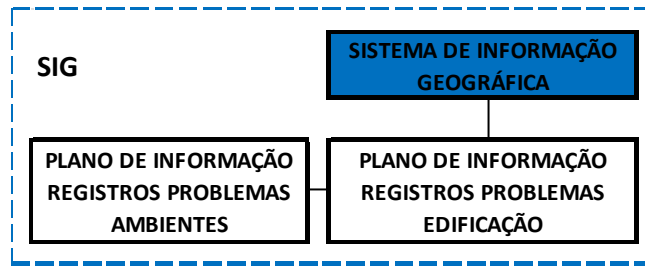


Figura 5 - 4ª Etapa – Exportação do banco de dados para plataforma SIG

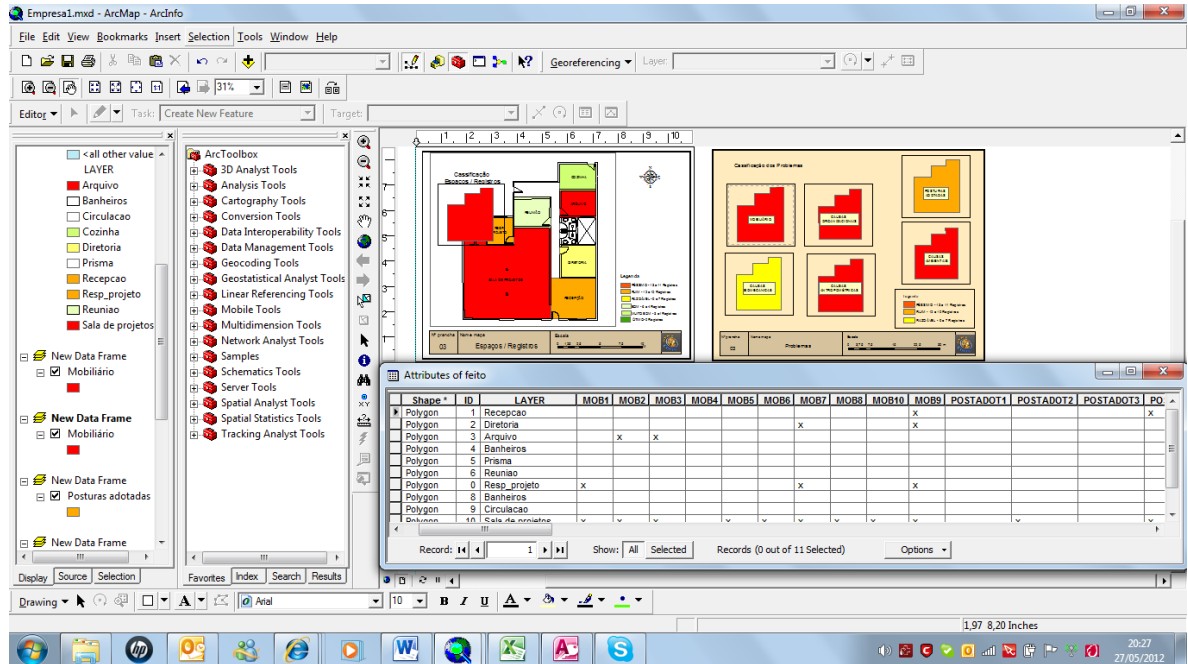


Figura 6 - Exemplo da migração do BD para o SIG

6.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização da pesquisa foi utilizada a base cartográfica 1:50.000 disponibilizada pelo IBGE e georeferenciadas no sistema UTM com DATUM SAD 69. Tais bases foram trabalhadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGIS 9.3 no módulo de operações ArcMap, pois permite a produção de mapas com alta qualidade gráfica, tem uma visualização agradável e possibilita ao usuário expressar as informações relevantes de forma amigável, possuindo um modelo de bancos de dados relacional.

A definição da formatação de dados a ser seguida, determinou qual a melhor forma de representar, em único documento, informações utilizadas pelos ergonomistas, coletadas ao longo do projeto e por vários profissionais. Foram escolhidas as informações que deveriam ser transcritas pelo banco de dados.

Para padronizar os dados digitais e os analógicos, foi necessário separá-los em grupos: dados digitais e analógicos.

Dados digitais

Os dados digitais foram padronizados da seguinte forma: os dados que estavam em meio digital foram analisados e separados por tipos: vetoriais, tabulares e *raster*.

- Dados Vetoriais

As feições geométricas (ponto, linha e polígono), utilizadas para representação dos elementos (Figura 7), foram exportadas para o ArcGis, integrando o projeto na plataforma SIG. Estes dados foram exportados para o ArcGis do *Computer Aided Design (CAD)*.

- Planta de localização do laboratório ambiental
- Planta baixa

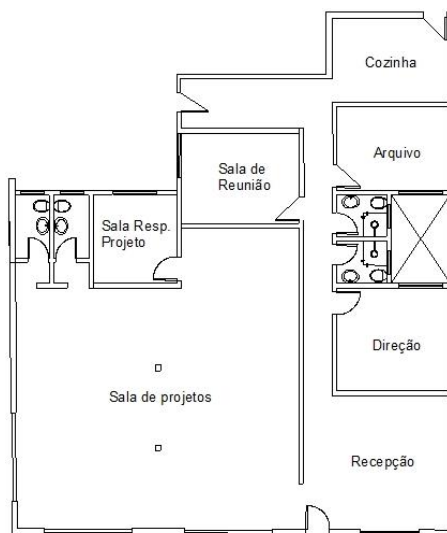


Figura 7 – Exemplo de dados vetoriais

- Dados tabulares

Os dados (Tabela 20) que estavam em forma de tabela foram padronizados, colocados no formato (.dbf), exportados para o SIG e convertidos para (.shp). Estes dados foram exportados para ArcGis do Access.

Tabela 20 – Dados tabulares compilados, que estavam em meio digital

Descrição da área		
Código causas antropométricas	Código causas ambientais	Código analise posturas
1- Altura e características superfície	1- Espaço	1- Elevação dos ombros
2- Área de trabalho	2- Temperatura	3- Inclinação lateral da cabeça
4- Altura ajustável dos assentos	4- Luminosidade	4- Post. extr. dos cotovelos como a flexão
7- Encosto para região lombar	6- Qualidade do ar	5- Desvios dos punhos como a flexão
8- Suporte para os pés	7- Umidade relativa do ar	7- Movimentos repetitivos

- Dados *raster*

Estes dados foram organizados em diretórios, assim como os demais. Foram levados para ambiente SIG e colocados em um único sistema de projeção.

- Fotografias
- Vídeos

Dados analógicos

Os dados analógicos são qualquer tipo de dados armazenados em papel, filmes, dispositivos, poliéster, excluindo os arquivos digitais. Estes dados foram escaneados e georreferenciados no *software* ArcGis.

6.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para validar a metodologia foi selecionado como área de estudo o laboratório ambiental, situado na Cidade Universitária, que é um bairro da Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro, localizado na Ilha do Fundão (ou Ilha da Cidade Universitária), na margem oeste da Baía de Guanabara.

A Baía de Guanabara representa um dos mais importantes espaços geográficos do Estado do Rio de Janeiro, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto físico. Essas características são comprovadas pela forte pressão antrópica desordenada, localizada no seu entorno, seja pela concentração populacional na região metropolitana do Rio de Janeiro ou pela presença de grandes indústrias, que lançam sobre ela grandes quantidades de resíduos químicos. A Baía de Guanabara está localizada entre os paralelos de 22° 24' e 22° 57' de latitude sul e os meridianos de 42° 33' e 43° 19' de longitude oeste. A mesma tem uma superfície de 384 km² e um perímetro de 131 km (FEEMA, 1990).

O laboratório ambiental (Figura 8) é responsável pela realização de consultoria e estudos técnicos. A proposta e a realização destes estudos ambientais têm como objetivo a análise das consequências da ação do homem, muitas vezes nefastas, para o meio ambiente.

Alguns dos estudos apontam para soluções consideradas adequadas para minimizar impactos negativos e ou encontrar meios e metodologias para melhorar a qualidade ambiental.



Figura 8 – Localização do laboratório ambiental Fonte: Image U.S. Navy, NOAA (2012)

O laboratório, protótipo desta pesquisa, tem como escopo a realização de estudos ambientais, tais como: caracterização e diagnóstico dos sistemas naturais; identificação, avaliação e monitoramento de impactos (EIA-Rima); assessoramento ao processo de licenciamento; planejamento ambiental e do uso dos recursos naturais; levantamento do passivo ambiental; proposição de metodologias específicas de educação ambiental, voltados ao manejo de recursos hídricos, entre outras atividades.

6.5 BANCO DE DADOS E O SIG NO PROJETO

O desenvolvimento do banco de dados foi feito a partir de uma modelagem que agrupa dados do tipo *raster*, que serve de estrutura-base para os dados que foram introduzidos em SIG na forma de tabelas organizadas em geodatabase. Esta última é uma base relacional que armazena dados geográficos, ou seja, uma construção de tabelas de

coordenadas, de objetos espaciais e de relacionamentos entre estas tabelas, estocadas em um banco de dados relacional. Esses dados são do tipo vetor (linhas, pontos e polígonos).

A metodologia, a que se refere este trabalho, permite observações interativas e acesso automático a informações e dados ergonômicos, através da tela de um computador, com um sistema montado de acordo com a rotina de trabalho previamente estabelecida. Os bancos de dados estão ligados através de rotinas automáticas a cada uma das entidades do mapa.

Na metodologia em questão, as informações do projeto ergonômico ficam disponibilizadas facilmente na tela, de forma rápida e operacional, seja em forma de texto, tabelas, imagens fotográficas e, principalmente, através de base cartográfica, permitindo-se observar as diversas situações e/ou características ergonômicas que representam.

No sistema pronto, botões iconográficos próprios do programa de SIG, utilizado para a integração dos vários bancos de dados, informações e imagens, permitem o acesso às opções desejadas pelo usuário.

A visualização de vários níveis (*layers*) de informações, concomitantes ou não, possibilita que o usuário ou “leitor” do sistema, cujo mapa representa a base da informação, tenha acesso a dados de naturezas diferentes, permitindo-o fazer inter-relações entre esses dados e a base cartográfica. As informações sobre qualquer tipo de entidade existente no mapa, ou nos vários tipos de mapas construídos, podem ser facilmente disponibilizadas na tela, de acordo com a necessidade do usuário.

O sistema de banco de dados permite, ainda, incorporar outras informações que se desejar, além de possibilitar a modificação posterior de quaisquer dessas informações, caso seja necessário, seja qual for sua natureza, sem a necessidade de se construir outro sistema de informação ou outro banco de dados para a substituição daquele preexistente. As modificações, realizadas em tempo real, são feitas através da inclusão ou exclusão de dados georreferenciados nas tabelas, que mostram o conjunto de atributos de uma entidade qualquer, alterando-os de forma a aperfeiçoar tanto o sistema em si quanto a qualidade das informações nele contidas.

O sistema integrado de banco de dados com uma base cartográfica é um excelente sistema para visualização, consulta e armazenamento de informação, permitindo análises espaciais de forma automática e produzindo como saída os mapas, que possibilitam conclusões distintas, como será visto no capítulo na análise dos resultados.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1 ESTRUTURAÇÃO DA ANÁLISE

Neste capítulo, será apresentada e discutida a implementação da metodologia realizada a partir da criação do banco de dados em uma plataforma de sistema de informação geográfica (SIG).

Esta implementação será estruturada tomando-se por base a forma de atuação do ergonomista no projeto ergonômico. Nessa perspectiva, foram definidas as variáveis, que fariam parte do banco de dados para posterior exportação para o sistema de informação geográfica.

A metodologia a ser implantada no projeto ergonômico foi criada a partir das necessidades dos ergonomistas, proporcionando ao projeto ergonômico uma análise integrada e uma visualização dos problemas no momento em que se considera o espaço.

Dessa maneira, pretende-se demonstrar a importância dessa metodologia para o cotidiano do ergonomista.

7.2 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Essa primeira etapa teve como objetivo principal a coleta das informações para realização do diagnóstico. A coleta levantou os dados relacionados à situação do projeto, os problemas existentes e as melhorias sugeridas.

A situação é uma descrição da área em estudo, informando as funções na unidade de negócios ou serviços, o que proporciona um entendimento melhor das ações e tarefas realizadas nas empresas e organizações. A caracterização adequada da área de estudo define um laudo ergonômico mais eficiente.

Os problemas existentes são caracterizados mediante impactos, causas e enquadramento legal/normativo.

A identificação do impacto em área de trabalho visa conhecer os problemas nela encontrados. Nessa avaliação, são revelados os impactos mais marcantes e aqueles que são

possíveis de registrar. Esses registros são feitos por meio de conversas com os envolvidos nas atividades laborais, fotografias e vídeos.

As causas analisam o ambiente físico, tais como causas ambientais, antropométricas, biomecânicas e organizacionais. As ambientais relacionam-se aos riscos ambientais do tipo: iluminação, barulho e odor. As causas antropométricas são aquelas ligadas às dimensões dos postos de trabalho. As biomecânicas são fatores que dizem respeito à postura dos envolvidos no projeto ergonômico enquanto as organizacionais estão atreladas às normas de produção.

O enquadramento normativo tem como resultado relatórios de campos elaborados de forma a classificar as anotações em categorias gerais de problemas. Os enquadramentos legais visam ao atendimento a uma normatividade, um padrão a ser atendido. Pode ser estabelecido internamente à empresa, por exemplo, num programa de qualidade, reestruturação, ou melhoria de processos – ou deliberado pelo nível estratégico, imposto por alguma disposição legal ou pressão de algum acordo com os trabalhadores e/ou suas entidades representativas.

O levantamento dos dados foi feito utilizando intervenções investigativas, por meio de conversas, documentação fotográfica e vídeos. Nesta investigação, foi observado o ambiente, os postos de trabalho, os métodos de produção, equipamentos e *softwares* para caracterização da área, que possibilitará prover as melhorias no trabalho.

A coleta de forma adequada dos dados é fundamental para interpretação e execução do trabalho, pois fará uma análise e caracterização real do projeto e, com isso, definir quais serão as tomadas de decisão para cada ambiente estudado e para o projeto como um todo.

7.3 DESCRIÇÃO DO PROJETO

Nessa etapa, foi realizada uma descrição ampla da área em questão, verificando-se as funções de cada setor que compõe a empresa. Desse modo, as tarefas podem ser mais bem compreendidas. Inclui-se nesta análise dados de saúde ocupacional e de segurança do trabalho, em função da forma com que tais dados são organizados nas empresas.

A descrição é uma apreciação da empresa estruturada particularmente entre as áreas que compõem a subdivisão interna e a empresa como um todo. A etapa descrição da área detalha a que se destina o local e que tipo de serviço é realizado no local do projeto.

Uma boa descrição torna os macroprocessos bem entendidos e, conseqüentemente, o projeto ergonômico melhor compreensível.

Essa etapa foi fundamental para exercer o trabalho de forma eficiente, objetivando corretamente os resultados encontrados e as expectativas esperadas.

O presente trabalho pretende assegurar que houve respostas adequadas para as questões colocadas ao longo da pesquisa.

O laboratório de análise ambiental, protótipo desta pesquisa, tem como funções/serviços a realização de estudos ambientais. O espaço ocupado pelo laboratório é subdividido em: recepção, sala da direção, sala de arquivo, cozinha, sala de reunião, sala do responsável pelos projetos e sala dos projetos.

A seguir, são apresentados o mapa de localização (Figura 9) e a planta baixa do laboratório de análise ambiental (Figura 10).

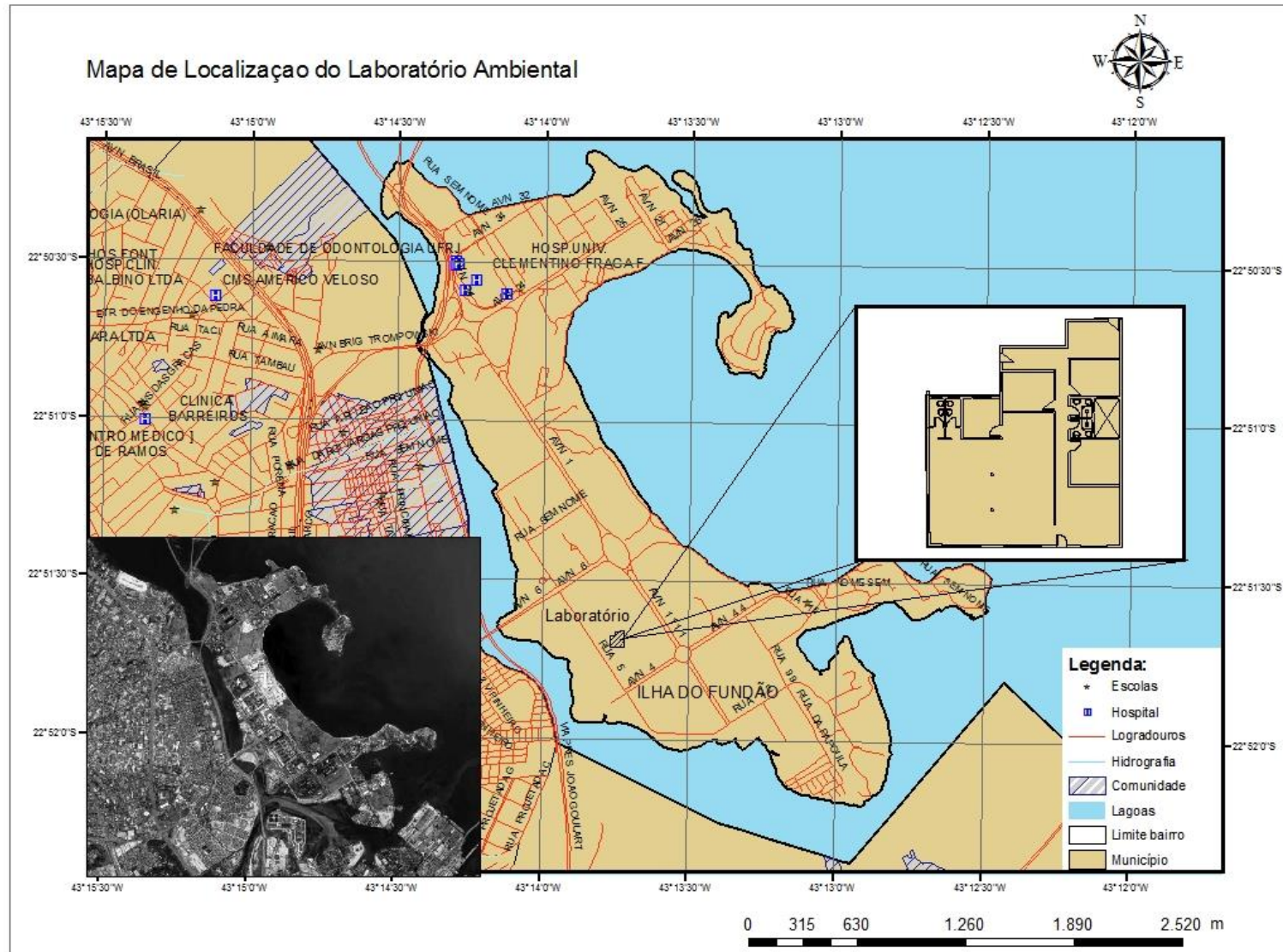


Figura 9 - Mapa de localização

O laboratório de análise ambiental é composto por sete cômodos contíguos, como podemos observar na Figura 10. A seguir faremos a caracterização dos cômodos baseados na análise ergonômica. Os dados relacionados aos ambientes foram inseridos considerando um projeto fictício.

- recepção;
- sala da direção;
- sala dos arquivos;
- cozinha;
- reunião;
- sala do responsável de projetos;
- sala dos projetos;
- banheiros femininos e masculinos (não foi realizado estudo);
- prisma de ventilação (não foi realizado estudo);
- circulação (não foi realizado estudo).

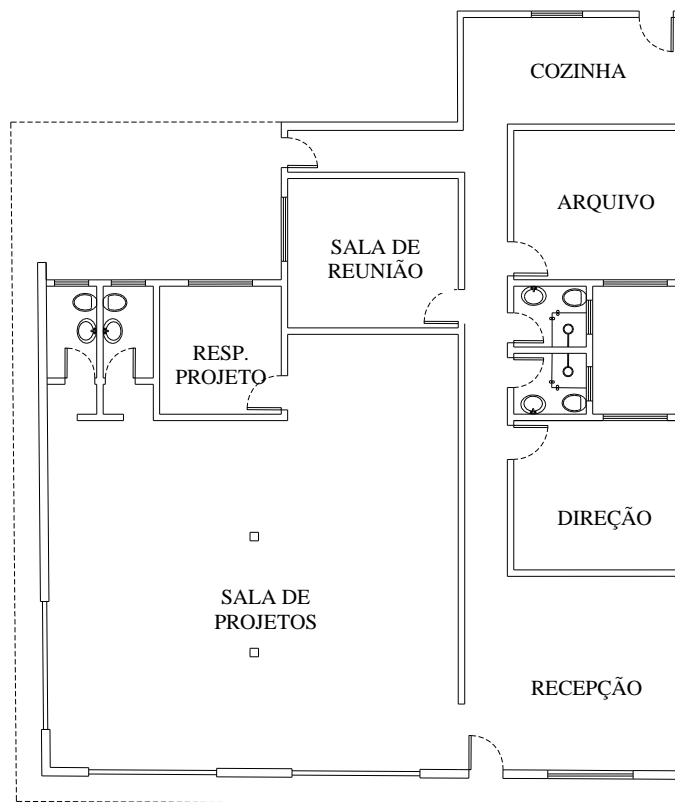


Figura 10 - Laboratório de análise ambiental – Planta baixa do espaço total do projeto

RECEPÇÃO:

O espaço da recepção de uma empresa (Figura 11) é o seu cartão de visitas e, portanto, a atitude do profissional por ele encarregado deve refletir a postura da organização com relação ao seu cliente. Por isso, o funcionário dessa área revela a eficácia de uma atitude prestativa na criação de um clima amistoso de boas-vindas e demonstra a importância da recepção como elo entre clientes e empresa. Tal espaço possui área de 22m² e pé direito de 2,50 m.

Características do espaço:

Atividade:

- O trabalhador que ocupa esse posto tem como função as seguintes atividades: fornecer atendimento pessoal e telefônico; autorizar e controlar a entrada e saída de clientes e funcionários; responsabilizar-se por anotar recados e repassá-los aos envolvidos; ser responsável pela guarda e controle das chaves; controlar e sugerir compras de materiais pertinentes à sua área de atuação; efetuar registro e manter controle de todas as visitas efetuadas, inscrevendo em livro apropriado nome, horários e assunto.

Condições de trabalho:

- O ambiente possui iluminação adequada. A temperatura em torno de 20° a 23°. Iluminação uniforme e bem distribuída. Níveis de ruídos de acordo com as normas – em torno de 65dB.

Equipamentos:

- A mesa da recepção possui quinas vivas e revestimentos com material sintético. Há monitor convencional e de tela plana, CPU horizontal, teclado e mouse. A cadeira dessa área tem regulagem de altura com rodinhas e apoio de braços. Não há apoio para os pés.



Figura 11 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Recepção
Fonte: Elaboração própria

SALA DA DIREÇÃO:

A sala de direção (Figura 12) é o espaço da empresa ocupado pelos dirigentes e responsáveis pelo escritório. Os trabalhadores que participam da direção de uma empresa merecem um ambiente à altura de seu poder de decisão e devem trabalhar cercados de elementos que as tranquilizem, objetos que as inspirem e uma comodidade que as conforte nos momentos de pressão. A sala da direção possui área de 13,50 m² e pé direito de 2,50 m.

Características do espaço:

Atividade:

- O trabalhador que ocupa esse posto tem a função de planejar, ou seja, tomar decisões acertadas, com antecipação, de modo que sejam evitados entraves ou interrupções nos processos organizacionais. Decidir a respeito do “que” (como, onde, quando, com que, com quem) fazer, tendo em vista determinados objetivos a serem obtidos. Determinar as pessoas e as tarefas que têm que executar.

Condições de trabalho:

- O ambiente possui iluminação adequada. A temperatura em torno de 20° a 22°. Iluminação uniforme e bem distribuída. Níveis de ruídos de acordo com as normas – em torno 50dB.

Equipamentos:

- A mesa da sala de direção é de blindex, não proporcionando a aproximação adequada da cadeira, o que não permite o apoio dos cotovelos, tornando a postura inadequada. O equipamento utilizado é *notebook*, sem teclado acoplado, e com utilização de *mouse* externo. A cadeira dessa área tem regulagem de altura com rodinhas e apoio de braços. Não há apoio para os pés.

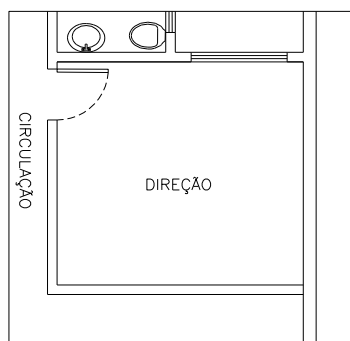


Figura 12 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala da Direção

SALA DO ARQUIVO

Arquivar é o ato de organizar e garantir a segurança de todo e qualquer documento de terceiros. Na sala do arquivo (Figura 13), os documentos importantes são adicionados sistematicamente à sala de dados de arquivo, onde é possível encontrar, de forma natural, os documentos assinados e de valor legal: projetos executados no escritório e separados por data, guias de remessa, notas fiscais, contratos comerciais, acordos de parceria, seguros, faturas, folhas de vencimento, ordens de transferência e documentos contabilísticos. A sala de arquivo possui área de 13,47 m² e pé direito de 2,50 m.

Características do espaço:

Atividade:

- As sala de arquivo tem a função de recolher e ordenar todos os documentos que circulam na empresa; avaliar e selecionar os documentos, tendo em vista sua preservação ou eliminação; garantir o fluxo dos pedidos de documentos provenientes dos diversos órgãos da empresa; arquivar os documentos, visando à recuperação da informação; conservar e assegurar a integridade dos documentos, evitando danos que possam ocasionar a sua perda; executar as funções específicas conforme a organização e administração da instituição.

Condições de trabalho:

- O ambiente possui iluminação inadequada, sendo considerado muito escuro e com pequenos rasgos na parede, o que evidencia uma ventilação fora dos padrões. A temperatura mantém-se em torno de 20° a 23°. O local utilizado para o armazenamento dos documentos foi considerado de difícil alcance e visualização, além do espaço pequeno, o que não possibilita movimentação correta dos segmentos corporais. A função favorece aos movimentos repetitivos. Os níveis de ruídos estão de acordo com as normas – em torno 50dB.

Equipamentos:

- A mesa da sala de arquivo possui quinas vivas e revestimentos com material sintético. Há monitor convencional e de tela plana, CPU horizontal, teclado e *mouse*. A cadeira dessa área não possui regulagem de altura com rodinhas nem apoio de braços. Possui apoio para os pés.

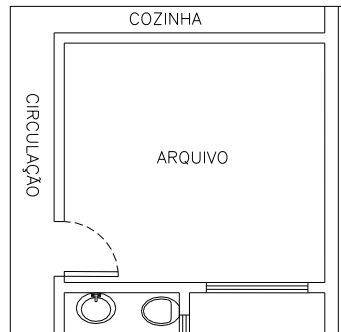


Figura 13 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Arquivo

COZINHA

A cozinha (Figura 14) marca, de certa forma, os compassos do dia, impondo os limites do ambiente ao anunciar momentos distintos e, neles, os encontros entre os trabalhadores. Uma empresa que tem uma cozinha funcionando de forma eficiente é mais viva. Hoje é o lugar preferido dos trabalhadores, pois proporciona o relaxamento, o momento de descontração e a pausa para a correria do dia a dia. A cozinha possui área de 11,20 m² e pé direito de 2,20 m.

Características do espaço:

Atividade:

A cozinha tem a principal função de ser a área do preparo dos alimentos. Na empresa, essas refeições já vêm, em sua maioria, prontas de casa, bastando apenas ao trabalhador reaquecê-las. Manter o local sempre limpo também é um item a ser considerado. A cozinha deve possuir um espaço para estoque de alimentos, bem como para seu descongelamento e reaquecimento para que o trabalhador tenha comodidade em horários de interrupções laborais. Deve ser previsto um local para que o trabalhador possa realizar suas refeições de forma confortável.

Condições de trabalho:

- O ambiente da cozinha possui iluminação e ventilação adequadas, com amplos vãos, deixando o ambiente dentro dos padrões aceitáveis. A temperatura varia em torno de 23° a 28°. O local para realização das refeições foi considerado pequeno, não proporcionando ao trabalhador que o momento das refeições seja confortável e agradável. Por suas dimensões reduzidas, o espaço não possibilita movimentação correta dos segmentos corporais. Não possui circulação funcional. Os níveis de ruídos estão de acordo com as normas – em torno 50dB.

Equipamentos:

- A cozinha possui uma mesa pequena, que leva ao rodízio de horários para sua utilização. As cadeiras são com rodinhas, totalmente desapropriadas para o ambiente. A circulação é muito pequena, o que não favorece o bem-estar dos trabalhadores.

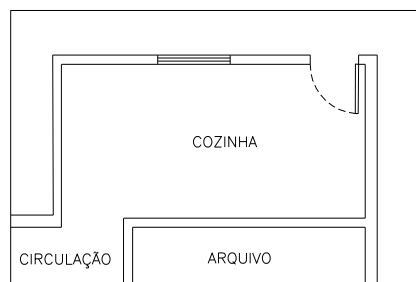


Figura 14 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Cozinha

SALA DE REUNIÃO

As salas de reunião (Figura 15) são usadas, geralmente, para discussão negócios ou assuntos internos da empresa e propiciam importantes eventos para contato pessoal e comunicação entre os coparticipantes. As reuniões, palestras, conferências e *workshops* podem ter em comum o encontro de pessoas com alguma afinidade pessoal, profissional ou interesse em determinado argumento. A sala de reunião possui área de 14m² e pé direito de 2,50m.

Características do espaço:

Atividade:

- A sala de reunião no laboratório de análises ambiental é utilizada para dar suporte à diretoria, ao departamento comercial, aos fornecedores, clientes e a reuniões internas da empresa.

Condições de trabalho:

- O ambiente da sala de reunião possui iluminação adequada, porém a umidade no ambiente é alta, não possui isolamento acústico, o que deixa a sala sem privacidade. A ventilação não é adequada, pois o vão de abertura da janela não é suficiente para a metragem quadrada da sala. As cadeiras não possuem regulagem de altura. A temperatura em torno de 19° a 21°. Os níveis de ruídos estão em de acordo com as normas em torno 50dB.

Equipamentos:

- A sala de reuniões possui capacidade para seis pessoas, é climatizada, com tratamento acústico e equipamentos de multimídia. É pequena, o que não favorece ao bem-estar dos trabalhadores. A sala de reuniões não está localizada em local estratégico dentro da empresa.



Figura 15 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala de Reunião

SALA DO RESPONSÁVEL PELO PROJETO

Essa sala (Figura 16) é ocupada pelo responsável da parte operacional da empresa. Esse profissional está diretamente ligado à linha de produção. Tal espaço necessita de atenção e cuidados especiais já que, questões como privacidade acústica, conforto visual, ergonomia, cores e luminosidade influenciam diretamente no cotidiano do processo produtivo. A sala do responsável pelo projeto possui área de 14 m² e pé direito de 2,50 m.

Características do espaço:

Atividade:

- Essa sala é ocupada pelo responsável em desenvolver as equipes e em gerir todos os projetos. Possui a função de planejar, coordenar e acompanhar todos os projetos realizados pela empresa. Participa ativamente de reuniões com a diretoria e os profissionais envolvidos na execução dos projetos. A sua função é manter o dossiê e o portfólio da empresa atualizado.

Condições de trabalho:

- A sala do responsável pelos projetos apresenta uma iluminação razoável, porém a umidade do ar é extremamente alta. O isolamento acústico não é satisfatório, o que prejudica o trabalhador que o ocupa o ambiente. A ventilação não é adequada, pois o vão de abertura da janela não é suficiente para suprir a metragem quadrada da sala. A temperatura em torno de 20° a 21°. As bordas da mesa não são arredondadas, possui altura de mesas e superfícies inadequadas, não apresenta suporte para os pés. Os níveis de ruídos estão em acordo com as normas em torno 55dB.

Equipamentos:

- A sala do responsável pelos projetos possui uma mesa com altura inadequada. O equipamento utilizado é *notebook* sem teclado acoplado e com utilização de *mouse* externo. A cadeira dessa área tem regulagem de altura com rodinhas e apoio de braços. Não há apoio para os pés.



Figura 16 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala do Responsável pelos Projetos

SALA DE PROJETOS

A sala de projetos (Figura 17) é local onde se realizam as atividades operacionais da empresa. Nela está alocado o maior número de trabalhadores e, sem dúvida, é o mais importante, pois lá, os projetos são executados e colocados em prática. Nesse local, é necessário observar as condições ambientais com maior grau de rigor, já que o ambiente de trabalho influencia no humor e na capacidade criativa, contribuindo para a redução ou aumento da produtividade. A sala de projetos possui área de 86,36 m² e pé direito de 2,50 m.

Características do espaço:

Atividade:

- A sala de projetos é o local de execução de todo o processo operacional realizado na empresa. Possui a função de desenvolver, executar, revisar, aprovar projetos na área ambiental.

Condições de trabalho:

- As condições de trabalho na sala de projetos é deficitária, sendo considerado o pior local dentro da empresa para se trabalhar.

O ambiente da sala de projetos não possui iluminação adequada, a umidade no ambiente é alta, não possui isolamento acústico, o que não favorece a concentração e privacidade que a área merece.

A altura das mesas e superfícies não é adequada, o que causa um esforço dos segmentos corporais muito grandes para exercer as atividades laborais. Os assentos não possuem altura ajustável, logo o trabalhador não consegue se regular ao posto de trabalho. As bordas frontais das mesas não são arredondadas, sua altura e superfícies são inadequadas, não possui proteção de encosto para região lombar. Falta suporte para os pés e local para descanso nas pausas para relaxamento. O espaço é pequeno para quantidade de trabalhadores e mobiliários existentes.

A temperatura no local varia em torno de 19° a 21°. Os níveis de ruídos estão de acordo com as normas – em torno 65dB.

Equipamentos:

- A sala de projetos possui 20 mesas com monitor convencional, de tela plana, CPU horizontal, teclado e mouse. Além dos postos de trabalho, ainda pode-se encontrar uma mesa redonda com 1,60 m de diâmetro, utilizada para pequenas reuniões, e mais três armários utilizados para armazenar material de apoio e escritório.

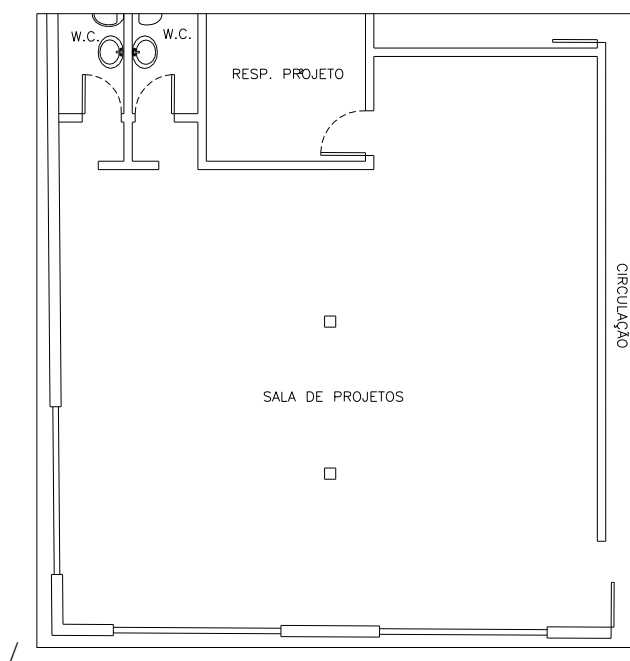


Figura 17 - Laboratório de análise ambiental – Espaço Sala de Projetos

Concluído a caracterização da empresa, através da verificação em todos os cômodos, foram reunidos os dados ergonômicos e após a criação do banco de dados, estes dados foram migrados para o ambiente SIG e realizadas as análises.

Para a realização das análises, foi proposta uma divisão de classes, utilizando a quantidade de registros, no sentido de facilitar a compreensão dos resultados. Nessa proposta, à medida que a quantidade de registros se aproxima de zero, melhor serão as condições do ambiente nos postos de trabalho e quanto maior a quantidade de registros, pior a condição do espaço.

Os seguintes critérios foram utilizados para mensuração dessa classificação (Tabela 21):

- acima de 12 registros – Péssimo;
- de 9 a 11 registros – Ruim;
- de 6 a 8 registros – Razoável;
- de 3 a 5 registros – Bom;
- de 0 a 2 registros – Ótimo.

Tabela 21: Critérios de classificação do registro

Registros	Classificação	Cor
Acima de 12	Péssimo	Red
9 a 11	Ruim	Orange
6 a 8	Razoável	Yellow
3 a 5	Bom	Light Green
Zero a 2	Ótimo	Dark Green

A pesquisa utilizou dois tipos de análise; a primeira analisou a classificação dos registros de problemas considerando os espaços e a segunda classificou os registros de problemas considerando as variáveis estudadas. A tabela 22 resultado da análise com as divisões de classe para os espaços analisados e para as variáveis estudadas.

As Figuras 18 (Classificação dos espaços considerando os registros) e 19 (Classificação dos problemas considerando as variáveis estudadas) apresentam o

resultado obtido nesta pesquisa, sendo possível visualizar os melhores e os piores postos de trabalhos na empresa, identificando como e de que forma atuar para realizar as melhorias necessárias.

A identificação do impacto na área de trabalho visa conhecer os problemas nela encontrados. Nesta avaliação, são revelados os impactos mais marcantes e aqueles que são possíveis de registrar.

Tabela 22: Resultado da análise através da divisão das classes

Divisão das classes								
	Recepção	Direção	Arquivo	Cozinha	Reunião	Resp. projeto	Sala de projetos	TOTAL
Mobiliário	1	2	2	0	0	3	9	17
Posturas adotadas	2	0	1	0	1	0	6	10
Causas biomecânicas	1	1	2	0	1	1	2	8
Causas ambientais	3	1	5	1	2	2	3	17
Causas antropométricas	2	1	4	1	0	2	7	17
Causas organizacionais	2	2	3	0	0	3	7	17
TOTAL	11	7	17	2	4	11	35	

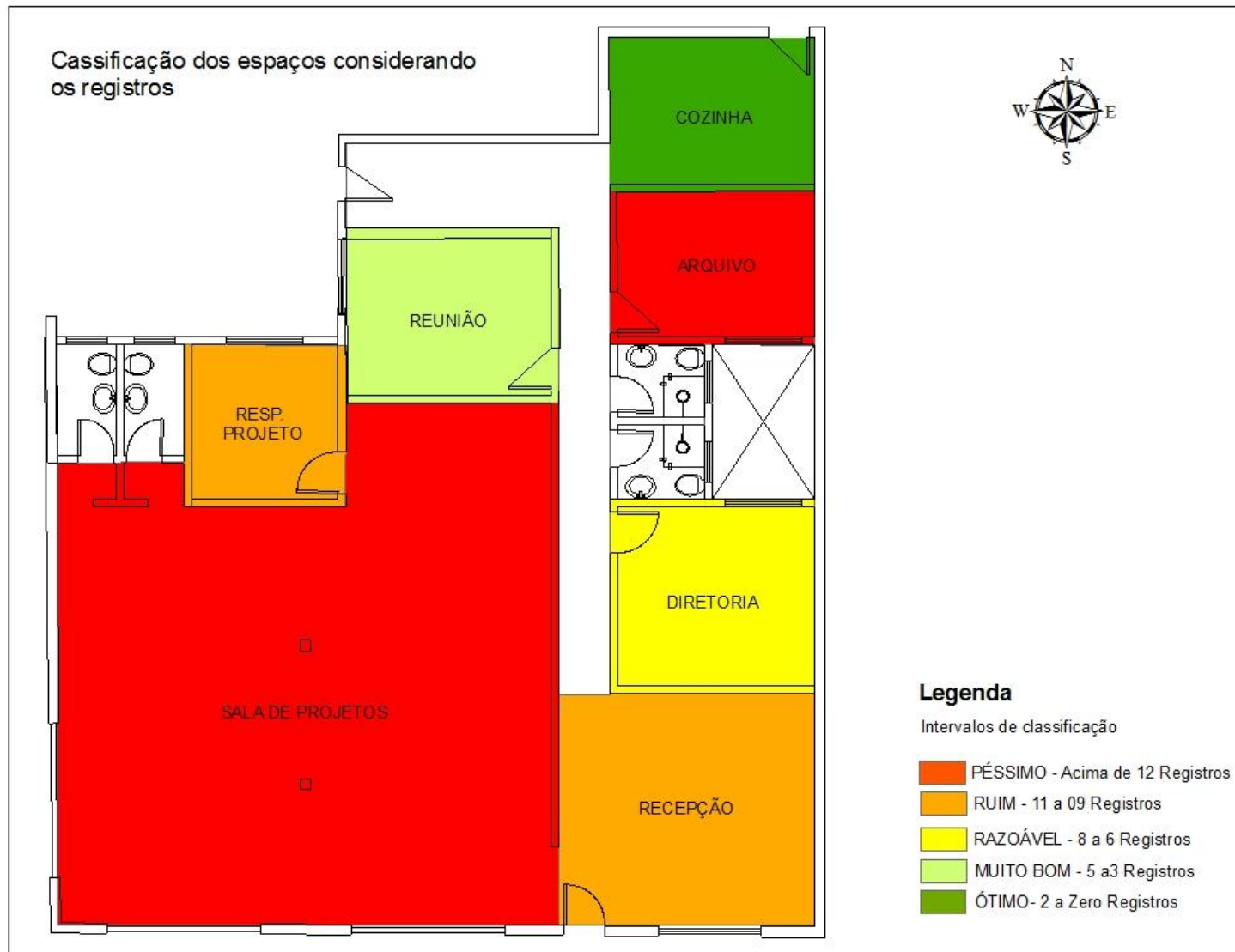
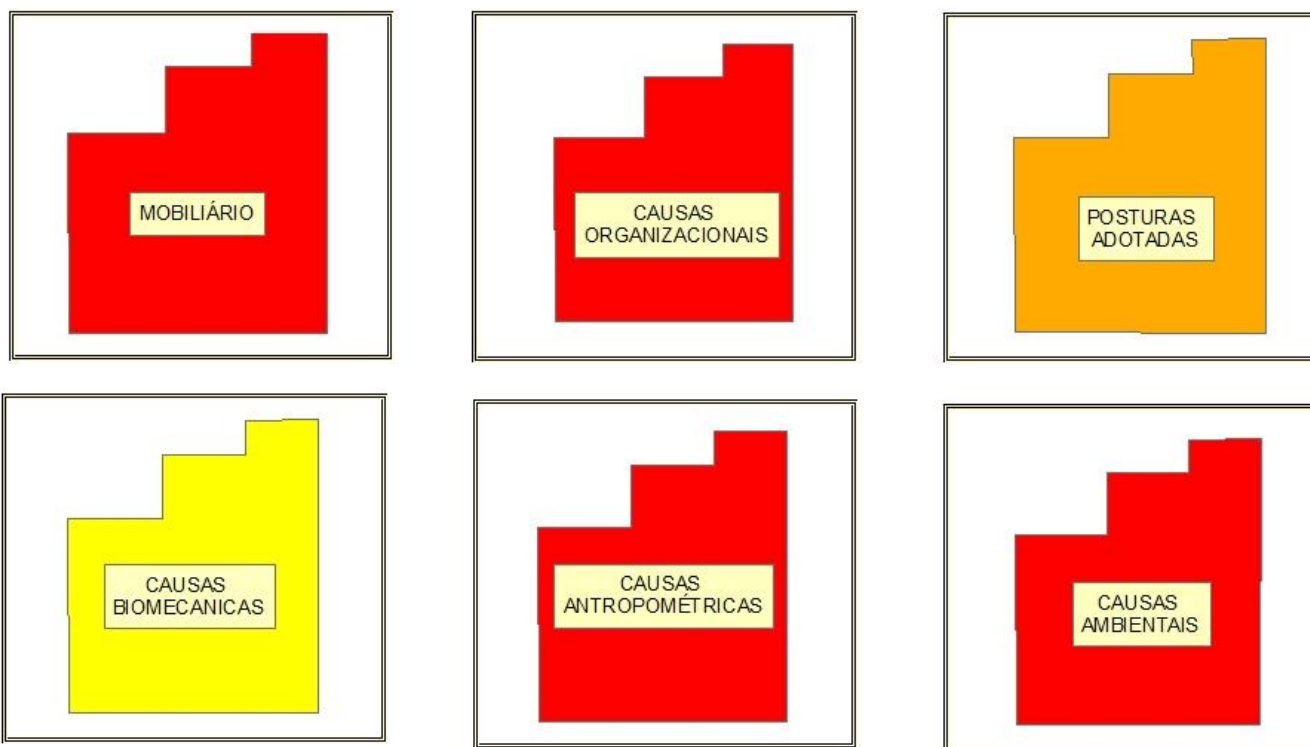


FIGURA 18 – Classificação dos espaços considerando os registros Fonte: Elaboração própria

Classificação dos Problemas considerando as variáveis estudadas



Legenda

Intervalos de classificação

- PÉSSIMO - Acima de 12 Registros
- RUIM - 11 a 09 Registros
- RAZOÁVEL - 8 a 6 Registros
- MUITO BOM - 5 a 3 Registros
- ÓTIMO - 2 a Zero Registros

FIGURA 19 – Classificação dos problemas considerando as variáveis estudadas Fonte: Elaboração própria

Analisando a classificação dos registros de problemas, observa-se que a sala de reunião e a cozinha são os espaços que apresentam a menor quantidade de registros. A cozinha foi classificada com ÓTIMA e a sala de reunião enquadrada na classificação como MUITO BOM.

Pode-se observar que a sala de projetos possui, juntamente com a sala de arquivos, a pior classificação, sendo enquadradas como PÉSSIMO.

As variáveis estudadas que apresentaram os maiores índices de registros foram o mobiliário e as causas organizacionais, antropométricas e ambientais, apresentando índices superiores a 12 registros.

A variável com menor quantidade de problemas foi à relacionada a causas biomecânicas, o que nos faz entender que o esforço, a postura e a repetitividade das ações não são os problemas mais evidentes e presentes na empresa.

RECEPÇÃO



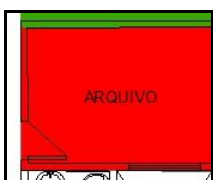
Na recepção, foram identificados 11 problemas. Desse total, uma ocorrência está relacionada ao mobiliário; duas, às posturas adotadas; uma, à causa biomecânica; três, a causas ambientais; duas relacionadas às causas antropométricas e duas, a causas organizacionais.

SALA DA DIREÇÃO



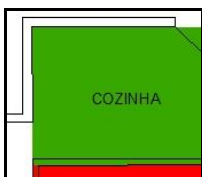
Na sala da direção, foram identificados sete problemas, dos quais as ocorrências estão relacionadas à: duas ao mobiliário, nenhuma a posturas adotadas, uma a causas biomecânicas, uma a causas ambientais, uma a causas antropométricas e duas a causas organizacionais.

SALA DOS ARQUIVOS



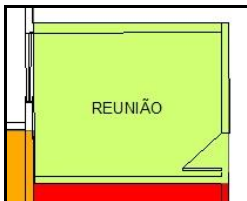
Na sala dos arquivos, foram identificados 17 problemas, dos quais as ocorrências estão relacionadas à: duas ao mobiliário, uma a posturas adotadas, duas a causas biomecânicas, cinco a causas ambientais, quatro a causas antropométricas e três a causas organizacionais.

COZINHA



Na cozinha, foram identificados dois problemas: um relacionado a causas ambientais e outro voltado a causas antropométricas.

SALA DE REUNIÃO



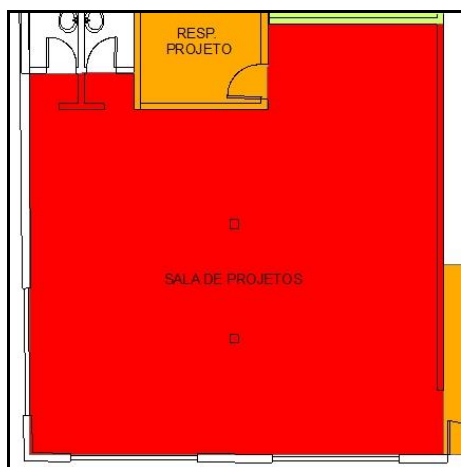
Na sala de reunião, foram identificados quatro problemas, sendo um relacionado às posturas adotadas, um a causas biomecânicas e dois a causas ambientais.

SALA DO RESPONSÁVEL PELOS PROJETOS



Na sala do responsável pelos projetos, foram identificados 11 problemas, dos quais as ocorrências estão relacionadas à: três ao mobiliário, nenhuma a posturas adotadas, uma a causas biomecânicas, duas a causas ambientais, duas a causas antropométricas e três a causas organizacionais.

SALA DE PROJETOS



Na sala de projetos, foram identificados 35 problemas, dos quais nove ocorrências estão relacionadas ao mobiliário, seis às posturas adotadas, três a causas biomecânicas, três a causas ambientais, sete a causas antropométricas e sete a causas organizacionais.

Essa análise só foi possível no momento que, após a identificação dos problemas, foi criado o banco de dados e houve a exportação para o SIG, que realizou a análise espacial fundamentando as conclusões aqui apresentadas.

8 CONCLUSÃO

8.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma metodologia para construção de uma nova forma de atuação do ergonomista no projeto ergonômico, integrando dados ergonômicos e dados georreferenciados, o que proporcionou ao projeto ergonômico uma análise integrada e uma visualização dos problemas por meio da análise espacial.

Este processo originou uma maneira de executar melhor e mais rápido o projeto ergonômico. Os resultados obtidos mediante análise espacial foram gerados a partir do cruzamento das variáveis analisadas, dos registros de problemas e do local estudado.

Os resultados confirmam que a ferramenta funciona não apenas para construção de um novo método para realizar o trabalho do ergonomista, mas também para novos tipos de análises, no momento em que se realiza os cruzamentos das variáveis.

Pelo estudo realizado, observou-se que o mobiliário e as causas ambientais, antropométricas e organizacionais apresentaram a maior quantidade de ocorrência. Um grande número de problemas identificados na sala de projetos, local onde se encontram o maior número de trabalhadores, demonstra o quanto a empresa está despreparada para atuar no mercado de trabalho e quanto a ergonomia e sua nova forma de análise são relevantes nesse processo.

Vale lembrar que a ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente, e particularmente a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento.

Para que haja uma efetiva melhoria das condições de trabalho, faz-se necessário aplicar os conhecimentos da ergonomia no desenvolvimento de ferramentas, sistemas, métodos e técnicas de trabalho.

Em relação aos fatores organizacionais, destacaram-se a ausência de pausas durante a jornada de trabalho, a frequência excessiva de horas extraordinárias e a exigência de produtividade. Entre os fatores de natureza ergonômica, foi possível ressaltar a falta de flexibilidade postural (sentado/em pé), a ausência de revezamento nas tarefas, o contato da mão ou punho com quina viva do mobiliário e a ocorrência de movimentos repetitivos,

especialmente os de flexão/extensão do punho, de desvio lateral do punho e de elevação dos braços ou abdução dos ombros. Inúmeros fatores nada ergonômicos foram constatados também na avaliação de cadeiras, mesas, terminais ou computadores e das condições ambientais de trabalho.

Em relação à análise ergonômica do trabalho, é essencial a recomposição do processo de trabalho e o estudo da maneira como se organiza, sendo muito importante a participação direta dos trabalhadores que vivenciam o cotidiano do trabalho. Recomenda-se analisar alguns aspectos básicos da organização do trabalho, tais como duração da jornada, conteúdo da tarefa, pausa durante a jornada, o ritmo do trabalho e a exigência ou não da produtividade. Em seguida, passa-se à análise dos aspectos do ambiente de trabalho, ressaltando o posto de trabalho, aí incluídos mobiliário, equipamentos e ferramentas. Além disso, é recomendável estudar se as condições ambientais de iluminação, temperatura efetiva, ventilação, umidade e ruído são compatíveis com a tarefa executada.

Uma nova forma de análise na atividade ergonômica visando à produtividade, à adequação dos postos de trabalho e à organização de dados e informações foi a principal contribuição deste trabalho.

A implementação da metodologia, através do estudo de caso demonstrou que é possível realizar a análise espacial, o cruzamento das variáveis, a manipulação, organização e padronização dos dados. Desta forma auxiliando o ergonômista no tratamento das informações gerando interpretações novas, oriundas de dados e produtos existentes.

Em síntese, pode-se afirmar que o objetivo da ciência da ergonomia nas empresas é encontrar o melhor ajustamento entre o trabalhador e as condições do trabalho. A ergonomia tenta trazer soluções para certificar que o trabalhador permaneça seguro, confortável e produtivo.

O presente trabalho assegura que houve respostas adequadas para as questões colocadas ao longo da pesquisa, no momento em que esta tese apresenta uma forma mais organizada, rápida e eficiente de se realizar um projeto ergonômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: DL Publications, 1989.

BALBINOTTI, G. Metr pole de São José dos Pinhais. Ano III, n  428. **Ergonomia: Palavr o ou soluço?** São José dos Pinhais: 02 de julho de 2003.

BENITO, J.; COUTINHO, C. R. **Normas regulamentadores comentadas**. 2. ed., Rio de Janeiro, 2000.

Bernhardsen T. **Geographic Information Systems: an introduction**. John Wiley & Sons, 1999.

BIRD JR., Frank; GERMAIN, George. **Liderança prática em controle de perdas**. Georgia: International Loss Control Institute, 1990.

BOOCH, G.; JACOBSON, I.; RUMBAUGH, J. **The unified modeling language user guide**. Addison-Wesley, 1998.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria n  3214 de 8 de junho de 1978: Normas Regulamentadoras relativas   segurança e medicina do trabalho. NR 6- Equipamentos de prote o individual. In: Manual de Legisla o Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho, 49. ed., São Paulo: Atlas, 2001.

BRODIE, M. L. **On the development of data models**. In: BRODIE, M. L.; YLOPOULOS, J.; SCHMIDT, J.W. (Eds.). New York: Springer-Verlag, 1984. p.19-48.

BUEHLER, K.; MCKEE, L. **The OpenGIS guide**. [1999]. USA: Massachusetts. Disponível em: <<http://www.opengis.org/techno/guide.html>>. Acesso em: 11 jun. 2011.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1989.

CÂMARA, G. Anatomia de um GIS. **Fator Gis**. n.4, p.11-15, 1994.

CAMPOS, M. L. A. Gestão participativa como uma proposta de reorganiza o do trabalho em um sistema de produ o industrial: uma estratégia de amplia o da eficácia sob a  tica da ergonomia. 2000. (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CAMPOS, V. F. **Padroniza o de empresas**. Funda o Christiano Ottoni, Rio de Janeiro: Bloch, 1992.

CHRISMAN, N. **Exploring geographic information systems**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

CODD, E. F. Extending the database relational model to capture more meaning. **ACM Trans. Database System**, New York, v.4, n.4, p.397-434, 1979.

COUCLELIS, H. People manipulate objects (but cultivate fields): beyond the raster-vector debate in GIS. In: **Theories and methods of spatial-temporal reasoning in geographic space**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. p.65-77. (Lecture Notes in Computer Science 639).

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho em 18 lições**. Belo Horizonte: Ergo, 2002.

DATE, J. C., **Introdução a sistemas de bancos de dados**. Trad. 7. ed. americana, Rio de Janeiro: Campus, 2000.

DBMS On Line. **A new direction in DBMS**: montage software's Dr. Michael R. Stonebraker takes the wraps off his new object-relational DBMS. DBMS Interview, 1994.

DEJOURS, C. **A loucura do trabalho**: estudo de psicopatologia do trabalho. 5. ed, São Paulo: Oboré, 1992.

DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia prática**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

EKLUND, J. **Development work for quality and ergonomics**. Applied Ergonomics, 2000.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Fundamentals of database systems**. Benjamin/Cummings Publishing Company, 2. ed., 1994.

ESTADOS UNIDOS. U.S. Navy, NOAA infrared satellite image (NOAA18), 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Geographic information – data description** : conceptual schema language. Brussels: CEN, 1996. (Report CR 287005).

FEEMA. Dados hidrobiológicos da Baía de Guanabara no período de 1980 a 1990. Não publicados. 1990.

FISCHER, D.; GUIMARÃES, L. B. M. Efeitos positivos da ergonomia participativa: estudo de caso ABB. Gramado: **Anais da ABERGO**, 2001.

FONDATION EUROPÉENNE. **Pour l'amélioration des conditions de vie et de travail**. Le genre et les conditions de travail dans l'Union européenne. Luxembourg: Office des publications officielles des communautés européennes, 1998.

FRY, J. P.; SIBLEY, E. H. Evolution of data-base management systems. **ACM Computing Surveys**, v.8, n.1, p.7-42, mar. 1976.

GOODCHILD, M. F., Geographical data modeling. **Computers & Geosciences**, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.

GUÉRIN, F. et al. **Comprender o trabalho para transformá-lo**: a prática da ergonomia. São Paulo: Edgar Blücher, 2001.

HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. Logical data modelling for geographical applications. **Int. Journal of Geographical Information Science**, v.10, n.2, p.179-203, 1996.

HÄGG, G. A. **Corporate initiatives in ergonomics**: an introduction. Applied Ergonomics, 2003.

HALPERN, C. A.; DAWSON, K. D. Design and implementation of a participatory ergonomics program for machine sewing tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 1997.

HEUSER, C. A. **Projetos de bancos de dados**. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzato, Série livros didáticos. 4. ed. 1998.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher, 1990.

JOHNSON, R. E. **Documenting frameworks using patterns**. In: object-oriented programming systems, languages and applications conference - OOPSLA, 1992, Vancouver. Proceedings. Vancouver: ACM, 1992.

KÖSTERS, G.; PAGEL, B.; SIX, H. GIS application development with GeoOOA. **International Journal of Geographic Information Science**, v. 11, n.4, p. 307-335, 1997.

LAVILLE, A. **Ergonomia**. São Paulo: EPU, 1997.

LEPLAT, J. La psychologie du travail en ergonomie. In: M. Reuchlin (Éd.), **Traité de Psychologie appliquée**. Paris: PUF, tome 3. 1972. p. 61-136.

LISBOA FILHO, J. **Modelos de dados conceituais informação geográfica**. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Modelagem de dados geográficos. In: **XX Congresso Brasileiro de Cartografia**, Porto Alegre, 2001.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; GARAFFA, I. M. Modelos conceituais de dados para aplicações geográficas: uma experiência com um SIG interinstitucional. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 4., 1997. São Paulo. **Anais...** São Paulo: UPUSP, 1997.

LISBOA FILHO, J.; IOCHUPE, C. Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projeto de bancos de dados geográficos. **Revista IP-Informática Pública**, Belo Horizonte, v.1, n.2, 1999.

LISBOA FILHO, J.; **Projeto de banco de dados para sistemas de informação geográfica**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 2001.

LORIGGIO, A. **De onde vêm os problemas**: método para um diagnóstico eficaz. São Paulo: Negócio Editora, 2002.

MACHRY, M.; ORSSATTO R. Banco de dados geográfico, Cascavel, 2005.

MAINIERI, O. M.; HISSA, M. G. **Vida e ambiente**. Rio de Janeiro: Petrobrás; Brasília: SENAI/DN, 2002.

MALINE, J. **Simuler le travail**: une aide à la conduite de projet. Lyon-Montrouge: ANACT, 1994.

MELO, R. N.; SILVA, S. D.; TANAKA, A. K. **Banco de dados em aplicações cliente/servidor**. Rio de Janeiro: Infobook, 1997.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 17**: nota técnica. Brasília : MTb, SSST, 1996.

MONTMOLLIN, M. **L'intelligence de la tâche**: éléments d'ergonomie cognitive. Berne: Peter Lang, 1990.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia**: conceitos e aplicações. 2. ed., Rio de Janeiro: 2AB editora, 2000.

MURREL, K. F. H. **Ergonomics**: man in his working environment. Londres: Chapman and Hall, 1965.

OLIVEIRA, C. L.; MINICUCCI, A. **Prática da qualidade da segurança no trabalho**: uma experiência brasileira. LTr, 2001.

PACHECO JR., W.; PEREIRA FILHO, H. V.; PEREIRA, V. L. D. V. **Gestão da segurança e higiene do trabalho**. São Paulo: Atlas, 2000.

PEUQUET, D. J. A conceptual framework and comparison of spatial data models. *Cartographica*, n.21, p66-113, 1984.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering**: a practitioner's approach. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

RIO, R. P.; PIRES, L. **Ergonomia**: fundamento da prática ergonômica. 3.ed. São Paulo: LTr, 2001.

- ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**: sistema de informações geográficas. Uberlândia, 1996.
- ROSA, R. **O uso de SIGs para o zoneamento**: uma abordagem metodológica. 1995. 214f. Tese (Doutoramento em Geografia Física) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- SALEMI, J. **Guia para banco de dados cliente/servidor**. 2. ed. Rio de Janeiro: Infobook, 1995.
- SANTOS, N.; FIALHO, F. A. P. **Manual de análise ergonômica do trabalho**. 2. ed., Curitiba: Gênese, 1997.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. **Geoprocessamento**. Editorial. Disponível em: <http://www.prefeituradebarramansa.com.br/pmbm/site/geoprocessamento/page/editorial.asp>. Acesso em: 23 abr. 2011.
- SERRA, G. Arcview 8.2. **Imagem**: soluções de inteligência geográfica. São José dos Campos, 2003, 120p. (Material de Aula).
- SILBERCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados**. Tradução da 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN S., **Sistema de banco de dados**. 3. ed., São Paulo: MAKRON Books Ltda, 1999.
- SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**. Disponível em: www.dnpm.gov.br/ba/conteudo.asp?IDSecao=288&IDPagina. Acesso em: 23 jan. 2011.
- SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.
- TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Edição do Autor, Rio Claro, 1992.
- THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações**. São Paulo: Atlas, 1997.
- TREMBLAY, J.; BUNT, R. B. **Ciência dos computadores**: uma abordagem algorítmica. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.
- ULLMAN, J. D. **Principles of database system**. 2. ed. Rockville: Computer Science Press, 1982.
- VIDAL, M. C. R. **Ergonomia na empresa**: útil, prática e aplicada. Rio de Janeiro: 2. ed. Virtual Científica, 2000.
- VISBISKI, I.; SOUZA, R. B. **O desenvolvimento de uma ferramenta para avaliação**

ergonômica das escolas. Especialização — Formulação e Gestão de Políticas Públicas. Universidade Estadual do Noroeste do Paraná. Cascavel, Paraná. 2007. Disponível em: http://www.escoladegoverno.pr.gov.br/arquivos/File/artigos/educacao/o_desenvolvimento_de_uma_ferramenta_questao_ergonomica.pdf. Acesso em: 17 dez. 2010.

WISNER, A. **Por dentro do trabalho:** ergonomia, método e técnica. São Paulo: FTD: Oboré, 1972.

WORBOYS, M. F. **GIS:** a computing perspective. London: Taylor and Francis, 1995.