

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

**Extensão do
Framework GeoFrame
para Modelagem de Processos
de Análise Geográfica**

por

CLÁUDIO RUSCHEL

Dissertação submetida à avaliação,
como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação.

Prof. Dr. Cirano Iochpe
Orientador

Prof. Dr. Jugurta Lisboa Filho
Co-Orientador

Porto Alegre, outubro de 2003.

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Ruschel, Cláudio

Extensão do *Framework* GeoFrame para Modelagem de Processos de Análise Geográfica / por Cláudio Ruschel - Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2003.

108 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, RS - Brasil, 2003. Orientador: Iochpe, Cirano; co-orientador: Lisboa Filho, Jugurta.

1. Modelos Conceituais de Dados. 2. Sistemas de Informação Geográficos. 3. Bancos de Dados Geográficos 4. *Framework*. 5. Orientação a Objetos. I. Iochpe, Cirano. II. Lisboa Filho, Jugurta. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Profa. Wrana Maria Panizzi

Pró-Reitor de Ensino: Prof. José Carlos Ferraz Hennemann

Pró-Reitora Adjunta de Pós-Graduação: Prof.^a Jocélia Grazia

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenador do PPGC: Prof. Carlos Alberto Heuser

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

Agradecimentos

Ao Instituto de Informática da UFRGS e ao Programa de Pós-Graduação em Computação, pelo cumprimento da missão de ensino e pesquisa de alta qualidade, que pude testemunhar.

Ao Prof. Cirano Iochpe, pela competência e dignidade com que conduz a sua tarefa de orientador.

Ao Prof. Jugurta Lisboa Filho, pela ajuda prestada e pelo exemplo de postura altruísta sobre o conhecimento que produz.

De forma geral, a todos os pesquisadores que disponibilizam o conteúdo do seu trabalho livremente na Internet, difundindo democraticamente o conhecimento produzido.

Aos colegas do PPGC que, em algum momento, colaboraram na construção e validação desse trabalho.

À Universidade Luterana Brasileira, mais particularmente à Diretoria de Pesquisa e ao Departamento de Informática, que demonstraram confiança e apoiaram o desenvolvimento desse trabalho.

À diretoria e colegas da Magna Engenharia Ltda., que acompanharam e compreenderam a dedicação à complementação de minha formação profissional.

Aos meus familiares e amigos que acompanharam minha trajetória, compartilhando as angústias e as pequenas vitórias ao longo do caminho.

Em particular, aos meus pais, pela confiança e amor depositados em mim.

Por último, e, sem dúvida, não menos importante, à minha esposa, Maria Andrea, pela compreensão, carinho e apoio renovado a cada dia dessa jornada, fator fundamental para que fosse concluída com sucesso.

Para superar os momentos de incerteza na pesquisa, lembro uma mensagem de Paulo Freire: "Não é que nos seja impossível estar certos de alguma coisa: impossível é estar absolutamente certos, como se a certeza de hoje fosse necessariamente a de ontem e continue a ser a de amanhã".

Sumário

Lista de Figuras.....	6
Lista de Tabelas.....	8
Lista de Abreviaturas.....	9
Resumo	10
Abstract	11
1 Introdução	12
1.1 Motivação	12
1.2 Proposta da Dissertação	14
1.3 Estrutura da Dissertação	15
2 O Framework Conceitual GeoFrame.....	16
2.1 Estrutura do GeoFrame	16
2.2 Limitações do GeoFrame para suporte a Processos.....	21
3 Operações de Análise Geográfica	22
3.1 Revisão de Operações sobre Dados Geográficos.....	24
3.1.1 Descrição de operações no nível lógico	24
3.1.2 Descrição de operações no nível de representação	28
3.1.3 Operações implementadas em software de SIG	35
3.2 Definição de um Catálogo de Operações Geográficas para o GeoFrame.....	38
3.2.1 Seleção (Selection)	40
3.2.2 Seleção Espacial (Spatial Selection)	41
3.2.3 Seleção por Região (Region Selection).....	41
3.2.4 Classificação (Classify).....	42
3.2.5 Zona de Influência (Buffer).....	44
3.2.6 Superposição (Overlay)	45
3.2.7 Diagrama Voronoi (Voronoi Diagram)	47
3.2.8 Declividade (Slope)	48
3.2.9 Intervisibilidade (Viewshed)	48
3.2.10 Difusão (Spread).....	49
3.2.11 Transformação (Transform)	49
3.2.12 Distância (Distance)	50
3.2.13 Centróide (Centroid).....	50
3.2.14 Agregação (Dissolve).....	51
3.2.15 Interpolação (Interpolation).....	51
3.2.16 Síntese das Operações do Catálogo do GeoFrame	52
4 Processos de Análise Geográfica.....	54
4.1 Processos de Análise Geográfica em Software de SIG.....	55
4.1.1 Exemplo 1: Determinação de Local para Instalação de uma Indústria	56
4.1.2 Exemplo 2: Geração de regiões administrativas homogêneas	59
4.2 Elementos Necessários para Modelagem de Processos de Análise Geográfica.	60
4.2.1 Especificação Externa	61

4.2.2	Especificação Interna	61
4.3	Modelos Conceituais de Bancos de Dados Geográficos com Suporte a Processos	62
4.3.1	Modelagem Dinâmica no GMOD	62
4.3.2	Modelagem de Fenômenos Espaço-Temporais do Tryfona+.....	65
4.3.3	Diagramas de Transformação do OMT-G.....	66
4.3.4	Análise Comparativa dos Modelos.....	68
4.4	Recursos da UML para a Modelagem de Processos.....	70
4.4.1	RUP - Processo Unificado Rational	70
4.4.2	Modelagem de Processos usando UML	72
5	Proposta de Extensão do Framework GeoFrame.....	78
5.1	Levantamento de Requisitos para a Definição de Processos	78
5.2	Alternativas para a Expressão de Processos de Análise Geográfica.....	81
5.2.1	Alternativa 1 - Operações em classes do modelo do usuário	82
5.2.2	Alternativa 2 - Operações em uma classe do framework	84
5.2.3	Alternativa 3 - Utilizando Atividades e Ações.....	86
5.2.4	Análise Comparativa das Alternativas	89
5.2.5	Seleção de uma Alternativa de Expressão de PAG	90
5.3	Detalhamento da Alternativa Seleccionada	92
5.3.1	Pacotes do GeoFrame	93
5.3.2	O Pacote PGeoFrame-A e a Classe Processo	94
6	Exemplo de Aplicação	96
7	Conclusão.....	101
	Referências	103

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 - Arquitetura Lógica do GeoFrame.....	17
FIGURA 2.2 - Estrutura de classes do <i>framework</i> GeoFrame	17
FIGURA 2.3 - Estereótipos de representação espacial do GeoFrame.....	18
FIGURA 2.4 - Exemplo de substituição de esquemas através de pictograma.	19
FIGURA 2.5 - Padrão de análise Campo Geográfico Categórico	19
FIGURA 2.6 - O pacote <i>PGeoFrame-T</i>	20
FIGURA 2.7 - Exemplo de modelo espaço-temporal usando GeoFrame-T	21
FIGURA 3.1 - O paradigma dos cinco universos de abstração.....	23
FIGURA 3.2 - Classes de geometria básicas.....	33
FIGURA 3.3 - Estrutura da classe <i>GM_Object</i>	34
FIGURA 3.4 - Estrutura da classe <i>GM_Solid</i>	35
FIGURA 3.5 - Estrutura da classe <i>Coverage</i> , conforme especificação OGC	35
FIGURA 3.6 - Aplicação da operação <i>Zona de Influência</i> sobre objetos geográficos.....	45
FIGURA 3.7 - Aplicação da operação <i>Superposição</i> sobre campos geográficos	46
FIGURA 3.8 - Aplicação da operação <i>Superposição</i> sobre objetos geográficos	47
FIGURA 4.1 - Tarefa simples de seleção por atributos no <i>software</i> SPRING	55
FIGURA 4.2 - Solução do exemplo 1 através da modelagem cartográfica do Idrisi	57
FIGURA 4.3 - Modelo de <i>workflow</i> apresentado pela interface do <i>software</i> WOODSS ..	58
FIGURA 4.4 - Solução do exemplo 2 através da modelagem gráfica do FME	59
FIGURA 4.5 - Detalhes dos mapas do processo do exemplo 2	60
FIGURA 4.6 - Diagrama de classes do GMOD.	63
FIGURA 4.7 - Relacionamento causal no GMOD.....	63
FIGURA 4.8 - Exemplo de Diagrama de Estados no GMOD	64
FIGURA 4.9 - Exemplo de Diagrama de Fluxo de Dados no GMOD.....	64
FIGURA 4.10 - Diagrama de classes do <i>Framework</i> Tryfona+	65
FIGURA 4.11 - Diagrama de colaboração baseado no Tryfona+	66
FIGURA 4.12 - Representação das classes no OMT-G.....	67
FIGURA 4.13 - Diagrama em OMT-G para geração de mapa de nível sonoro	68
FIGURA 4.14 - Gráfico da Estrutura do RUP	71
FIGURA 4.15 - Excerto de um diagrama de classes expressando processos	74

FIGURA 4.16 - Notações de Atividade	75
FIGURA 4.17 - Meta-modelo parcial do pacote de Atividades Básicas.....	76
FIGURA 4.18 - Meta-modelo parcial de nós e segmentos de atividade	77
FIGURA 5.1 - Diagrama inicial de casos de uso.	79
FIGURA 5.2 - Diagrama de Atividades de um caso de uso.....	80
FIGURA 5.3 - Realizações de um caso de uso.	81
FIGURA 5.4 - Diagrama de seqüências com operações em classes do usuário.	83
FIGURA 5.5 - Diagrama de classes com operações em classes do usuário.....	84
FIGURA 5.6 - Diagrama de seqüência com operações em uma classe do <i>framework</i>	85
FIGURA 5.7 - Diagrama de classes com operações em uma única classe do <i>framework</i> . ..	86
FIGURA 5.8 - Diagrama de classes com notação de interface.	86
FIGURA 5.9 - Diagrama de classes parcial do GeoFrame incorporando Processo.....	87
FIGURA 5.10 - Diagrama de classes utilizando classe do tipo <i>Processo</i>	88
FIGURA 5.11 - Especificação interna de PAG usando diagrama de atividades.....	88
FIGURA 5.12 - Modelo de pacotes proposto para o GeoFrame.	93
FIGURA 5.13 - Estereótipo para representar especialização da classe Processo.	94
FIGURA 5.14 - Pacote <i>PGeoFrame-A</i>	94
FIGURA 6.1 - Esquema do problema da pressão de água.	96
FIGURA 6.2 - Diagrama de casos de uso.	97
FIGURA 6.3 - Diagrama de Atividades.....	97
FIGURA 6.4 - Diagrama de classes usando <i>PGeoFrame-A</i>	98
FIGURA 6.5 - Diagrama da atividade CalculaSuperfíciePressão.....	99

Lista de Tabelas

TABELA 3.1 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Aronoff.....	25
TABELA 3.2 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Chrisman.	26
TABELA 3.3 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Albrecht.	27
TABELA 3.4 - Comparativo entre as taxonomias de Albrecht, Aronoff e Chrisman.	27
TABELA 3.5 - Operações atômicas sobre objetos geográficos segundo Câmara et al.....	28
TABELA 3.6 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Tomlin.	29
TABELA 3.7 - Operadores propostos por Egenhofer para estender a linguagem SQL.....	30
TABELA 3.8 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Câmara.....	30
TABELA 3.9 - Operadores de transformação, segundo Davis.	31
TABELA 3.10 – Taxonomia de operações de análise geográfica, segundo Rigaux et al. ...	31
TABELA 3.11 - Operações disponíveis no <i>software</i> FME Workbench.	36
TABELA 3.12 - Métodos disponíveis no MapObjects.	37
TABELA 3.13 - Operações disponíveis no Oracle Spatial.	38
TABELA 3.14 - Classificação de Albrecht relacionada ao catálogo de operações.	39
TABELA 3.15 - Exemplo de resultados de agrupamento de atributos.	44
TABELA 3.16 - Síntese das operações propostas para o catálogo do GeoFrame.....	53
TABELA 4.1 – Síntese da análise comparativa dos modelos que contemplam PAG.....	70
TABELA 5.1 – Síntese da análise comparativa entre alternativas usando critérios básicos.	90
TABELA 5.2 – Síntese da avaliação de alternativas usando critérios detalhados.	92

Lista de Abreviaturas

BDG	Banco de Dados Geográficos
CASE	Computer Aided Software Engineering
FME	Feature Manipulation Engine
GMOD	Modelo de Dados Geográficos
ISO	International Standardization Organization
OGC	Open GIS Consortium, Inc.
OMG	Object Management Group
OMT	Object Modeling Technique
PAG	Processo de Análise Geográfica
RUP	Rational Unified Process
SAIF	Spatial Archive and Interchange Format
SDTS	Spatial Data Transfer Standard
SIG	Sistemas de Informação Geográficos
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SQL	Structured Query Language
TIN	Triangulated Irregular Network
UML	Unified Modeling Language

Resumo

As particularidades encontradas na modelagem de bancos de dados geográficos tornam necessário o desenvolvimento de modelos específicos. A totalidade dos modelos desenvolvidos oferece recursos para a modelagem de aspectos estáticos. Alguns dos modelos apresentam soluções parciais para a modelagem de aspectos dinâmicos. A possibilidade de executar processos de análise geográfica, que alteram o estado dos componentes do banco de dados geográficos é, de forma geral, a maior motivação para justificar os investimentos necessários para a sua construção. A formalização desses processos em um modelo conceitual, na fase de projeto, torna desnecessário o uso da terminologia específica que cada *software* de SIG emprega. A solução desenvolvida estende um *framework* conceitual (GeoFrame) com uma semântica que suporta a expressão de processos de análise geográfica, mantendo compatibilidade com a linguagem UML. Para utilizar de forma adequada os recursos do *framework*, uma metodologia para a elaboração do modelo do usuário é indicada. Nessa metodologia, os processos são identificados a partir da elaboração de diagramas de casos de uso e atividades, incorporados no diagrama de classes e detalhados através de diagramas de atividades contendo ações. Um levantamento sobre operações utilizadas em processos de análise geográfica abrangendo a visão conceitual, lógica e de implementação de vários autores levou à construção de um catálogo de operações geográficas. Essas operações foram modeladas utilizando os elementos de modelagem de comportamento da especificação da UML, versão 2.0. O conjunto de recursos oferecidos nesse trabalho proporciona ao projetista de bancos de dados geográficos o desenvolvimento de uma especificação em alto nível e abrangente, utilizando a linguagem UML, reconhecida como padrão em modelagem de sistemas.

Palavras-chave: Modelos Conceituais de Dados, Sistemas de Informação Geográficos, Bancos de Dados Geográficos, *Framework*, Orientação a Objetos.

TITLE: "GEOFRAME FRAMEWORK EXTENSION FOR GEOGRAPHICAL ANALYSIS PROCESSES MODELING"

Abstract

Singularities found in geographical database modeling lead to the development of specific models. All of the models developed up to now allow the modeling of static aspects. Some of them present partial solutions for dynamical aspects modeling. The possibility of executing geographical analysis processes that modify the state of the geographical database is the greatest motivation to justify the investment needed for its construction. The formalization of these processes in a conceptual model, during the project phase, makes unnecessary the use of each GIS software specific terminology. The solution built extends a conceptual framework (GeoFrame) using semantics that supports the expression of geographical analysis processes, while staying compatible with the UML language. In order to use the framework resources in a proper manner, a method to make the user's model is presented. In such method, the processes are identified by building use cases and activity diagrams, included in the classes diagram and detailed through activity diagrams containing actions. A survey about the operations used in geographical analysis processes covering the conceptual, logical and implementational vision from several authors, lead to a geographical operations catalog. These operations where modeled using behavioral modeling elements from UML specification, version 2.0. The set of resources offered in the present work gives to the geographical database designer the development of a wide and high level specification, using UML language, which is a standard in system modeling.

Keywords: Conceptual Data Models, Geographical Information Systems, Geographical Database, Framework, Object Orientation.

1 Introdução

O conhecimento do espaço em que vivemos sempre foi de grande valor para a humanidade. Há alguns séculos atrás, a informação geográfica existente era imprecisa, pouco organizada e pouco disponível. Essas limitações não se verificam mais nos dias de hoje. Para muitas regiões do planeta existe informação geográfica em abundância, obtida através de métodos que garantem sua precisão.

Nos últimos anos, a utilização da informática tem colaborado decisivamente na organização e disponibilização da informação geográfica. Informações espaciais e descritivas são mantidas integradas em Bancos de Dados Geográficos (BDG). A apresentação (usualmente sob forma de mapas) e a geração de nova informação a partir do processamento desses dados ocorre através de Sistemas de Informação Geográficos (SIG).

Em decorrência da união entre geografia e informática, um grupo renomado de pesquisadores, liderados por Michael Goodchild, definiu o escopo da Ciência da Informação Geográfica [GOO 97]. Essa ciência multidisciplinar (em inglês, *Geographic Information Science - GIScience*), é a ciência que fica por trás da tecnologia, buscando respostas para questões levantadas através do uso de sistemas e tecnologias. Dentre as diversas questões apresentadas, constam:

- como a representação computacional pode tornar-se mais parecida com a maneira que as pessoas pensam?

- como os métodos de análise (espacial ou geográfica) podem ser apresentados de tal forma que os usuários possam efetuar uma escolha entre eles?

As técnicas de modelagem de dados utilizadas para o desenvolvimento de sistemas informatizados podem ajudar a resolver tais questionamentos. A informação geográfica apresenta peculiaridades que a diferencia dos tipos de dados utilizados na maioria dos sistemas informatizados. Por isso, técnicas de modelagem específicas para esse domínio de aplicação são desenvolvidas.

O presente trabalho trata da extensão de uma metodologia de modelagem que, entre outros objetivos, tenta responder às questões apresentadas acima. As seções a seguir apresentam a motivação do desenvolvimento desse trabalho, os objetivos que buscou-se atingir e a metodologia utilizada. Ao final desse capítulo é apresentada a estrutura da dissertação.

1.1 Motivação

Um SIG pode ser definido sob diferentes visões. Câmara [CAM 95] indicou, como principais características desse domínio de sistemas, a integração em uma única base de dados de informações espaciais provenientes de diversas fontes e a oferta de mecanismos para combinar essas informações através de algoritmos de manipulação e análise.

O BDG representa o conjunto de dados utilizados por um SIG. Cada *software* de SIG possui uma arquitetura particular. Alguns deles enxergam os dados geográficos de

forma isolada, enquanto, em outros, a definição da estrutura e do relacionamento desses dados é uma exigência do sistema.

Independente da forma em que forem implementados, é fundamental que o usuário de um SIG compreenda quais são os dados envolvidos e como esses dados relacionam-se entre si. A modelagem conceitual de dados é um recurso básico no projeto de um BDG, assim como no uso do sistema após implantado.

O domínio da informação geográfica apresenta particularidades que dificultam a modelagem do BDG baseada somente em técnicas e modelos de dados convencionais. Vários autores, como em [KOS 97], [PIR 97], [PAR 99], [LIS 2000], [DAV 2000], [LOP 2002], desenvolveram ou aperfeiçoaram modelos de dados para melhor representar a realidade geográfica.

Todos eles abrangem a característica estática dos dados e a maioria utiliza a linguagem UML (*Unified Modeling Language*). O uso da UML configura-se, hoje, como uma vantagem, visto que essa linguagem é reconhecida como um padrão e é suportada por um grande número de ferramentas CASE (*Computer Aided Software Engineering*). Dentre esses modelos, vale destacar o *framework* GeoFrame [LIS 2000], desenvolvido por pesquisadores da UFRGS, o qual utiliza os mecanismos de extensão oferecidos pela UML para a modelagem conceitual de BDG, buscando manter total compatibilidade com essa linguagem.

Após a implantação dos dados relacionados no modelo conceitual, com a aplicação de processos de análise geográfica, novos dados relevantes podem ser gerados. Em muitas situações, a obtenção desses novos dados é o objetivo principal de um SIG e a especificação de como eles podem ser elaborados não é executada de maneira formal, ou é utilizada uma técnica que não utiliza o modelo de dados existente.

Segundo Timpf [TIM 2001], o principal impedimento para a disseminação do uso da informação geográfica é o lapso entre a forma de um usuário expressar uma atividade de processamento geográfico e a seqüência de operações que um SIG necessita para executá-la com sucesso. Timpf estimula uma mudança de paradigma: não modelar os dados ("o quê"), mas sim modelar as atividades ("como" e "por quê").

Um Processo de Análise Geográfica (PAG) é constituído de um conjunto de operações de análise geográfica, as quais são executadas de forma seqüencial ou paralela. O entendimento, em tempo de projeto do BDG, da relação de dependência entre os dados originais e dados que devem ser gerados, assim como quais recursos devem ser utilizados em um PAG, apresenta vantagens. Com esse entendimento, podem ser observados quais os dados críticos que ainda devem ser adquiridos e quais os requisitos que um *software* de SIG deve atender para executar os processos previstos. Dessa forma, os investimentos na obtenção de dados e na aquisição de licenças de *software*, que não são poucos, podem ser direcionados com maior objetividade.

Por exemplo, uma aplicação sobre um BDG urbano pode ter como objetivo determinar a população por bairro. A melhor informação sobre população disponível são os setores censitários do IBGE. Uma operação geográfica de superposição entre bairros e setores censitários determina quais setores podem ser considerados integralmente ou parcialmente dentro de um bairro. Um critério simples para estabelecer o percentual de população de um setor fracionado em cada bairro é considerar a população uniformemente

distribuída. Nesse caso, a população é proporcional à fração da área. Se o requisito da aplicação exigir uma maior precisão na determinação dessa população, é necessário buscar outros dados que permitam estimar melhor a distribuição da população como, por exemplo, cadastro imobiliário, ligações de luz ou de água. Uma nova operação de superposição indica qual a população em cada fração de setor censitário.

Nem sempre é possível prever, em tempo de projeto, todos os processos que deverão ser executados durante a vida útil de um sistema. A especificação formal de processos, em tempo de produção, também apresenta vantagens. A qualidade dos dados resultantes de um processo só pode ser determinada se o processo que gerou esses dados e a qualidade dos dados originais envolvidos forem conhecidos. É muito comum executar-se um processo através dos recursos de um *software* de SIG, gerando novos dados que não são devidamente documentados. Se a execução desse processo é ordenada apenas através de uma interface com caixas de diálogo, sem alguma espécie de registro de "log", a identificação e utilização posterior de um dado resultante de um processo torna-se muito difícil. Nessas situações, pode ocorrer o desprezo de dados já processados em situações anteriores e não documentados, exigindo definição e execução redundantes do mesmo PAG.

A relação de dependência entre dados originais e dados gerados e a possibilidade de especificação de processos de análise geográfica seriam recursos de grande utilidade, caso estivessem presentes nos modelos conceituais desenvolvidos para o domínio de BDG.

Contudo, apenas alguns desses modelos oferecem recursos para a representação de aspectos dinâmicos dos dados. Além disso, nenhum dos modelos conhecidos, pelo autor, oferece uma solução completa e compatível com a UML, inclusive para a definição de processos de análise geográfica, conforme descrito no capítulo 4.

Essa conjuntura motivou o desenvolvimento de um modelo capaz de capturar os aspectos dinâmicos envolvidos em um SIG, a partir de um modelo conceitual no domínio da informação geográfica que já oferecesse uma boa infraestrutura para a expressão dos aspectos estáticos.

1.2 Proposta da Dissertação

O objetivo desse trabalho foi o de investigar e propor formas corretas e eficientes para que o usuário modele seus processos de análise geográfica.

Optou-se por estender um modelo existente no domínio de SIG para atender essas características em detrimento ao desenvolvimento de um novo modelo, de tal forma que os esforços pudessem ser concentrados na capacidade de expressar processos sobre um modelo já conhecido e utilizado.

O modelo conceitual escolhido foi o *framework* GeoFrame [LIS 2000]. Por ser mais recente, já foi concebido totalmente em UML, enquanto que modelos anteriores ainda usam linguagens menos completas.

Esse *framework* tem sido utilizado em projetos de SIG de porte em instâncias federais (ex.: 1^a. Divisão de Levantamento do Serviço Geográfico do Exército), estaduais

(ex.: no Rio Grande do Sul: Programa Pró-Guaíba, FEPAM-PNMA2) e municipais (ex.: Projeto SIGPOA da Prefeitura Municipal de Porto Alegre).

O GeoFrame, em consequência dessa extensão, oferece agora recursos para representar um conjunto de operações de análise geográfica e um conjunto de construtores para a modelagem de processos de análise geográfica.

Ao executar o levantamento de técnicas utilizadas para modelagem de processos em SIG, percebeu-se uma grande diversidade na nomenclatura das operações utilizadas durante o processo. A classificação das operações em SIG acabou exigindo uma pesquisa mais aprofundada, envolvendo conceitos de diversas fontes. O resultado desse estudo conduziu à elaboração de um catálogo básico de operações compatível com o nível de abstração utilizado no GeoFrame.

Os construtores para a modelagem de processos, também apresentados de diversas formas nas soluções existentes, foram incorporados ao GeoFrame através de recursos disponíveis nas especificações da linguagem UML [OMG 2003a] [OMG 2003b].

1.3 Estrutura da Dissertação

Essa dissertação discorre praticamente sobre dois temas: metodologia para expressar processos de análise geográfica e operações utilizadas em processos de análise geográfica. Ambos são integrados em uma proposta de extensão do *framework* GeoFrame.

O capítulo 2 apresenta a versão atual do *framework* GeoFrame, que foi o recurso mais importante para o desenvolvimento da solução proposta.

O capítulo 3 apresenta um levantamento sobre a classificação de operações de análise geográfica em distintos níveis de abstração e a definição de um catálogo de operações geográficas.

O capítulo 4 apresenta o levantamento realizado sobre PAG. Trata-se de um estudo sobre como são utilizados os processos em *software* de SIG, os elementos necessários para sua modelagem e quais os modelos conceituais no domínio de BDG que abrangem esse tipo de modelagem.

O capítulo 5 apresenta a principal contribuição dessa dissertação, ou seja, a proposta de extensão do *framework* GeoFrame, incluindo as alternativas de solução que foram exploradas.

O capítulo 6 mostra um exemplo de utilização da extensão proposta, enquanto que a conclusão sobre o trabalho é apresentada no capítulo 7.

2 O Framework Conceitual GeoFrame

O GeoFrame é um *framework* conceitual baseado no formalismo de orientação a objetos utilizando a linguagem UML. O GeoFrame fornece um diagrama de classes (pacote *PGeoFrame*) que pode ser usado como base para a modelagem das classes de um domínio da aplicação, no caso, de aplicações geográficas (pacotes *Tema*). Os esquemas produzidos com o uso desse *framework* podem ser denominados esquemas UML-GeoFrame. Além disso, o GeoFrame pode ser utilizado na especificação de padrões de análise em banco de dados geográficos. Proposto inicialmente por Lisboa [LIS 2000], o GeoFrame encontra-se na versão 2.0 [ROC 2001a].

O conceito de *framework* adotado no GeoFrame é o de um projeto genérico em um domínio que pode ser adaptado a aplicações específicas, servindo como um molde para a construção de aplicações. Esse conceito difere daquele de Johnson [Apud ROC 2001a], muito utilizado na área de orientação a objetos, onde *framework* é um projeto reutilizável de um programa, ou parte de um programa, expresso por um conjunto de classes.

O produto gerado, a partir do *framework* conceitual, não é um *software* executável, mas sim, um esquema conceitual de dados que, posteriormente, deverá ser traduzido para um esquema de dados específico do SIG, no qual será desenvolvida a aplicação.

A seção 2.1 apresenta a estrutura do *framework* conceitual GeoFrame, conforme a versão 2.0 [ROC 2001a]. A seção 2.2 discorre sobre as limitações que essa versão do GeoFrame apresenta para especificação de processos de análise geográfica.

Para facilitar a identificação de termos relacionados a classes e pacotes do GeoFrame, a partir desse ponto, ao longo do texto, tanto nomes de classes quanto de pacotes do GeoFrame serão grifados em fonte "*Verdana itálico*".

2.1 Estrutura do GeoFrame

É comum que o BDG utilizado em uma aplicação seja composto de uma grande quantidade de informações espaciais de natureza distinta como, por exemplo, altimetria, sistema viário, sistema de distribuição de água e monitoramento ambiental. As informações de mesma natureza ou fortemente relacionadas constituem um grupo, que no GeoFrame foi denominado *Tema*. O *Tema* é representado pelo construtor "Pacote" da UML, sendo que um pacote pode conter outro pacote, permitindo assim uma organização modular na modelagem dos dados. O pacote *PGeoFrame* é constituído pela hierarquia de classes que serve para ser usada como base para a modelagem das classes do domínio da aplicação geográfica. A Figura 2.1 mostra os componentes de nível lógico que formam o *framework* conceitual GeoFrame, onde o pacote *Tema* pode ser formado recursivamente por outro pacote *Tema* e/ou pelo pacote *PGeoFrame*. A Figura 2.2 apresenta o pacote *PGeoFrame*, conforme apresentado na versão 2.0 [ROC 2001a].

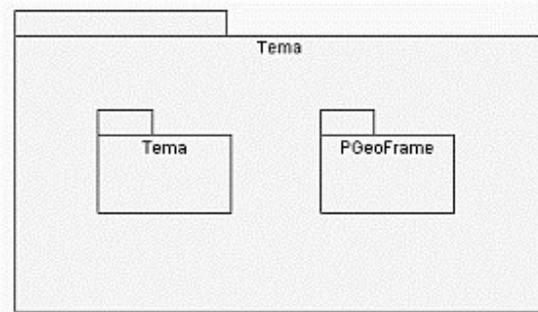
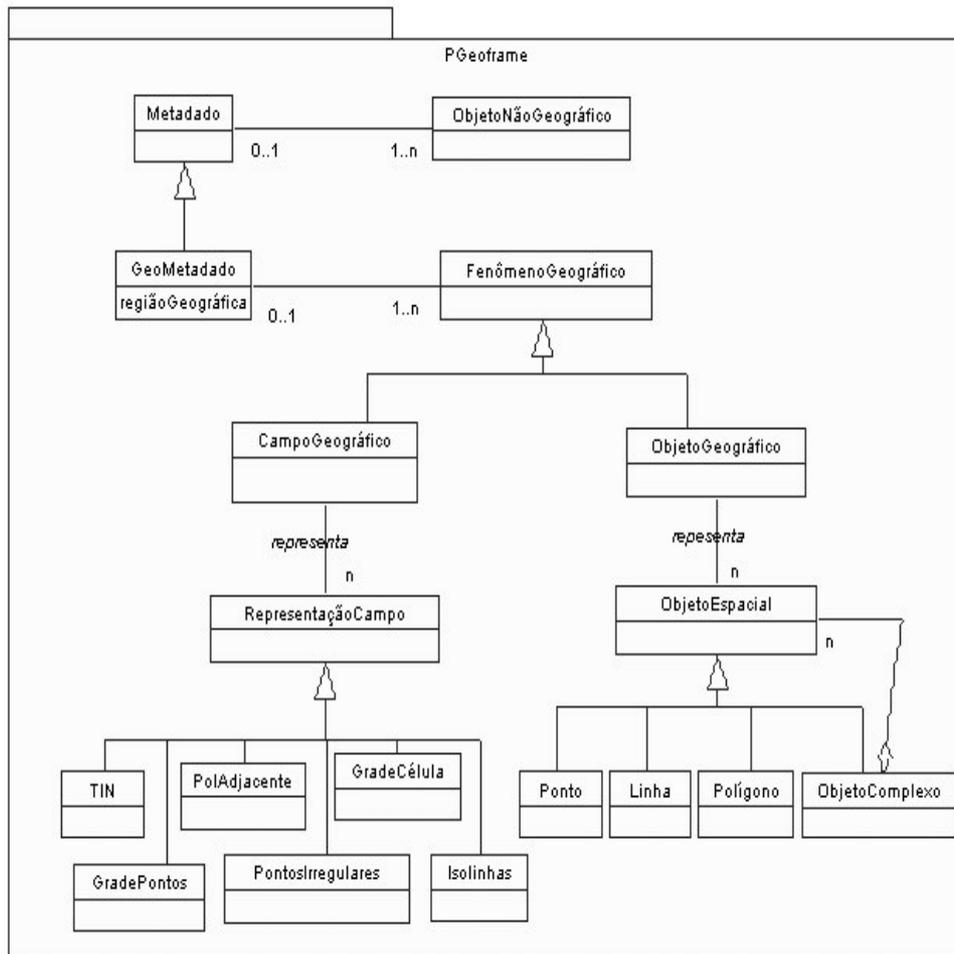


FIGURA 2.1 - Arquitetura Lógica do GeoFrame [ROC 2001a]

FIGURA 2.2 - Estrutura de classes do *framework* GeoFrame [ROC 2001a].

Os objetos que possuem característica espacial recaem na classe *FenômenoGeográfico*, enquanto que os demais, também denominados como objetos descritivos, recaem na classe *ObjetoNãoGeográfico*. Todo objeto pode ser associado a um objeto de metadados sendo que, quando o objeto é da classe *FenômenoGeográfico*, ele é associado com um objeto da classe *Geometadados* (especialização da classe *Metadados*) que contém um atributo descritivo que indica a região geográfica onde o fenômeno ocorre.

Seguindo o princípio da dicotomia de visão de campos e objetos introduzida por Goodchild [GOO 90], o GeoFrame especializa *FenômenoGeográfico* nas classes *ObjetoGeográfico* e *CampoGeográfico*.

Um objeto geográfico possui um ou mais atributos descritivos associados. O único atributo obrigatório deve conter um identificador único. É muito comum, em *software* de SIG, que esse identificador seja implementado internamente e não disponível para o usuário. Uma rodovia é um bom exemplo de objeto geográfico, pois ocorre em um local bem determinado e é perfeitamente identificável. A característica espacial de uma instância de *ObjetoGeográfico* pode ser representada por uma ou mais instâncias de *ObjetoEspacial*, as quais devem apresentar geometria de ponto, linha, polígono, ou uma combinação dessas geometrias.

Um campo geográfico não possui atributos nem identificadores; simplesmente possui valores distribuídos, no espaço, de acordo com uma função. A altimetria de uma região é um exemplo de *CampoGeográfico*, pois é um fenômeno contínuo que possui um valor de altitude para cada localização geográfica. Graficamente, só é possível representar fenômenos contínuos através de uma discretização desse fenômeno. Por isso, o GeoFrame associa o fenômeno do tipo *CampoGeográfico* com uma ou mais formas discretas oferecida pelas especializações da classe *RepresentaçãoCampo*, no caso: *Grade de Células*, *Polígonos Adjacentes* (tesselação), *Isolinhas*, *Rede Triangular Irregular (TIN)*, *Grade de Pontos* e *Pontos Irregulares*.

Para definir o esquema conceitual do BDG de uma aplicação, o usuário define classes da aplicação como especialização de classes do GeoFrame. Após, agrupa classes mais afins em temas distintos e, para cada tema, desenvolve um diagrama de classes utilizando os recursos da UML.

Quando uma classe do modelo for especialização de *FenômenoGeográfico*, a forma de representação adequada pode ser indicada com um conjunto de estereótipos propostos (Figura 2.3). Esses estereótipos são apresentados como pictogramas e incluídos no canto superior direito do retângulo que indica a classe.

ObjetoEspacial	RepresentaçãoCampo
 Ponto	 GradeCélulas
 Linha	 GradePontos
 Polígono	 PolAdjacentes
 Complexo	 Isolinhas
	 TIN
	 PontosIrregulares

FIGURA 2.3 - Estereótipos de representação espacial do GeoFrame.

No modelo do usuário, o pictograma indica uma associação entre a classe do usuário e a especialização da representação do *framework*, conforme exibido no exemplo da Figura 2.4, onde a classe lago do modelo do usuário está associada com a representação polígono do *framework*.

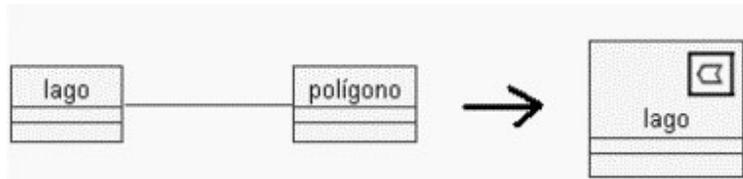


FIGURA 2.4 - Exemplo de substituição de esquemas através de pictograma.

Lisboa apresentou, em [LIS 2000], um conjunto inicial de padrões de análise utilizando o GeoFrame. A esse conjunto inicial foram incorporados padrões para Rede de Coleta de Esgoto [BHE 2002] e Gestão Urbana [LIS 2002a].

No padrão de análise “Campo Geográfico Categórico” (exibido na Figura 2.5) [LIS 2000] foi introduzido o estereótipo <<função>>, caracterizando a relação entre um *CampoGeográfico* e uma sub-classe de *ObjetoNãoGeográfico* que representa a imagem da função de campo mapeada.

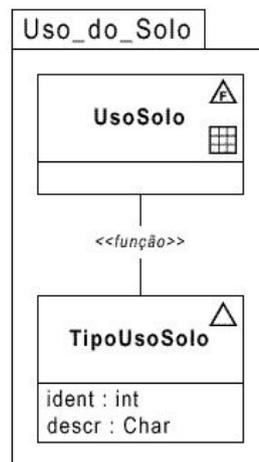


FIGURA 2.5 - Padrão de análise Campo Geográfico Categórico [LIS 2000].

Os esquemas UML-GeoFrame podem ser construídos utilizando-se ferramentas CASE compatíveis com a linguagem UML e que consigam apresentar estereótipos sob forma de pictograma.

Algumas ferramentas foram adaptadas para o desenvolvimento de esquemas em UML-GeoFrame com possibilidade de conversão desses esquemas para formatos de *software* de SIG. O CASEGEO [LIS 2002], desenvolvido a partir do *software Visio Professional*, foi implementado inicialmente para gerar esquemas no formato *shapefile* do *software ArcView*. O RoseGIS [HES 2003], desenvolvido no ambiente do *software Rational Rose*, converte para o formato SAIF, utilizando as regras de transformação de UML-GeoFrame para SAIF definidas por Costa [COS 2001]. Utilizando-se o *software FME - Feature Manipulation Engine*, o formato SAIF pode ser convertido para um grande número de formatos de *software* de SIG.

Uma extensão ao pacote *PGeoFrame*, suportando aspectos temporais foi proposta por Rocha [ROC 2001], que apresentou o pacote *PGeoFrame-T* (Figura 2.6).

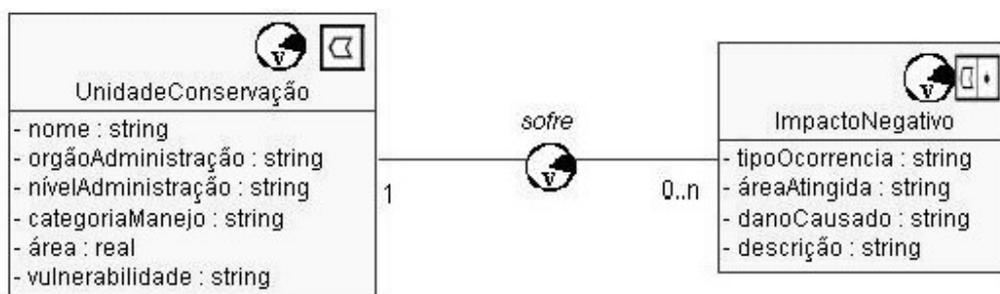


FIGURA 2.7 - Exemplo de modelo espaço-temporal usando GeoFrame-T.

2.2 Limitações do GeoFrame para suporte a Processos

O *framework* conceitual GeoFrame diferencia-se de outros modelos conceituais para tipos de dados geográficos ao buscar a compatibilidade total com a linguagem UML. A partir dessa compatibilidade, permite que suas características e definições sejam melhor exploradas, podendo beneficiar-se dos recursos oferecidos pelas diversas ferramentas de modelagem da UML.

Em síntese, os recursos que o GeoFrame oferece são: estrutura de classes do pacote *PGeoFrame* (sem discriminação de atributos e operações), estereótipos e padrões de análise. Esses recursos são adequados para a especificação dos aspectos estáticos da informação geográfica, em nível conceitual, através do diagrama de classes da UML. Para aquelas aplicações onde a temporalidade dos dados é importante, utiliza-se o pacote *PGeoFrame-T*.

Para que a infraestrutura oferecida pelo GeoFrame possa também ser utilizada para descrever os aspectos dinâmicos de um BDG, é necessária a incorporação de recursos como os descritos a seguir:

- Oferecer um catálogo de operações de geoprocessamento de tal forma que possam ser utilizadas na especificação de processos.
- Incluir a capacidade de expressar, em um diagrama de classes, associações entre as classes originais e derivadas resultantes de processos de análise geográfica.
- Oferecer uma metodologia para especificação de processos de análise geográfica, utilizando outros recursos da UML ainda não explorados, como os diagramas comportamentais ou a expressão de processos no diagrama de classes.

Incorporar algoritmos para a implementação de operações de geoprocessamento está fora do contexto do GeoFrame. Entretanto, as operações do catálogo do GeoFrame podem ser mapeadas para serem executadas por um *software* de SIG que exponha seus objetos (e conseqüentemente, operações de análise geográfica) para uma linguagem de programação.

Se os recursos incorporados mantiverem compatibilidade com a UML, utilizando os mecanismos normais desse modelo e extensões adequadas, esquemas UML-GeoFrame podem ser implementados em ferramentas CASE. Nessa situação, o projetista pode ter a liberdade de ultrapassar o nível de modelo conceitual e, executando o detalhamento necessário, partir para a geração de código executável.

3 Operações de Análise Geográfica

A natureza espacial dos dados geográficos possibilita que se aplique operações geométricas e funções topológicas sobre eles. A forma de classificar e apresentar tais operações ainda é uma questão em aberto na área da geoinformação.

A forma de descrever uma operação depende diretamente do nível de abstração que se deseja utilizar. Gomes e Velho [GOM 95] propuseram o paradigma dos quatro universos. Trata-se de uma estrutura conceitual contemplando quatro níveis de abstração, ou seja, os universos físico, matemático, de representação e de implementação. O universo físico abrange os objetos reais; o universo matemático contempla uma descrição matemática dos objetos reais.

Já Fonseca [FON 2001] estende essa proposta, inserindo o nível de abstração cognitiva imediatamente após o nível físico e substituindo o nível matemático pelo nível lógico, como apresentado na Figura 3.1. No universo cognitivo, um fenômeno que ocorre no mundo real (universo físico) é capturado pelo sistema cognitivo de uma pessoa e armazenado em sua mente. A formalização desses conceitos ocorre no universo lógico, em alto nível (conceitos gerais) ou baixo nível (especializações). O universo lógico é ligado ao de representação por mediadores de semântica. O universo de representação é onde os elementos do universo lógico são descritos de uma maneira simbólica de tal forma que possam ser aplicadas operações sobre eles. Nesse universo de abstração é que são associados os conceitos de campo e objeto aos elementos geográficos. Os conceitos apresentados nos níveis lógico e de representação podem ser traduzidos para uma linguagem de computador no universo de implementação gerando, por exemplo, classes em uma linguagem orientada a objetos.

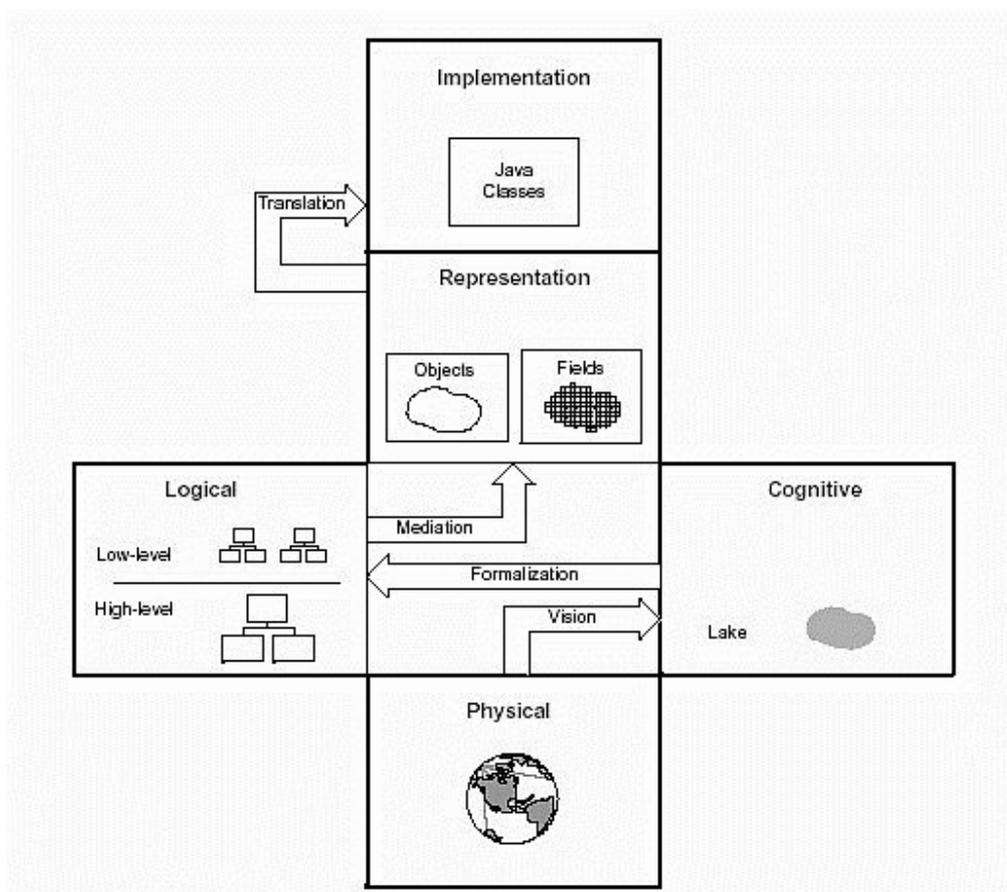


FIGURA 3.1 - O paradigma dos cinco universos de abstração [FON 2001].

Ao analisar o trabalho de diversos autores, é possível identificar o universo de abstração utilizado para descrever as operações. Os fenômenos do universo físico são interpretados para o universo cognitivo de cada autor que, por sua vez, expressa sua visão no universo lógico ou de representação.

Os esquemas em UML-GeoFrame situam-se no universo de representação, pois já indicam a opção pelo modelo de representação que é explicitada pelo projetista. Para que possam ser vinculadas aos dados, é necessário que as operações sejam especificadas também no contexto desse universo, visto que cada uma delas restringe as representações possíveis de serem processadas.

Como o GeoFrame é um modelo genérico e não destina-se apenas a uma família de aplicações, ele deve oferecer um catálogo abrangente de operações de análise geográfica. Por outro lado, considerando que o usuário de um modelo conceitual não tem o mesmo perfil de um programador (que está acostumado a navegar em catálogos com centenas de operações de classes), o número de operações disponíveis no catálogo não deve ser muito extenso.

Na seção 3.1 é apresentado um levantamento, a partir de fontes em distintos níveis de abstração, tratando de operações sobre dados geográficos. Na seção 3.2 é apresentado um catálogo de operações construído a partir dos subsídios fornecidos naquela seção.

3.1 Revisão de Operações sobre Dados Geográficos

Para estabelecer, no GeoFrame, uma classificação abrangente de operações no domínio, e concisa em termos de quantidade, foi necessário confrontar classificações originárias de diferentes universos de abstração.

A relação básica e o conceito das operações foram obtidas nas classificações originárias do universo lógico, pois tais classificações apresentaram características de abrangência e concisão mais adequadas. A compatibilização desses conceitos com os tipos de dados que são representados no GeoFrame foi obtida através da descrição de operações no universo de representação. Também foram levantadas operações implementadas em *software* para estabelecer um paralelo entre os universos de abstração de nível mais alto.

A seção 3.1.1 abrange autores que descrevem operações independentemente da sua forma de representação, enquadrando-as, portanto, no nível lógico de abstração. A seção 3.1.2 abrange autores que enquadraram sua descrição de operações em um modelo de dados onde a representação em campos e objetos já é considerada. As organizações de padronização (ISO e OGC) também enquadram operações nesse nível de abstração. Por fim, a seção 3.1.3 apresenta a forma como as operações foram implementadas em exemplos de *software* de SIG, caracterizando-as no universo de implementação.

O objetivo das seções a seguir é sintetizar as classificações de cada autor, destacando-se algumas características do seu ponto de vista.

Para cada classificação de operações é apresentada uma tabela. Nessas tabelas, utilizou-se a terminologia da fonte bibliográfica consultada. Não é objetivo desse trabalho discorrer sobre o significado de grande parte dos termos apresentados. A seção 3.2, que descreve as operações do catálogo do GeoFrame, relaciona aquelas operações com a terminologia apresentada por esses autores.

3.1.1 Descrição de operações no nível lógico

Nessa seção é reunida a visão de autores como [ARO 89], [CHR 97], [ALB 95] e [CAM 2000], que descreveram e classificaram operações sobre dados geográficos de forma genérica, sem buscar uma relação com um modelo de representação ou implementação.

3.1.1.1 Aronoff

Aronoff, em [ARO 89] classificou as funções de análise em SIG em quatro divisões principais, segundo o objetivo de seu uso e a fase de construção e produção do SIG em que são aplicadas:

- manutenção e análise de dados espaciais, incluindo transformação de formatos e geometrias, projeções cartográficas, ajuste de bordas, edição de elementos gráficos;
- manutenção e análise de dados de atributos, incluindo funções de edição e consulta de atributos;
- análise integrada de atributos e dados espaciais, conforme descrito a seguir;
- formatação de saída, incluindo anotação de mapas, aplicação de simbologia.

As operações mais relacionadas com processos de análise geográfica encontram-se na classe de análise integrada de atributos e dados espaciais, onde Aronoff estabeleceu os agrupamentos: recuperação/classificação/gerenciamento, sobreposição, vizinhança e conectividade. Segundo Albrecht [ALB 95], essa classificação recebeu grande influência do *Map Analysis Package*, um SIG em formato matricial desenvolvido por Tomlin na década de 80.

No grupo recuperação/classificação/gerenciamento, dados espaciais e descritivos são recuperados, mas apenas dados descritivos são atualizados. Não há alteração de elementos espaciais. O grupo "sobreposição" (*overlay operations*) abrange operações aritméticas e lógicas sobre os planos de informação. O grupo "vizinhança" (*neighbourhood operations*) contem operações que avaliam as características da área em torno de um local específico. O grupo "conectividade" (*connectivity functions*) usa funções que acumulam valores sobre a área que está sendo atravessada, considerando como os elementos são interconectados, um conjunto de regras que especifica o movimento ao longo das interconexões e uma unidade de medida. A Tabela 3.1 apresenta a relação de operações para cada grupo.

TABELA 3.1 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Aronoff

Grupo	Operações
<i>Retrieval / Classification / Measurement</i>	<i>Retrieval ; Classification ; Generalization ; Measurement</i>
<i>Overlay</i>	<i>Overlay</i>
<i>Neighbourhood Operations</i>	<i>Search (average, diversity, majority, maximum, minimum, total) ; Line-in-Polygon ; Point-in-Polygon ; Topographic (slope, aspect) ; Thiessen Polygons ; Interpolation (polynomial regression, Fourier, Kriging, splines, moving averages) ; Contour generation</i>
<i>Connectivity Functions</i>	<i>Contiguity measures ; Proximity (buffer) ; Network ; Spread ; Seek (stream) ; Intervisibility (viewshed) ; Illumination (shaded relief) ; Perspective View</i>

3.1.1.2 Chrisman

Chrisman [CHR 97] explora o entendimento dos componentes de um SIG, distinguindo operações geográficas de outros temas como estruturas de medidas e representação, e transformações de formatos. Em um mesmo *software* de SIG, encontram-se, de forma indistinta, operadores responsáveis pela adequação dos formatos das estruturas de representação (ex: transformação de projeções cartográficas, "limpeza" topológica de uma representação vetorial, reamostragem de uma representação matricial) e operadores geográficos "propriamente ditos". Os operadores que tratam das estruturas de representação são utilizados na fase de preparação de dados para as operações geográficas.

Conforme esse autor, para que as operações geográficas possam ser executadas é necessário que:

- todos os operadores estejam representados espacialmente na mesma unidade de referência, como projeção cartográfica;
- na representação matricial, as grades de células sejam compatíveis em termos de posição e tamanho;
- formatos de arquivos de dados sejam compatíveis com o *software* de SIG;

- os dados possuam estruturação topológica ou de rede adequada;
- a precisão seja compatível com o propósito da aplicação.

Dessa forma, organizou as operações (que são apresentadas na Tabela 3.2) em níveis evolutivos de complexidade, nos seguintes agrupamentos:

- operações baseadas em atributos, que modificam atributos descritivos de um determinado conjunto de objetos geográficos sem envolver o componente espacial, mas que podem afetá-lo;
- sobreposição, que trata da integração de diferentes fontes de informação;
- relacionamento de distância, expandindo os limites das operações de sobreposição, e incluindo a construção de zonas de influência e representações de Voronoi;
- superfícies e vizinhos próximos, considerando as operações que são aplicáveis a superfícies contínuas;
- operações abrangentes, as mais complexas, considerando a relação entre métodos de locação-alocação e SIG, e diferentes perspectivas entre análise estatística e SIG.

TABELA 3.2 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Chrisman.

Grupo	Operações
<i>Attribute based-operations</i>	<i>Group, Isolate, Classify, Scale, Rank, Evaluate, Rescale, Cross-tabulate, Sum, Difference, Rate, Density, Proportion, Aggregation</i>
<i>Overlay</i>	<i>Dominance Rules (Exclusionary screening, Exclusionary ranking, Highest bid, Highest bidder), Contributory Rules (Voting tabulation, Weighted voting, Linear combination, Weighting, Rating, Nonlinear combinations), Interaction Rules (Integrated survey, Factor combination, Rules of combination)</i>
<i>Distance Relationships</i>	<i>Buffer, Setback, Voronoi network, Delaunay triangulation</i>
<i>Surface and Near Neighbors</i>	<i>Slope, Combining neighborhood attributes (Drop-line aggregation, Majority filter, Diversity index, Edge detectors, Explicit combination, Max/min neighbor)</i>
<i>Comprehensive Operations</i>	<i>Iterative Operations (Viewshed, Cost Accumulation, Drainage Operations, Network Operations), Location-Allocation Problems, Statistical Modeling.</i>

3.1.1.3 Albrecht

Albrecht [ALB 95] deparou-se com o problema da taxonomia de operações em SIG desenvolvida por diversos autores, considerando-as limitadas tanto pela estrutura de dados nas quais elas se baseiam quanto para o escopo de aplicações para as quais elas tinham sido desenvolvidas. Esse autor destaca os esforços de padronização de modelos de dados (como o SAIF e o SDTS), o mesmo não ocorrendo com as operações geográficas, situação em que cita que a especificação OGC está restrita a operações de baixo nível e operações topológicas, não preocupando-se com uma definição em nível mais alto.

Excluindo operações que existem devido a requisitos históricos de pacotes de *software* ou resultam do modelo de dados utilizado, Albrecht desenvolveu uma lista de apenas 20 operações que considerou como operações universais de SIG que atendem às mais diferentes aplicações. Essas operações estão relacionadas na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Albrecht.

Grupo	Operações
<i>Search</i>	<i>Interpolation, Thematic Search, Search by Region, (Re-)classification</i>
<i>Location Analysis</i>	<i>Buffer, Corridor, Overlay, Thiessen/Voronoi</i>
<i>Terrain Analysis</i>	<i>Slope/Aspect, Catchment/Basins, Drainage/Network, Viewshed Analysis</i>
<i>Distribution/Neighborhood</i>	<i>Cost/Diffusion/Spread, Proximity, Nearest Neighbor</i>
<i>Spatial Analysis</i>	<i>Multivariate Analysis, Pattern/Dispersion, Centrality/Connectedness, Shape</i>
<i>Measurements</i>	<i>Measurements</i>

Para chegar a esse conjunto de operações, Albrecht estabeleceu o conjunto união do trabalho de 5 autores (Burrough, Goodchild, de Man, Rhind and Green, Unwin), resultando em uma lista de 144 operações [ALB 95]. Para cada uma das operações, além de descrever o nome da operação, os autores que assim a nomearam e a estrutura de dados (matricial, vetorial, TIN), estabeleceu uma rede de relações entre elas. Para tornar essa rede compreensível, transformou-a em uma rede de tarefas mais genéricas. As operações foram agregadas em etapas, até obter-se o conjunto final de 20 operações.

Como essa relação foi desenvolvida visando o usuário final, Albrecht ainda relacionou grupos de operações que não deveriam ser expostas para esse tipo de usuário, como as operações de transformação ("*Transformation*") e cálculo geométrico ("*Geometric computation*").

TABELA 3.4 - Comparativo entre as taxonomias de Albrecht, Aronoff e Chrisman.

Albrecht	Aronoff	Chrisman
<i>Interpolation</i>	<i>Interpolation, Contour Generation</i>	<i>Delaunay Triangulation</i>
<i>Thematic Search</i>	<i>Retrieval</i>	<i>Attribute based-operations</i>
<i>Search by Region</i>	<i>Retrieval</i>	
<i>(Re-)classification</i>	<i>Classification</i>	<i>Max/min neighbor</i>
<i>Buffer</i>	<i>Proximity(Buffer)</i>	<i>Buffer</i>
<i>Corridor</i>		<i>Setback</i>
<i>Overlay</i>	<i>Overlay</i>	<i>Overlay</i>
<i>Thiessen/Voronoy</i>	<i>Thiessen</i>	<i>Voronoi Network</i>
<i>Slope/Aspect</i>	<i>Topographic</i>	<i>Slope</i>
<i>Catchment/Basins</i>	<i>Seek (stream)</i>	
<i>Drainage Network</i>		<i>Drainage Operations</i>
<i>Viewshed Analysis</i>	<i>Intervisibility</i>	<i>Viewshed</i>
<i>Cost/Diffusion/Spread</i>	<i>Network, Spread</i>	<i>Cost Accumulation, Network</i>
<i>Proximity</i>		
<i>Nearest Neighbor</i>	<i>Search</i>	
<i>Multivariate Analysis</i>		<i>Statiscal Modeling</i>
<i>Pattern/Dispersion</i>		<i>Majority filter, diversity index</i>
<i>Centrality/Connectedness</i>		
<i>Shape</i>		
<i>Measurements</i>	<i>Measurement, Contiguity measures</i>	
<i>Transformation</i>		
<i>Geometric Computation</i>	<i>Line-in-polygon, Point-in-polygon</i>	<i>Aggregation, Edge detectors</i>

Ao considerar as abordagens de Albrecht, Aronoff e Chrisman observa-se que, além de terem sido desenvolvidas no nível lógico, possuem um grau de detalhamento semelhante. É, então, possível estabelecer um quadro relacionando tais classificações, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Apenas operações de visualização ("Illumination" e "Perspective View") relacionadas por Aronoff não puderam ser relacionadas à classificação de Albrecht. Os problemas de locação-alocação, apontados por Chrisman (location-allocation analysis), podem ser resolvidos, segundo Albrecht, pelas operações do grupo de análise de localização ("Location Analysis", relacionada na Tabela 3.3).

3.1.1.4 Câmara et alii

Em [CAM 2000] são definidas operações no nível denominado universo matemático, conforme definição de [GOM 95]. Nesse nível de abstração, o dado geográfico é denominado simplesmente como objeto espacial. Os objetos espaciais são classificados como simples, compostos homogêneos, simples não-homogêneos e compostos não-homogêneos. A partir dessa definição, os autores apresentam um conjunto mínimo de operações, denominadas operações atômicas (Tabela 3.5). Todas operações apresentadas foram definidas através de um formalismo matemático.

Nesse trabalho, foi adotado um conjunto de 9 relações topológicas, de acordo com o Consórcio Open GIS [OGC 2001].

TABELA 3.5 - Operações atômicas sobre objetos geográficos segundo Câmara et al.

Grupo	Operações
<i>Attribute based Operations</i>	<i>Value, Assign</i>
<i>Spatial based Operations</i>	<i>Topological Restrictions (Equal, Disjoint, Intersect, Touch, Cross, Overlap, Contains, Within, Relate), Distance-based Operations (Distance), Direction-Based Operations (Direction, Path)</i>
<i>Combined Spatial and Attribute Based Operations</i>	<i>Region (Region_Max, Region_Ave,...).</i>

A combinação entre essas operações atômicas, podem gerar operações mais complexas, denominadas operações compostas sobre objetos espaciais. As operações de seleção espacial e junção espacial são derivadas das operações baseadas no espaço, enquanto que operações pontuais são derivadas das operações baseadas em atributos. A intenção dos autores foi a de estabelecer uma notação formal, provendo a base para uma estrutura semântica unificada em SIG. Segundo os autores, essa estrutura semântica pode ser materializada na definição de uma linguagem espacial totalmente independente de representação, podendo ser usada em diferentes implementações de SIG.

3.1.2 Descrição de operações no nível de representação

Outros autores efetuaram a descrição de operações já ligadas a um modelo específico de representação. Enquanto [TOM 91], [EGE 94], [RIG 2001] restringiram a abrangência apenas a um determinado modelo de representação, trabalhos como os de [CAM 95] e [DAV 2000] enquadraram operações em um modelo de dados que considera a existência tanto de campos quanto de objetos.

3.1.2.1 Tomlin

A classificação definida por Tomlin [TOM 91] é voltada exclusivamente para a visão de campos. A seqüência apresentada por Tomlin vai das operações mais simples, que trabalham em um único mapa, até as mais complexas, envolvendo dois ou mais mapas. A classificação resultante desse agrupamento por grau de complexidade das operações é:

- operações locais;
- operações zonais;
- operações incrementais;
- operações focais.

A partir dessas operações, esse autor desenvolveu a teoria da álgebra de mapas. Na álgebra convencional, as variáveis são quantidades numéricas que são processadas por operações aritméticas. Na álgebra de mapas, as variáveis são planos de informação provenientes de mapas (ex: relevo, uso do solo) que são processados por operações de natureza cartográfica. Essa definição de operações e a implementação da álgebra de mapas foram muito utilizadas no desenvolvimento de *software* de SIG que utiliza sistema de arquivos de estrutura matricial.

A Tabela 3.6 apresenta essas operações. Percebe-se que a maioria das operações listadas pode ser descrita com base em funções matemáticas (incluindo funções trigonométricas e estatísticas) aplicadas sobre os valores numéricos presentes na estrutura matricial.

TABELA 3.6 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Tomlin.

Grupo	Operações
<i>Local operations</i>	Funções matemáticas (<i>sum, difference, product, ratio, root, cosine, sine, tangent, arccosine, arcsine, arctangent, mean, maximum, minimum, minority, majority, variety</i>), <i>Combination (overlay), Rating</i>
<i>Zonal operations</i>	Funções matemáticas (<i>sum, product, percentage, percentile, mean, maximum, minimum, majority, minority, variety</i>), <i>Combination, Ranking, Rating</i>
<i>Incremental operations</i>	<i>Length, Area, Volume, Aspect, Gradient (slope), Drainage, Frontage, Linkage, Partition</i>
<i>Focal operations</i>	Funções matemáticas (<i>sum, product, percentage, percentile, mean, maximum, minimum, majority, minority, percentage, percentile, variety</i>), <i>Proximity, Ranking, Rating, Neighbour, Gravitation, Insularity</i>

3.1.2.2 Egenhofer

A partir da avaliação de propostas de extensões da linguagem SQL para dados espaciais, Egenhofer [EGE 94], elaborou uma proposta denominada "Spatial SQL". Nessa proposta, definiu um conjunto básico de operadores, apresentados na Tabela 3.7, que poderiam ser utilizados como funções nessa linguagem. O trabalho de Egenhofer restringiu-se à visão de objetos.

Um destaque desse trabalho de Egenhofer foi a determinação de 8 relacionamentos topológicos binários derivados de uma matriz de 4 interseções.

TABELA 3.7 - Operadores propostos por Egenhofer para estender a linguagem SQL.

Grupo	Operações
<i>Unary spatial operations</i>	<i>Dimension, Boundary, Interior, Arithmetic (length, area, volume, perimeter), Extreme Coordinates, Complement, Convex Hull</i>
<i>Binary spatial operations</i>	<i>Distance, Direction, Aggregate Functions (minimum, average, ...),</i>
<i>Binary spatial relationship</i>	<i>Disjoint, Meet, Overlap, Inside, Contains, Covers, CoveredBy, Equal</i>

3.1.2.3 Câmara

Câmara [CAM 95] buscou unificar as visões distintas de campo de Tomlin [TOM 91] e as de objeto de Egenhofer [EGE 94]. Além desses modelos teóricos, formou um conjunto completo a partir das operações oferecidas em *software* de SIG disponível no mercado na época. As operações foram enquadradas no modelo de dados para BDG desenvolvido por Câmara, classificando-as quanto ao seu relacionamento com geo-campos e geo-objetos (campos geográficos e objetos geográficos, respectivamente), conforme apresentado na Tabela 3.8. Esse autor incluiu nas operações os relacionamentos entre geo-objetos. Quanto aos relacionamentos topológicos, baseou-se no trabalho de Clementini, que definiu cinco relacionamentos.

TABELA 3.8 - Taxonomia de operações de análise geográfica segundo Câmara.

Grupo	Operações
Pontuais entre geo-campos	Unárias ou de Transformação (Ponderação, Reclassificação, Fatiamento, Fatiamento em classes), Booleanas, Matemáticas (Aritméticas, Logarítmicas, Trigonométricas)
Vizinhança entre geo-campos	Estatísticas (Média, Máxima, Mínima, Modal), Filtros para Sensoriamento Remoto, Interpolação Espacial para Modelos Numéricos de Terreno, Declividade, Exposição, Índices de Diversidade
Zonais entre geo-campos	Estatísticas (Média, Máxima, Mínima, Desvio Padrão), Índice de Variedade.
Relacionamentos entre geo-objetos	Topológicos (Toca, Dentro de, Cruza, Sobreposição, Disjunto), Direcionais, Métricos
Operações sobre geo-objetos	Seleção por Atributos, Seleção Espacial, Junção Espacial
Operações entre geo-campos e geo-objetos	Geração de geo-objetos a partir de geo-campos (Identificação, Intersecção Espacial), Geração de geo-campos a partir de geo-objetos (Mapas de Distância, Reclassificação por Atributos), Mistas (Zonais sobre geo-campos onde geo-objetos são restrições, Seleção espacial onde geo-campo é restrição)

3.1.2.4 Davis

Davis [DAV 2000] apresentou um conjunto de operadores, denominados operadores de transformação. Os operadores foram enquadrados nas múltiplas representações definidas

no modelo OMT-G, sendo que, para cada um deles, foram relacionadas as possíveis representações de entrada e saída.

O autor reuniu operadores implementados por algoritmos de áreas diversas, buscando um arcabouço geral para a transformação de uma representação em outra representação ou em uma apresentação. Os operadores foram classificados conforme apresentado na Tabela 3.9.

TABELA 3.9 - Operadores de transformação, segundo Davis.

Grupo	Operações
Geometria Computacional	Construção de buffers, Determinação de centróide, Diagrama de Voronoi, Esqueletização de polígonos, Fecho convexo, Geração de isolinhas, Triangulação de Delaunay, Triangulação de Polígonos
Generalização Cartográfica	Agregação, Colapso, Combinação, Deslocamento, Destaque, Exagero, Fusão, Refinamento, Simplificação, Suavização.
Análise Espacial	Análise de Superfícies, Classificação, Interpolação espacial, Pseudocoloração, Rasterização, Reamostragem, Seleção, Simbolização, Vetorização.
Operadores Auxiliares	Eliminação da direção, Eliminação de nós desnecessários e fusão de arcos, Escolha de atributos gráficos, Superposição.

3.1.2.5 Rigaux et alli

Rigaux et al. [RIG 2001] definiu um conjunto básico de operações de acordo com o tipo abstrato de dados (*Abstract Data Type*) envolvido, no caso, apenas objetos geográficos especializados em Região (Polígono), Linha e Ponto. Essa organização, conforme apresentada na Tabela 3.10 serviu como base para definição das assinaturas de cada uma das operações.

TABELA 3.10 – Taxonomia de operações de análise geográfica, segundo Rigaux et al.

Grupo	Operações
<i>Region</i>	<i>PointInRegion, Overlaps, OverlapsRect, Clipping, Intersection, Meets, Area, RegionUnion</i>
<i>Line</i>	<i>PointInLine, Length, OverlapsLineRegion</i>
<i>Point</i>	<i>Distance</i>

Examinando a abordagem dos autores que descreveram operações no nível de representação, percebe-se a ocorrência de muitas operações que são casos particulares ou que não se enquadram naquelas descritas no nível lógico.

Tomlin [TOM 91] apresentou uma classificação baseado no grau de complexidade das operações na visão de campo. Egenhofer [EGE 94] preocupou-se principalmente com os relacionamentos espaciais na visão de objetos. Já Rigaux [RIG 2001] estabeleceu uma classificação baseada nos tipos de dados utilizados pela operação, limitando-se à visão de objetos.

As classificações mais abrangentes no nível de representação, dentre as verificadas, foram as de Câmara [CAM 95] e Davis [DAV 2000], pois ao classificar as operações, também as situaram no contexto de visão de campo e objeto.

3.1.2.6 Organizações de Padronização

A maior iniciativa de padronização na área de desenvolvimento de produtos que lidam com a informação geográfica partiu de um consórcio de instituições privadas e públicas, denominado Consórcio Open GIS. Essa organização, fundada em 1994, busca criar especificações de *software* e estratégias empresariais para tornar os sistemas de geoprocessamento abertos, integrando completamente os dados geográficos e as operações necessárias para manipulá-los [BOG 2001]. A OGC apresenta duas especificações de *software*: o Modelo Essencial, que descreve os elementos da realidade e o Modelo Abstrato, que especifica a implementação de *software*.

No Modelo Abstrato, o Open GIS interpreta feições geográficas em esquemas distintos: feições com geometria (visão de objeto), do tipo cobertura (*coverage* - visão de campo) e outros subtipos de feições [BOG 2001].

Por outro lado, a organização ISO, através do Comitê Técnico ISO/TC 211 está desenvolvendo uma família de normas que abrange todo o universo da informação geográfica, denominadas como ISO 19100 [ISO 2002]. Algumas das especificações OGC estão sendo harmonizadas com as normas ISO 19100. Em particular, dois tópicos do Modelo Abstrato OGC que tratam de processos e operações geográficas em sua versão atual compartilham do mesmo texto das normas ISO. O Tópico 1 - Geometria de Feições [OGC 2001] compartilha o texto da norma ISO 19107 - Esquema Espacial, enquanto que o Tópico 12 - Arquitetura de Serviços do OpenGIS [OGC 2002] compartilha o texto da norma ISO 19119 - Processamento de Serviços Geográficos. Já o Tópico 6 - O Tipo *Coverage* e seus Subtipos do OpenGIS [OGC 2000] ainda não foi harmonizado com a norma ISO correspondente, que seria a ISO 19123 - Esquema para geometria *coverage* e funções [ISO 2002a], entretanto percebe-se a presença, no texto da ISO, dos conceitos anteriormente desenvolvidos nas especificações OGC.

A estrutura de classes do Tópico 1 - Geometria de Feições [OGC 2001] apresenta um esquema conceitual para descrever as características espaciais de feições geográficas e um conjunto de operadores espaciais consistente com esses esquemas. Portanto, não é apresentada uma classificação das operações de acordo com suas características funcionais. Para cada classe do esquema é apresentado um conjunto de operações, com exceção das operações herdadas de classes mais genéricas.

Os esquemas são apresentados em UML referindo-se somente a interfaces visíveis externas, não aplicando restrições à técnica de implementação utilizada.

O esquema conceitual é bem mais detalhado que o do GeoFrame, ao contemplar uma grande variedade de geometrias (Figura 3.2) possíveis.

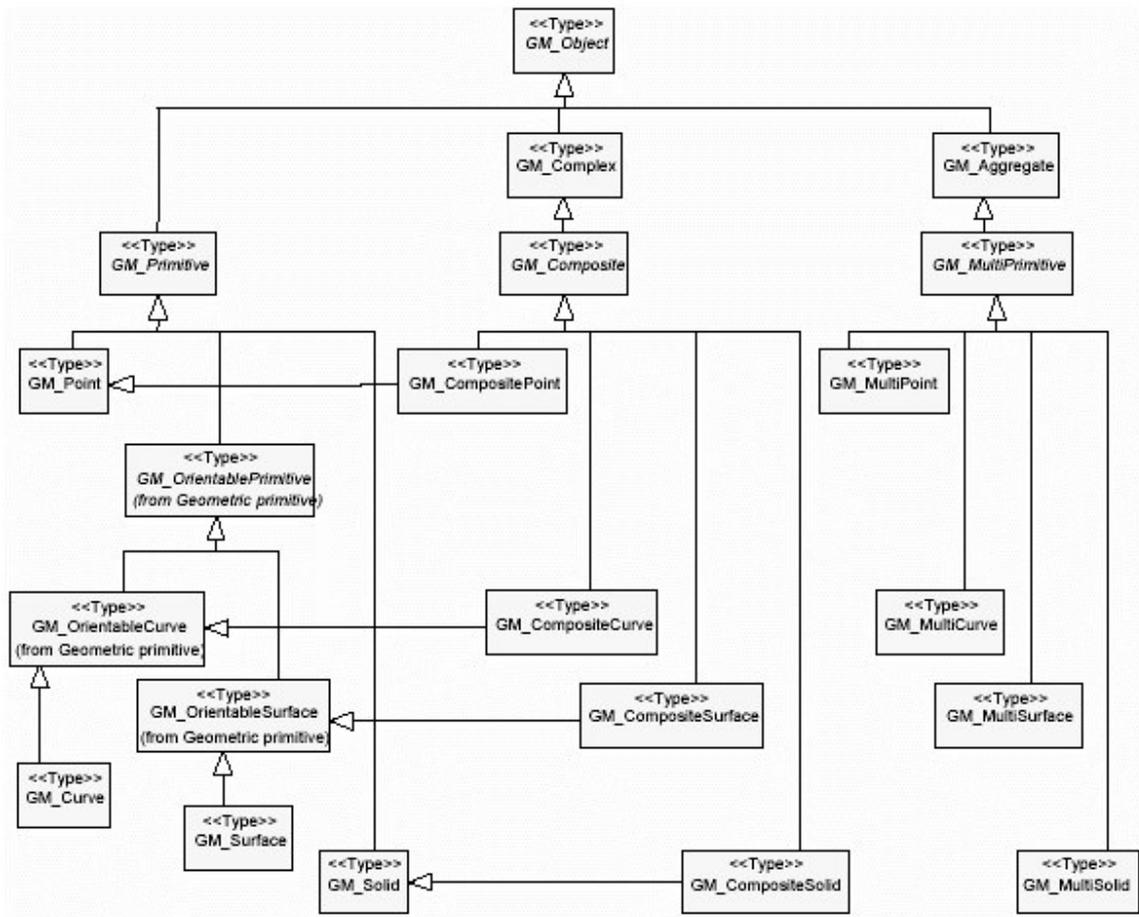


FIGURA 3.2 - Classes de geometria básicas [OGC 2001].

Para as feições na visão de objeto, todas geometrias herdam uma quantidade razoável de operações da classe genérica de objetos com geometria, denominada *GM_Object*, conforme exibido na Figura 3.3. Todas as operações definidas nessa classe, com exceção de "*distance*", são aplicadas utilizando apenas um objeto da mesma.

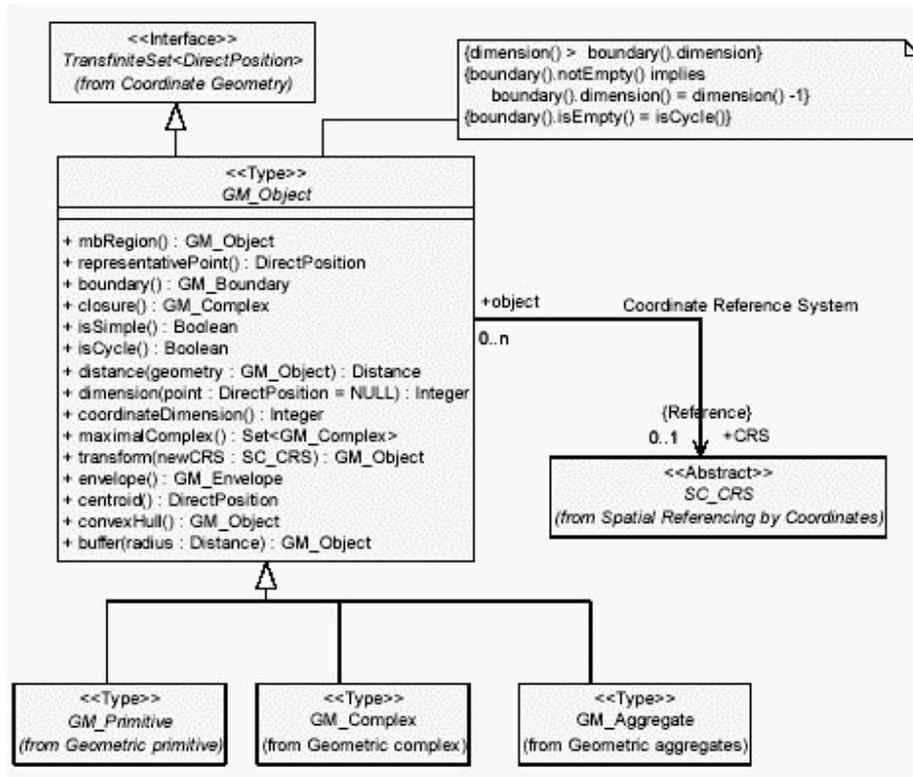


FIGURA 3.3 - Estrutura da classe GM_Object [OGC 2001].

A relação de herança com a interface *TransfiniteSet* permite que um objeto de *GM_Object* instancie operações definidas naquela interface. Dessa forma, torna-se possível executar uma operação que utilize duas especializações distintas de *GM_Object*, conforme relacionadas a seguir:

- *contains, intersects, equal*: avaliam se o objeto que acionou a operação contém, intercepta ou é igual a outro objeto fornecido como parâmetro, retornando um valor booleano.
- *union, intersection, difference, symmetricDifference*: aplicam as expressões lógicas *AND, OR, DIFFERENCE* entre o objeto que acionou a operação e outro objeto fornecido como parâmetro, retornando um novo objeto *GM_Object*.

As classes especializadas de *GM_Object*, além de herdar suas operações, as redefinem e acrescentam novas operações. A classe *GM_Solid*, por exemplo, redefine "*boundary*" para retornar o tipo *GM_SolidBoundary*, acrescenta "*area*" e "*volume*" e o construtor *GM_Solid*, conforme mostra a Figura 3.4.

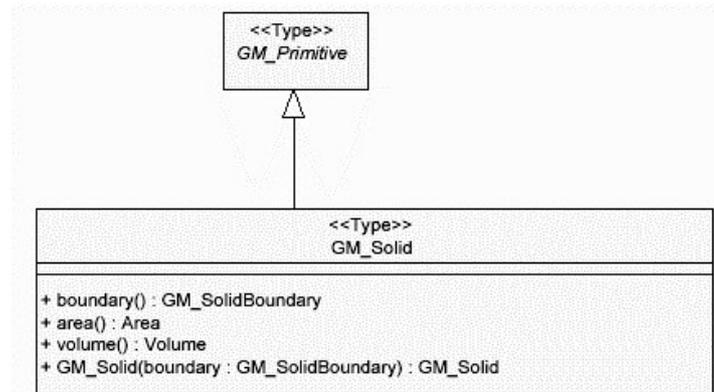


FIGURA 3.4 - Estrutura da classe GM_Solid [OGC 2001].

Já para as feições na visão de campo, a organização das classes entre as especificações ISO [ISO 2002a] e OGC [OGC 2000] é um pouco diferente, mas em ambos os casos, o número de operações e métodos nas classes mais genéricas é bem menor. Na especificação do Open GIS, uma *coverage* é um subtipo de feição. Uma *coverage* possui propriedades distintas que definem funções, denominadas funções de *coverage*: *DiscreteC_Function* (para coleções finitas de geometrias) e *C_Function* (para coleções de pontos normalmente infinitas). Para cada uma das funções de *coverage* são determinadas operações, como apresentado na Figura 3.5.

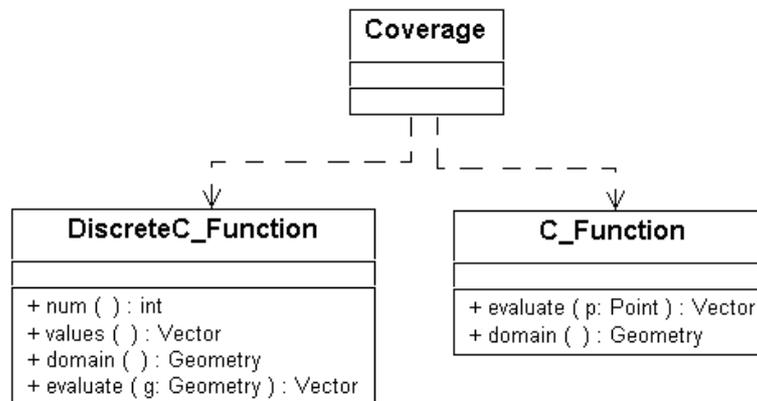


FIGURA 3.5 - Estrutura da classe Coverage, conforme especificação OGC [OGC 2000].

Relacionando com a estrutura do GeoFrame, GM_Object seria equivalente a *ObjetoGeográfico* e C_Function a *CampoGeográfico*. Já a DiscreteC_Function não é suportada pelo GeoFrame.

3.1.3 Operações implementadas em software de SIG

Sob o mesmo rótulo de *software* de SIG podem ser encontrados sistemas de natureza bem distinta.

Em relação ao formato de representação, apenas alguns sistemas utilizam tanto o formato matricial quanto o vetorial para suas análises. A maioria dos sistemas apresenta uma vocação para representação vetorial ou matricial; e quando oferece recursos de

manipulação na outra forma de representação, normalmente são recursos rudimentares ou básicos.

Em relação ao tipo de usuário que se destina, o *software* pode ser voltado desde a usuários que utilizam um pequeno conjunto de recursos (baseado em interface gráfica interativa) a desenvolvedores (sob a forma de bibliotecas de programação). Alguns sistemas utilizam interfaces que simplesmente geram comandos que poderiam ser introduzidos sob a forma de scripts, enquanto que outros utilizam um ambiente existente de *software* CAD (*Computer Aided Design*). Os sistemas mais completos oferecem tanto uma interface interativa quanto um forte ambiente para desenvolvimento de aplicações.

Observando essas diversidades, pode-se esperar que operações semelhantes são executadas por caminhos bastante distintos em cada *software* de SIG. Para elaborar-se um breve levantamento sobre como as operações são oferecidas em *software* de SIG, utilizou-se um pequeno grupo deles, de naturezas distintas, mas que, de alguma forma, exibem a estrutura de operadores, pois apresentam uma linguagem de comandos ou biblioteca de programação.

3.1.3.1 FME Workbench

O FME Workbench, desenvolvido pela Safe *Software*, é um módulo do FME - Feature Manipulation Engine [SAF 2002]. O foco principal do FME é a capacidade de conversão de formatos de *software* de SIG, apenas na representação vetorial. Estendendo as capacidades de conversão, o FME Workbench, permite a aplicação de diversas operações sobre os dados geográficos envolvidos no momento da conversão. As operações podem ser especificadas através de uma interface gráfica para construção de processos. Não há necessidade de interface de visualização dos dados geográficos. A interface gráfica gera um script de comandos que pode ser editado pelo usuário.

As operações oferecidas são agrupadas na interface do *software* como: calculadoras; coletoras; bancos de dados; filtros; geométricas; de infraestrutura; de manipulação. As operações de mais alto nível a serem utilizadas em processos de análise geográfica podem ser encontradas nos agrupamentos de operações geométricas e de manipulação. A relação das operações desses grupos encontra-se na Tabela 3.11.

TABELA 3.11 - Operações disponíveis no *software* FME Workbench.

Grupo	Operações
<i>Geometric Operators</i>	<i>AffineWarper, AnchoredSnapper, AreaOnAreaOverlay, Clipper, Dissolver, DonutBuilder, DonutHoleExtractor, Intersector, Labeller, LineJoiner, LineOnAreaOverlay, PointConnector, PointOnAreaOverlay, PolygonBuilder, RubberSheeter, SelfIntersector, Snapper, TopologyBuilder.</i>
<i>Manipulators</i>	<i>2DBoxReplacer, 2DForcer, 2DPointAdder, 2DPointReplacer, 3DForcer, 3DPointAdder, 3DPointReplacer, Affiner, ArcStroker, AreaGeneralizer, AttributeReprojector, Bufferer, CenterLineReplacer, CenterPointReplacer, Chopper, ConvexHullCreator, CoordinateRounder, Densifier, Extender, GeometryCoercer, LabelPointReplacer, LineCloser, LineGeneralizer, OGCGeometryExtractor, OGCGeometryReplacer, Offsetter, Orientor, Reprojector, Rotator, Scaler.</i>

3.1.3.2 ESRI Map Objects

A ESRI, fabricante do *software* Arc/Info, oferece um produto denominado Map Objects, que é um conjunto de componentes de *software* (utilizando automação ActiveX) que permite a manipulação e exibição de dados geográficos em formato de representação vetorial [ESR 2002].

Os objetos disponíveis são organizados nos seguintes grupos: projeção cartográfica, acesso a dados, localização de endereços, exibição de mapas e geométricos. Além de propriedades, os objetos classificados como geométricos possuem métodos que podem ser considerados como operações de análise geográfica.

O modelo de objetos geométricos oferecido é relativamente simples, trata apenas as três geometrias básicas (ponto, linha e polígono) com algumas especializações (conjunto de pontos, retângulo, elipse). O mesmo método pode ser utilizado em classes de objetos geométricos distintos; a interpretação dos parâmetros fornecidos pode variar conforme a classe onde o método está sendo aplicado. O método "*buffer*", por exemplo, quando recebe uma distância negativa para polígono, gera como resultado uma área interior ao polígono. Quando uma distância negativa é fornecida para linha ou ponto, o valor é considerado como se fosse positivo. A Tabela 3.12 relaciona métodos que são oferecidos para praticamente todas as geometrias disponíveis.

TABELA 3.12 - Métodos disponíveis no MapObjects.

Grupo	Operações
Métodos comuns à maioria dos objetos: <i>Point, Points, Line, Polygon, Rectangle, Ellipse</i>	<i>Buffer, Difference, DistanceTo, GetCrossings, Intersect, Offset, Union, XOR</i>

3.1.3.3 Oracle Spatial

A Oracle, assim como outros grandes fabricantes de sistemas gerenciadores de bancos de dados (IBM, Informix), e desenvolvedores de *software* livre (PostgreSQL), oferece a extensão Oracle Spatial para o armazenamento de bases geográficas no mesmo repositório de banco de dados objeto-relacional [FER 2002]. Essa extensão disponibiliza estruturas de armazenamento de dados espaciais e funções para a manipulação desses dados. A integração dessas estruturas pode estabelecer um novo paradigma no desenvolvimento de aplicações de SIG, permitindo o desenvolvimento de sistemas para necessidades específicas, que não precisam incorporar todas as funcionalidades dos sistemas atuais.

Através de instruções SQL, operadores geográficos podem ser acionados por qualquer *software* de SIG cliente que suporte o Oracle Spatial. Os operadores são organizados no Manual de Referência [ORA 2001] conforme apresentado na Tabela 3.13. Todos os operadores possuem um prefixo SDO_, que propositalmente não foi exibido na tabela abaixo para melhorar a legibilidade.

O operador SDO_RELATE (*Geometry Functions: Relationship*) é utilizado para consultar relações topológicas entre duas geometrias, implementando o modelo de 9 interseções de Egenhofer. Esse operador recebe um dos seguintes parâmetros: *Equal, Disjoint, Touch, Inside, OverlapByIntersect, OverlapByDisjoint, AnyInteract, Contains, On, Covers* e *CoveredBy* [FER 2002].

TABELA 3.13 - Operações disponíveis no Oracle Spatial.

Grupo	Operações
<i>Spatial Operators</i>	<i>Filter, NN, NN_Distance</i>
<i>Geometry Functions: Relationship</i>	<i>Relate, Within_Distance</i>
<i>Geometry Functions: Validation</i>	<i>Validate_Geometry, Validate_Layer</i>
<i>Geometry Functions: Single-object operations</i>	<i>Arc_Densify, Area, Buffer, Centroid, ConvexHull, Length, MBR, PointOnSurface</i>
<i>Geometry Functions: Two-object operations</i>	<i>Distance, Difference, Intersection, Union, XOR</i>
<i>Spatial Aggregate Functions</i>	<i>AGGR_Centroid, AGGR_ConvexHull, AGGR_LRS_Concat, AGGR_MBR, AGGR_Union</i>
<i>Coordinate System Transformation Functions</i>	<i>CS.Transform, CS.Transform_Layer, CS.Viewport_Transform</i>

Além das operações de análise relacionadas, o Oracle Spatial oferece um extenso conjunto de operadores do grupo "*Linear Referencing Functions*", para a criação, modificação, consulta e conversão de elementos de referência linear.

3.2 Definição de um Catálogo de Operações Geográficas para o GeoFrame

Ao deparar-se com tamanha diversidade de conceitos e nomenclaturas sobre as operações de análise geográfica, o projetista que deseja explicitar o uso de algumas dessas operações, ainda na fase do projeto conceitual, pode ficar confuso.

Buscou-se, a partir das operações relacionadas nas seções anteriores, selecionar um conjunto de operações suficiente para especificar grande parte dos processos mais comuns de análise geográfica. Com a utilização do GeoFrame é possível desenvolver-se um catálogo de padrões de análise, que vai evoluindo conforme o uso. De forma análoga, a intenção é oferecer, junto com a extensão do GeoFrame para especificação de processos de análise geográfica, um catálogo básico de operações. Esse catálogo deve ser independente de *software* e poder ser ampliado pelo usuário, conforme os requisitos dos processos de análise geográfica que forem implementados sobre o BDG.

Não procura-se determinar as condições de implementação (como, por exemplo, formato de armazenamento matricial ou vetorial). As visões conceituais de campo e de objeto, muitas vezes, induzem o usuário de SIG a pensar em uma implementação matricial (*raster*) para campos e vetorial para objetos. Em grande parte dos casos, essa relação acaba ocorrendo de fato; porém, não é necessária. A implementação vetorial, por ser mais completa, tem recursos suficientes para representar fenômenos tanto da visão de campo quanto de objeto. No entanto, quando um fenômeno geográfico recai na representação grade de células, como é o caso das imagens capturadas por satélite, a implementação matricial é a mais adequada, pois o esforço computacional de gerenciamento de um grande número de polígonos na implementação vetorial é muito maior.

Para estabelecer-se o conjunto básico de operações, tomou-se como principal referência a classificação desenvolvida por Albrecht [ALB 95]. A nomenclatura adotada já considera as terminologias de uso mais comum entre as fontes consultadas em português e inglês. A Tabela 3.14 apresenta a relação das operações de Albrecht com a nomenclatura definida para o catálogo de operações nos dois idiomas.

TABELA 3.14 - Classificação de Albrecht relacionada ao catálogo de operações.

Classificação de Albrecht	Denominação proposta em inglês	Denominação proposta em português
<i>Interpolation</i>	<i>Interpolation</i>	Interpolação
<i>Thematic Search</i>	<i>Seleção</i>	Seleção
<i>Search by Region</i>	<i>Region Selection</i>	Seleção por Região
<i>(Re)-classification</i>	<i>Classify</i>	Classificação
<i>Buffer, Corridor</i>	<i>Buffer</i>	Zona de Influência
<i>Overlay</i>	<i>Overlay</i>	Superposição
<i>Thiessen/Voronoy</i>	<i>Voronoi Diagram</i>	Diagrama Voronoi
<i>Slope/Aspect</i>	<i>Slope</i>	Declividade
<i>Viewshed Analysis</i>	<i>Viewshed</i>	Intervisibilidade
<i>Cost/Diffusion/Spread</i>	<i>Spread</i>	Difusão
<i>Proximity, Nearest Neighbor</i>	<i>Spatial Selection</i>	Seleção Espacial
<i>Measurements</i>	<i>Distance</i>	Distância

Não foram incluídas as operações relacionadas à hidrografia (determinação de bacia e geração de rede hidrográfica) por serem específicas a esse domínio e pouco frequentes em *software* de SIG genérico.

As operações relacionadas ao domínio da Análise Espacial também não foram incluídas. Segundo Chrisman [CHR 97], os modelos estatísticos são vistos como o núcleo da análise de dados espaciais. Entretanto, a integração desses modelos com os recursos tradicionais de *software* de SIG ainda é baixa. Optou-se, portanto, em não incluir as operações de Análise Espacial nessa versão inicial do catálogo de operações do GeoFrame.

A operação de transformação e duas operações de geometria computacional (centróide e agregação) foram incluídas nesse catálogo por terem um uso muito difundido.

O trabalho de Albrecht não define com muita clareza a abrangência de cada operação. Pelo fato de ser desenvolvido no universo de abstração lógico, esse trabalho também não discrimina as representações aplicáveis a cada operação. Os demais trabalhos consultados no mesmo universo de abstração ([ARO 89], [CHR 97]) permitiram estabelecer mais claramente o conceito de cada operação.

O levantamento das classificações no universo de representação contribuiu decisivamente para o detalhamento das representações aplicáveis a cada operação (campos, objetos ou especializações desses).

O levantamento das operações no universo de implementação, revelou que grande parte das operações disponíveis são utilizadas para a manutenção de estruturas da base espacial. Esse nível de detalhamento não é aplicável na definição de processos no universo

de representação. Por outro lado, foi possível identificar operações, normalmente sob títulos mais genéricos, que estão sendo contempladas no catálogo do GeoFrame.

As seções a seguir descrevem as operações selecionadas para compor o catálogo do GeoFrame. Para cada operação, além da definição adotada, são destacadas algumas características ressaltadas pelos autores pesquisados. Também são descritos os possíveis parâmetros de entrada e tipos de resultado, conforme as representações previstas no GeoFrame. Optou-se em, sempre que possível, utilizar generalizações para os tipos de dados. Quando qualquer representação de campo ou objeto é aplicável, utiliza-se os termos que identificam as classes *ObjetoGeográfico* e *CampoGeográfico*. Apenas quando qualquer representação é aplicável utiliza-se a classe geral *FenômenoGeográfico*.

3.2.1 Seleção (Selection)

A operação **Seleção**, que também poderia ser denominada como "Seleção Não-Espacial" (em contraposição à **SeleçãoEspacial**), restringe o conjunto de instâncias de *FenômenoGeográfico*, sobre o qual é aplicada, para as instâncias que satisfazem o predicado de seleção. O predicado de seleção consiste de uma expressão composta por condições lógicas.

Por exemplo, se um banco de dados contendo objetos geográficos possui atributos mantidos por um Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Relacional, a seleção pode ser executada através de uma consulta SQL, que implementa o operador "Seleção" da álgebra relacional. Uma consulta SQL também pode implementar o operador "Junção" da álgebra relacional ("Produto Cartesiano", seguido de "Seleção", seguida de "Projeção"). Nesse caso, a "Junção" está fora do escopo do conceito da operação **Seleção** de análise geográfica, pois considera-se que **Seleção** pode receber como parâmetro os objetos de uma classe ou já o resultado de uma associação entre classes.

Albrecht [ALB 95] denominou a seleção não espacial como "Thematic Search". Segundo [DAV 2000], esse operador faz parte do grupo "Análise Espacial" e denomina-se "Seleção", correspondendo à tradicional operação de consulta em bancos de dados. Indica que pode ser aplicada sobre todos tipos de dados espaciais do modelo OMT-G (campo e objeto).

Já [CAM 95] especializa essa operação como "Seleção por Atributos" apenas em "Operações sobre geo-objetos". Outras operações sobre geo-campos, definidas por Câmara, cumprem essa função. Em SIG de estrutura matricial, onde não é possível separar fisicamente parte de um arquivo matricial, essa operação é implementada como uma classificação em dois grupos: selecionado e não-selecionado.

Em vez de declarar uma outra operação específica, optou-se em considerar que quando aplicada sobre uma classe *CampoGeográfico*, a operação **Seleção** também restringe o domínio do campo em função dos valores que satisfaçam o predicado de seleção.

- Entrada: [1] *FenômenoGeográfico*; [2] Predicado de seleção.
- Saída: sub-conjunto de *FenômenoGeográfico*.

- Exemplo: Em uma classe de objetos geográficos, contendo instâncias de Estados do Brasil, representados como polígonos, selecionar os Estados cujo atributo Região é igual a Sul. Como resultado, é apresentado um sub-conjunto de Estados do Brasil contendo os Estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

3.2.2 Seleção Espacial (Spatial Selection)

A operação Seleção Espacial restringe o conjunto de instâncias de *ObjetoGeográfico*, sobre o qual é aplicada, para as instâncias que satisfaçam um predicado espacial em relação a um *ObjetoGeográfico* de referência.

Por exemplo, podem ser selecionados os objetos que tocam ou que estão próximos (limitados a uma distância especificada) ao objeto X. O conjunto de objetos de referência pode fazer parte dos próprios objetos a serem selecionados ou ser um conjunto de objetos independente.

Como o relacionamento espacial é fundamental nessa operação, não aplica-se a *CampoGeográfico*. Em [CAM 95], a "Seleção Espacial" é classificada como uma operação sobre geo-objetos.

A definição mais formal da operação de "Seleção Espacial" é a de Câmara et al. [CAM 2000], que explicita a aplicação de um dos seguintes predicados espaciais: restrições topológicas, distância e direção sobre um conjunto de objetos espaciais (já apresentados na Tabela 3.5).

- Entrada: [1] *ObjetoEspacial1*; [2] *ObjetoEspacial2* (como referência); [3] predicado espacial.
- Saída: [1] sub-conjunto de *ObjetoEspacial1*.
- Exemplo: Em uma classe de objetos espaciais, especializada em polígonos, representando os Estados do Brasil, selecionar os Estados que são vizinhos aos Estados de Santa Catarina e Paraná. Como resultado, são apresentados os Estados Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e São Paulo.

3.2.3 Seleção por Região (Region Selection)

Essa forma de seleção é semelhante à SeleçãoEspacial, utilizando um predicado espacial fixo, que, no caso, seria a restrição topológica "Dentro" ("*Inside*"), e que se aplica a qualquer *FenômenoGeográfico*. A região é definida por uma única instância de objeto (representada por um *Polígono*) ou por um *CampoGeográfico*. Em qualquer situação, o fenômeno que delimita a região não deve pertencer à mesma classe do objeto pesquisado.

A operação "Seleção Espacial com restrição de geo-campos" descrita por Câmara [CAM 95] é um caso particular dessa definição, onde um campo geográfico é usado como delimitador de uma região de referência para selecionar os objetos geográficos.

Operações definidas no grupo de Neighborhood por Aronoff [ARO 89], como "*Line-in-Polygon*", "*Point-in-Polygon*" também enquadram-se nesse caso.

- Entrada: [1] *FenômenoGeográfico*; [2] *Polígono* ou *CampoGeográfico* como referência.

- Saída: sub-conjunto de *Fenômeno Geográfico*.
- Exemplo: Em uma classe de objetos espaciais, especializada em Marcos Geodésicos representados como pontos, selecionar aqueles que encontram-se no polígono que representa a área da carta geográfica MI-2171.

3.2.4 Classificação (Classify)

A classificação é uma operação que manipula apenas os valores associados a um *Fenômeno Geográfico*. A alteração de valores de atributos de um *Objeto Geográfico* pode sugerir uma alteração da geometria, que, se for desejada, deve ser explicitada por uma operação de geometria computacional.

Segundo Albrecht [ALB 95], "*(Re)-classification*" é basicamente uma operação de bancos de dados, sendo que, em vários casos, o filtro que é utilizado para a reclassificação possui um determinante espacial. Ainda segundo esse autor, todo o conceito da álgebra de mapas poderia ser tomado como uma forma de classificação.

A classificação é aplicável para qualquer fenômeno geográfico onde se procura reduzir (agrupar) ou ampliar (generalizar) o conteúdo da informação.

Os valores podem ser de natureza temática ou numérica. Os valores temáticos pretendem apenas identificar ou nomear o fenômeno geográfico, utilizando textos ou uma codificação baseada em algarismos. Os valores numéricos baseiam-se em uma escala de números reais e, portanto, podem ser utilizados em expressões matemáticas [CAM 2001]. As operações "*Value*" e "*Assign*" definidas formalmente por Câmara et al. são componentes dessa operação, pois o valor correspondente a um local geográfico é recuperado e, após aplicar-se o critério de classificação, um novo valor é aplicado.

O operador "Classificação" é definido por [DAV 2000] como um agrupamento de objetos em classes, de acordo com faixas de valores ou valores individuais de algum atributo ou expressão e faz parte do grupo "Análise Espacial". Aronoff [ARO 89] especificou as funcionalidades de agrupamento nos operadores "*Classification*" e "*Generalization*", inserido no grupo "*Retrieval / Classification / Measurement*". Tomlin [TOM 91] também previu a correlação de valores de atributos na operação "*Rating*", tanto em operações locais, zonais e focais.

Já Chrisman utiliza o operador "*Classify*" apenas para o caso específico de agrupar valores em faixas conforme um critério, como em intervalos numéricos iguais (*equal interval*), ou para que todas as faixas apresentem a quantidade de elementos (*quantile*) no grupo "*Attribute-based operations*". Para o agrupamento de valores temáticos através da correlação com uma outra fonte, especificou o operador "*Group*". Algumas outras operações do grupo "*Attribute-based operations*", já apresentadas na Tabela 3.2, também poderiam enquadrar-se na operação Classificação.

Observa-se que Classificação representa, na prática, um variado conjunto de operações. De forma sintética, pode-se agregar os métodos de classificação em dois grandes grupos: por função ou correlação.

A Classificação por função admite a especificação de uma função de classificação que pode ter vários argumentos associados. Dentre as funções mais comuns, encontram-se

as de agrupamento em intervalos iguais ou quantidade de elementos iguais, onde deve-se informar o número de faixas. Funções mais complexas ocorrem na classificação de imagens provenientes de sensoriamento remoto, onde podem ser aplicados diversos algoritmos, conhecidos como "classificadores supervisionados e não-supervisionados". A classificação desse tipo de dado, por si só, constitui-se num processo especializado onde uma combinação de métodos podem ser utilizados para a produção da classificação final. Na especificação de um PAG, pode-se utilizar a operação **Classificação** proposta apenas para indicar que é necessária a interpretação de dados de sensoriamento remoto para um tipo de dado utilizável em um SIG.

- Entrada: [1] *FenômenoGeográfico*; [2] função de classificação (incluindo os parâmetros adicionais necessários); [3] atributo a ser atualizado (apenas para *ObjetoEspacial*).
- Saída: *FenômenoGeográfico* com valores atualizados.

Ao utilizar-se **Classificação** por correlação, deve-se informar o objeto associado (que pode ser uma instância de *ObjetoGeográfico* ou *ObjetoNãoGeográfico*) e os atributos envolvidos para obter-se novos valores associados ao fenômeno geográfico. É similar a uma consulta de atualização em bancos de dados através do relacionamento de tabelas.

- Entrada: [1] *FenômenoGeográfico*;
[2] *ObjetoEspacial* ou *ObjetoNãoGeográfico* relacionado;
[3] atributo a ser correlacionado;
[4] atributo que contem os resultados da correlação;
[5] atributo a ser atualizado (apenas para *ObjetoEspacial*).
- Saída: *FenômenoGeográfico* com valores atualizados.

A Tabela 3.15 apresenta um exemplo de uma classe espacial hipotética que possui um atributo numérico com 6 instâncias, mostrando como poderia ser classificado por diferentes critérios.

TABELA 3.15 - Exemplo de resultados de agrupamento de atributos.

Valores associados a um fenômeno geográfico	Classificação por função "intervalos iguais" (ex: em 3 faixas)	Classificação por função "quantidade de elementos" (ex: em 3 faixas)	Classificação por uma função matemática (ex: ÉPar())	Classificação através de correlação com outras classes (ex: classe Avaliação, atributo Conceito)
1	Faixa 1	Faixa 1	Falso	Insuficiente
2	Faixa 1	Faixa 1	Verdadeiro	Insuficiente
3	Faixa 1	Faixa 2	Falso	Insuficiente
6	Faixa 2	Faixa 2	Verdadeiro	Regular
8	Faixa 3	Faixa 3	Verdadeiro	Muito bom
9	Faixa 3	Faixa 3	Falso	Muito bom

3.2.5 Zona de Influência (Buffer)

A operação Zona de Influência estabelece uma região fundamentada nas distâncias em relação a um *Fenômeno Geográfico* de referência. Quando é fornecido um valor de distância, a extremidade da região vai ser gerada a essa distância do fenômeno de referência.

Pode ser aplicada tanto em campos quanto em objetos geográficos. É normal que antes da aplicação dessa operação, ocorra uma operação de seleção, restringindo os fenômenos geográficos de referência.

Chrisman [CHR 97] identificou as operações "*Buffer*" e "*Setback*" no grupo "*Distance Relationships*", a primeira considerando apenas a criação de uma região externa ao objeto de referência, enquanto que a segunda considerava apenas a criação de uma região interna. Praticamente todos autores descrevem essa operação com a denominação original "*Buffer*", inclusive o Consórcio Open GIS [OGC 2001], que a relaciona como uma operação do objeto *GM_Object*.

Quando aplicada em *Objeto Geográfico*, a zona de influência é fornecida sob a representação de *Polígono*. Os polígonos resultantes normalmente apresentam superposições e são agregados (conforme exemplo da Figura 4-A); mas pode-se optar que essa agregação não seja efetuada.

- Entrada: [1] *ObjetoEspacial*; [2] distância; [3] agrega (booleano); [4] externo (booleano); [5] interno (booleano). Os dois últimos parâmetros aplicam-se apenas quando *ObjetoEspacial* puder ser especializado como *Polígono*.
- Saída: *Polígono*.
- Exemplo: A Figura 3.6 mostra as etapas de processamento geométrico necessárias para determinar uma zona de influência (interna e externa) em x metros de objetos geográficos representados com geometrias simples de linha, polígono e ponto.

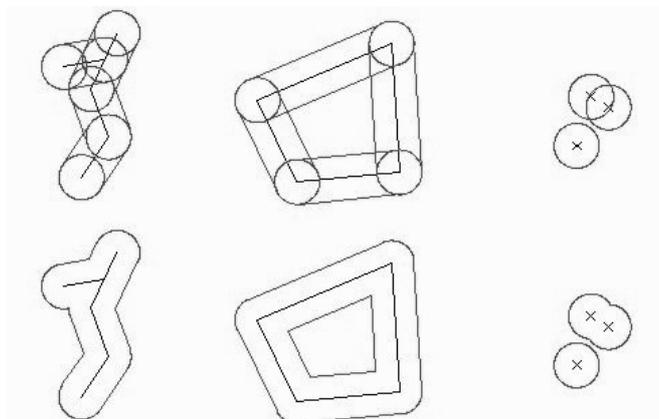


FIGURA 3.6 - Aplicação da operação Zona de Influência sobre objetos geográficos.

Quando o resultado é uma nova instância de *CampoGeográfico*, essa instância pode conter valores de distância. Nesse caso, estabelece-se uma área (através de um *Polígono* ou de um *CampoGeográfico*) que determina a abrangência do novo campo geográfico, em vez de uma distância fixa.

- Entrada: [1] *FenômenoGeográfico*; [2] restrição (distância, *RepresentaçãoCampo* ou *Polígono*).
- Saída: *RepresentaçãoCampo* com valores de distância.

3.2.6 Superposição (Overlay)

A operação Superposição (*overlay*) é conhecida pelos não especialistas em SIG simplesmente como "cruzamento de mapas". É a operação de análise geográfica mais tradicional, pois pode ser executada sem o auxílio do computador através da superposição de mapas (escala, projeção cartográfica e área de abrangência idênticas) desenhados em folhas transparentes, onde pode-se desenhar um novo mapa com o cruzamento das informações dos demais.

Superposição é uma operação booleana ou matemática aplicada em um par de fenômenos geográficos. Quando envolve apenas instâncias de *ObjetoGeográfico*, é executado um processamento geométrico e o resultado apresenta novas instâncias contendo o conjunto de atributos das instâncias originais. Os objetos geográficos podem possuir representações distintas; nesse caso, a representação de saída possuirá a forma geométrica mais simples (ex: entre representações de *Polígono* e *Linha*, a saída será *Linha*).

Já sobre instâncias de *CampoGeográfico*, não há processamento geométrico, portanto, é fundamental que ambos os campos utilizem o mesmo modelo de representação. A representação mais comum utilizada nessa operação é *GradeCélula*, que é implementada pelos *software* de SIG matriciais. O *CampoGeográfico* de saída conterá valores com o resultado da operação booleana ou matemática aplicada sobre os valores do par de campos geográficos de entrada.

Os operadores booleanos mais genéricos que podem ser aplicados são: E, OU, Diferença, OU Exclusivo (*AND*, *OR*, *DIFFERENCE*, *XOR*).

Albrecht [ALB 95] reconhece que o conceito da operação "overlay" compreende operações como "clip", "erase", "split", "identity", "union" and "intersect" e pode ser aplicado para qualquer combinação de feições espaciais. Chrisman [CHR 97] dedica um extenso capítulo de sua obra sobre as diversas variações dessa operação, detalhando inclusive as possíveis formas de tratamento para os atributos envolvidos. Com o objetivo de simplificar a descrição dessa operação, a presente proposta considera o processamento dos atributos resultantes como uma definição de operação independente.

Câmara [CAM 95] já definiu "Interseção Espacial" como a transformação de geo-campos em geo-objeto, atribuindo identificadores para cada atributo e geometria. Davis [DAV 2000] define "superposição" no grupo de "operadores auxiliares" como transferência da geometria básica de um objeto para outro, eliminando características desnecessárias para a nova representação. Considera aplicável, tanto na entrada como na saída, todas representações previstas no modelo OMT-G.

Para efetuar a operação Superposição entre as instâncias de duas classes de *Campo Geográfico* é necessário que possuam o mesmo tipo de representação. Em campos geográficos, é possível utilizar operadores matemáticos que irão executar cálculos tomando como parâmetros os valores de cada campo geográfico.

- Entrada: [1] *Fenômeno Geográfico 1*; [2] *Fenômeno Geográfico 2*; [3] operador booleano ou matemático.
- Saída: *Fenômeno Geográfico* com geometria e valores novos.
- Exemplo 1: A partir de duas classificações desenvolvidas com critérios distintos sobre a mesma região geográfica, a superposição desses campos geográficos com o operador booleano "E" geram um campo geográfico contendo valores binários, representando os locais onde os critérios apresentaram resultados iguais (cinza) ou distintos (branco), conforme apresentado na Figura 3.7.

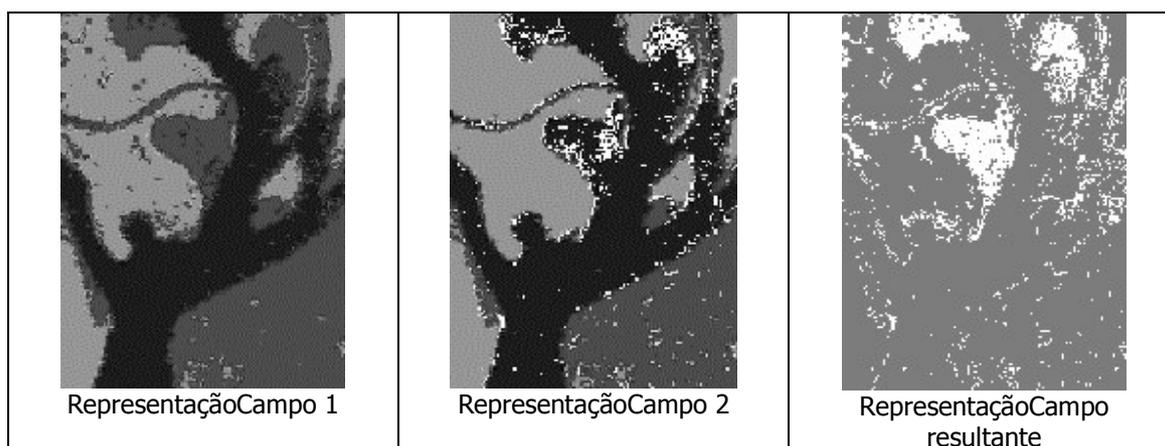


FIGURA 3.7 - Aplicação da operação Superposição sobre campos geográficos.

- Exemplo 2: Definir os segmentos do objeto geográfico rodovia RS-389 (representado por linhas) de acordo conforme o conjunto de objetos geográficos de municípios (representados por polígonos) que a interceptam. Para cada segmento obtido como resultado, são associados os atributos dos objetos envolvidos. Nesse exemplo, o atributo "Extensão", que depende da geometria do objeto linear, foi recalculado após a execução

da superposição, os demais atributos são mantidos com os valores originais. A Figura 3.8 apresenta a geometria dos objetos geográficos originais (a), os segmentos resultantes (b), os atributos dos objetos originais (c, d), e os atributos dos segmentos resultantes (e).

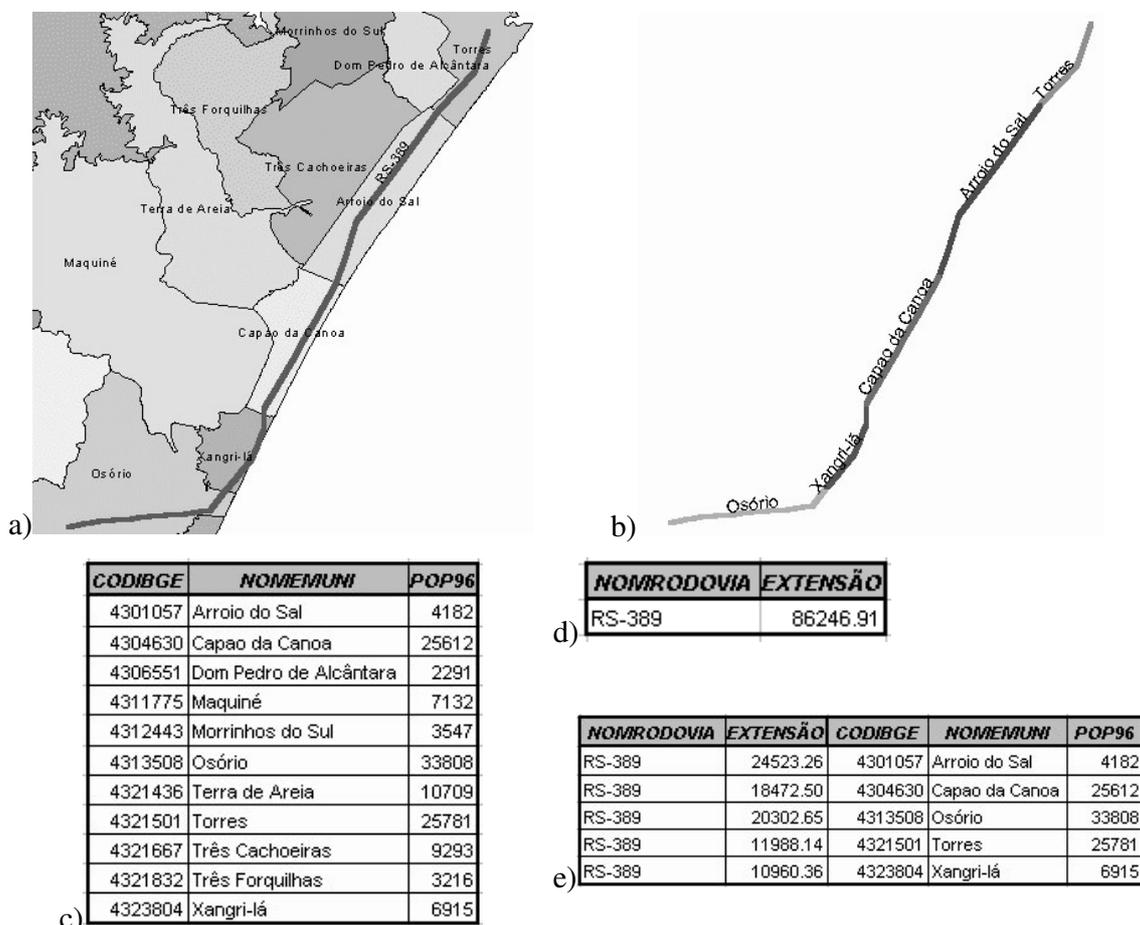


FIGURA 3.8 - Aplicação da operação Superposição sobre objetos geográficos.

3.2.7 Diagrama Voronoi (Voronoi Diagram)

Os diagramas de Voronoi são originados de um método desenvolvido pelo matemático russo de mesmo nome.

Segundo Davis [DAV 2000], a operação "Diagrama de Voronoi" trata da construção de uma subdivisão planar a partir de um conjunto de pontos, de modo que cada polígono contenha os pontos do plano mais próximos de um determinado local do que de qualquer outro.

As linhas do diagrama de Voronoi são construídas a partir dos bi-setores perpendiculares às linhas que conectam os pontos mais próximos.

Albrecht [ALB 95] identificou essa operação como "Voronoi/Thiessen" no grupo "*Locational Analysis*".

- Entrada: *PontosIrregulares*.
- Saída: *PolAdjacentes*.
- Exemplo: A partir de um campo geográfico associado à distribuição de postos de saúde em uma cidade, determinar polígonos que representam a área de cobertura desses postos.

3.2.8 Declividade (Slope)

A partir de uma instância de *CampoGeográfico* de distribuição contínua, cujos valores possam ser discretizados em planos, pode-se aplicar a operação *Declividade*. Essa denominação enquadra-se muito bem na sua forma de uso mais comum, que é a de caracterizar a declividade do terreno natural, onde um modelo numérico do terreno é utilizado como entrada.

Albrecht [ALB 95] denominou essa operação como "*Slope/Aspect*" no grupo "*Terrain Analysis*", ressaltando que, no caso particular do dado de entrada ser um TIN, o valor da declividade já é armazenado como um atributo de cada triângulo. Chrisman [CHR 97] apresenta também o caso do cálculo da declividade em uma representação de grade de células, que é mais complexo.

- Entrada: *RepresentaçãoCampo*.
- Saída: *RepresentaçãoCampo*.
- Exemplo: Gerar um campo geográfico com valores de declividade com representação TIN a partir de um campo geográfico com valores de altitude, também com representação TIN.

3.2.9 Intervisibilidade (Viewshed)

A operação *Intervisibilidade* também está relacionada com o modelo do terreno. A partir de um ponto ou região definido a uma determinada altura acima do solo, todo o campo geográfico é classificado como "visível" ou "não-visível".

Albrecht [ALB 95] destaca que a operação "*Viewshed*" do grupo "*Terrain Analysis*" também pode ser aplicada ao longo de uma linha, como uma estrada, ou uma área. Para essas situações, Chrisman [CHR 97] relacionou "*Viewshed*" ou "*Intervisibility*" no grupo "*Comprehensive Operations*" e é utilizada como base para complexos problemas de locação-alocação, como a distribuição de uma rede de transmissores de comunicação ao longo de uma determinada área.

- Entrada: [1] *RepresentaçãoCampo*; [2] região; [3] altura.
- Saída: *RepresentaçãoCampo*.
- Exemplo: A partir de um modelo digital do terreno armazenado em uma grade de células, obter uma grade de células indicando a região visível a partir de um ponto fornecido para verificar a possibilidade de implantação de um mirante.

3.2.10 Difusão (Spread)

A operação Difusão pode ser aplicada tanto a uma estrutura topológica de rede quanto a uma instância de *CampoGeográfico*. Considera a existência de um ponto de partida e valores, genericamente denominados como custo, na sua estrutura. O algoritmo dessa operação navega sobre os caminhos possíveis, determinando custos acumulados. Se fornecido um ponto de destino, pode escolher o caminho que tenha o menor custo. Os "custos" podem representar dinheiro ou outras grandezas como, por exemplo, tempo dispendido.

Albrecht [ALB 95] denominou essa operação como "*cost/diffusion/spread*" e considerou-a suficientemente genérica para enquadrá-la no grupo "*Distribution / Neighborhood*" em vez de criar um grupo "*Network*". Chrisman [CHR 97] ressaltou que a determinação dos custos, como na criação de uma superfície de acumulação, por si só pode ser um processo complexo, principalmente quando combina muitas fontes de dados. O simples algoritmo da difusão não é suficiente quando a superfície de custo apresenta restrições de capacidade, como no caso de todos os usuários de uma malha rodoviária optarem pelo trajeto de menor tempo, os tempos de deslocamento determinados previamente serão afetados.

- Entrada: [1] *GradeCélulas* ou *Linha*; [2] ponto de partida; [3] atributo de custos (para *Linha*); [4] critério de dominância (mínimo, máximo); [5] ponto de chegada (opcional).
- Saída: *GradeCélulas* com valores binários ou sub-conjunto de *Linha* representando os caminhos determinados.
- Exemplo: Determinar as linhas que representam o caminho de menor tempo de deslocamento para unidades de emergência entre o Estádio Beira-Rio e o Hospital de Pronto Socorro, considerando que o sistema viário de Porto Alegre encontra-se representado por linhas com direção contendo um atributo de tempo de deslocamento.

3.2.11 Transformação (Transform)

Para que um dado geográfico seja representado adequadamente no espaço, é necessário que esteja enquadrado em um sistema de projeção cartográfica. Existe um grande número de sistemas de projeção cartográfica, devidamente catalogados e que são suportados por *software* de SIG.

Não é possível executar processos de análise geográfica sobre dados que não estejam no mesmo sistema de referência. A obtenção de dados em diferentes sistemas de projeção cartográfica é muito comum. Por isso, a operação de transformação de sistemas de projeção pode ser um pré-requisito necessário na especificação de qualquer processo.

Dentre os autores pesquisados, a operação de transformação foi relacionada sempre como uma operação de suporte às demais operações de análise geográfica, como em [ARO 89], que classificou a operação de transformação no grupo de funções de manutenção e análise de dados espaciais. Já o OGC relaciona a operação "*Transform*" na classe *GM_Object*.

A definição de sistema de projeção cartográfica inclui diversos parâmetros, como datum, fuso de origem, falso leste e norte, dentre outros que podem ocorrer. Ao definir-se a

transformação de sistemas de projeção deve-se informar todos os parâmetros necessários para definir os sistemas de projeção envolvidos.

- Entrada: [1] *Fenômeno Geográfico*; [2] Sistema de Projeção Original; [3] Novo Sistema de Projeção.
- Saída: *Fenômeno Geográfico* (posicionado conforme as coordenadas do novo sistema de projeção).
- Exemplo: A projeção UTM, utilizada na elaboração da cartografia sistemática nacional, não é adequada para a representação de grandes extensões, como o Estado do Rio Grande do Sul. Se for necessário agregar todas as cartas na escala 1:250.000, produzidas em UTM, para efetuar processos de análise geográfica em nível estadual, é necessário transformá-las para um sistema de projeção cartográfica que suporte extensões maiores, como a projeção Policônica.

3.2.12 Distância (Distance)

A operação *Distância* retorna a distância de um objeto a outro. Considerando que é possível obter-se parte de um *Campo Geográfico* através da operação *Seleção*, nas situações onde se deseja obter a distância entre os limites de dois campos geográficos, essa operação também é aplicável.

Na interpretação do OGC, a distância entre linhas e polígonos é determinada pela menor distância possível entre esses objetos; se as bordas cruzam-se ou tocam-se em alguma situação, a distância é determinada como zero. Já Câmara [CAM 95] situa as operações de "distância" e "direção" como geradoras dos "relacionamentos métricos".

O senso comum entende a distância medida como uma distância de mapa, mas o resultado do cálculo da distância depende do sistema de projeção cartográfica que está sendo utilizado para representar esses objetos. Outros valores de distância entre os mesmos objetos podem ser obtidas se as distâncias forem do tipo geodésica ou de terreno. A distância geodésica, de interesse apenas para grandes distâncias, é o comprimento da menor curva entre os pontos mais próximos dos objetos. A distância de terreno, que pode ser baseada nas distâncias de mapa e geodésica, leva em consideração a variação da altimetria no caminho entre esses pontos mais próximos.

- Entrada: [1] *Fenômeno Geográfico1*; [2] *Fenômeno Geográfico2*; [3] tipo de medida.
- Saída: valor da distância.
- Exemplo: a distância entre o polígono que representa o município de Porto Alegre e o polígono que representa o Lago Guaíba é zero, pois esses polígonos se tocam.

3.2.13 Centróide (Centroid)

A operação *Centróide* é um instrumento auxiliar para uma análise envolvendo objetos geográficos, pois o único objetivo é obter um ponto garantidamente dentro de um polígono.

Na definição da topologia de polígonos em *software* de SIG vetorial, apenas um centróide deve estar totalmente envolvidos por linhas que formam a borda de um polígono. Após a geração de centróides, pode-se aplicar a operação de Superposição com um tema de polígonos, ou seja, os atributos de cada polígono são copiados para o centróide que nele está contido. Com esse procedimento, poderia-se utilizar uma representação de pontos em vez de polígonos, o que pode ser útil em algumas aplicações.

A operação "*Centroid*" é uma das operações da classe *GM_Object* do OGC, o que indica que também poderia ser aplicada sobre linhas. Davis [DAV 2000] relacionou "Determinação de centróide" como uma operação de geometria computacional, prevendo polígono como entrada e ponto como saída, que é a situação normal de aplicação dessa operação e a que será adotada nessa definição.

- Entrada: *Polígono*.
- Saída: *Ponto*.
- Exemplo: Os municípios são representados usualmente pelos limites municipais (polígonos) ou pela sede municipal (ponto). Já micro-regiões do IBGE, que agregam os polígonos dos municípios, não possuem uma característica que possa representá-la como ponto. Nesse caso, é cabível a geração de um ponto representativo da micro-região utilizando a operação Centróide.

3.2.14 Agregação (Dissolve)

A operação *Agregação* aplica-se quando o relacionamento espacial de duas instâncias de uma classe *ObjetoGeográfico* for de vizinhança e ambos tiverem o mesmo valor para um atributo determinado. Nessa situação, a geometria desses dois objetos é agregada em um único objeto. Para os demais atributos que se desejar preservar após a agregação, regras de dominância devem ser aplicadas, pois podem apresentar valores distintos entre os dois objetos que estão sendo agregados.

Davis [DAV 2000] classificou a operação de "Agregação" como de generalização cartográfica. No FME Workbench [SAF 2002], por exemplo, "*Dissolver*" já é classificada no grupo de "*Geometric Operators*". Chrisman [CHR 97] alerta sobre o problema da perda de informação que pode ser causada pela operação "*Aggregation*".

- Entrada: *Linha* ou *Polígono*.
- Saída: Novas instâncias de *Linha* ou *Polígono* contendo objetos agregados.
- Exemplo: Um mapa contendo uma representação de polígono para cada região do Brasil pode ser gerado por Agregação a partir de um mapa de Estados do Brasil representados por polígonos que contenham um atributo com o nome da Região.

3.2.15 Interpolação (Interpolation)

A Interpolação é uma operação genérica que abrange diversos métodos. Por exemplo, a geração de um modelo numérico de terreno a partir de dados de relevo é realizada através de uma interpolação utilizando algum método específico, como a "Triangulação de Delaunay".

Albrecht [ALB 95] considerou "*interpolation*" como uma operação de entrada ou de manipulação de dados que não caracteriza o ganho de informação de uma operação analítica. Aronoff [ARO 89] identificou alguns tipos de operações "*interpolation*", como regressão polinomial, Fourier, Kriging, "*splines*", médias móveis. Dentre os operadores de transformação descritos por Davis [DAV 2000], pode-se enquadrar como que utilizam algum tipo de interpolação a Geração de Isolinhas, Triangulação de Delaunay, Triangulação de Polígonos, Interpolação Espacial.

As operações de interpolação caracterizam-se por utilizar instâncias de *ObjetoGeográfico* ou *CampoGeográfico*, aplicar o método de interpolação e obter um outro conjunto de dados como resultado, que pode ser, inclusive, em outra forma de representação. Alguns métodos podem requerer parâmetros numéricos adicionais.

- Entrada: [1] *FenômenoGeográfico*; [2] método de interpolação; [3 a n] parâmetros numéricos adicionais.
- Saída: *FenômenoGeográfico*.
- Exemplo: A partir de um modelo numérico do terreno, representado por TIN, e de um valor de espaçamento entre cotas, uma operação de interpolação utilizando o método "Geração de Isolinhas" produz curvas de nível múltiplas ao valor especificado (por exemplo, a cada 5 metros).

3.2.16 Síntese das Operações do Catálogo do GeoFrame

Ao observar características comuns às operações descritas, verifica-se que o resultado de uma operação pode conter dados não geográficos ou conter uma representação de objeto ou de campo. Resultados não geográficos podem ser booleanos (Verdadeiro/Falso), numéricos ou textuais. Já quando o resultado é uma forma de representação de um fenômeno geográfico, ele pode recair em uma das seguintes situações:

- novo fenômeno geográfico, decorrente de alteração geométrica ou do significado do conteúdo;
- novo estado para o fenômeno geográfico corrente, decorrente da alteração de valores ou da referência espacial;
- subconjunto de um fenômeno geográfico original, decorrente de seleção.

A Tabela 3.16 sintetiza as operações que foram descritas nas seções anteriores, apresentando de forma sucinta os parâmetros envolvidos (separados por ponto-e-vírgula) e os tipos de resultado. O asterisco (*) indica um parâmetro opcional. Os termos *FenômenoGeográfico*, *ObjetoEspacial* e *RepresentaçãoCampo* foram simplificados, respectivamente, para "Fenômeno", "Objeto" e "Campo".

TABELA 3.16 - Síntese das operações propostas para o catálogo do GeoFrame.

Nome	Parâmetros	Resultado
Seleção	Fenômeno ; expressão lógica	Fenômeno (subconjunto)
SeleçãoEspacial	Objeto ; predicado espacial	Objeto (subconjunto)
SeleçãoRegião	Fenômeno ; região	Fenômeno (subconjunto)
Classificação	Fenômeno ; método ; ObjetoNãoEspacial* ; atributo*	Campo(novo) ou Objeto(atributos atualizados)
ZonaInfluência	Fenômeno ; distância	Campo ou Polígono (novo)
Superposição	Fenômeno1 ; Fenômeno2 como restrição ; expressão lógica	Fenômeno1 (novo)
DiagramaVoronoi	PontosIrregulares	PolAdjacentes (novo)
Declividade	Campo	Campo (novo)
Intervisibilidade	Campo; região; altura	RepresentaçãoCampo (novo)
Difusão	GradeCélulas ou Linha ; partida ; chegada* ; dominância	GradeCélulas(novo) ou Linha (subconjunto)
Transformação	Fenômeno ; sistema origem ; sistema destino	Fenômeno(transformado)
Distância	Objeto1 ; Objeto2	Distância (não espacial)
Centróide	Polígono	Ponto(novo)
Agregação	Linha ou Polígono ; atributo	Linha ou Polígono(novo)
Interpolação	Fenômeno ; método ; parâmetros numéricos	Fenômeno(novo)

4 Processos de Análise Geográfica

Um BDG é um caso particular de bancos de dados, onde o componente de informação espacial é muito presente. O projeto de um banco de dados contempla as fases de projeto conceitual, lógico e físico. O projeto conceitual materializa-se através do desenvolvimento de um modelo expresso em uma linguagem que seja compreendida por todos os envolvidos, desde usuários finais a projetistas [PER 2002].

Os processos de análise geográfica são parte dos aspectos dinâmicos que podem ser considerados em um banco de dados geográfico. Esses processos podem ser especificados tanto na fase de projeto quanto na fase de produção do BDG; ou seja, quando ele se encontra operacional como componente de um SIG.

É comum a prática dos usuários de SIG de especificar os processos apenas na fase de produção do BDG. Como o BDG normalmente é acessado através de um único *software* de SIG, quando é elaborada uma especificação de processo de análise, ela é voltada aos níveis lógico e físico, usando os recursos e a nomenclatura que o *software* oferece. Portanto, tal especificação serve apenas para o ambiente de *software* sobre o qual foi realizado o investimento. Em algumas situações, a simples troca de versão do *software* já é suficiente para tornar obsoleta boa parte de uma especificação de processo.

Por outro lado, especificar processos na fase de projeto apresenta vantagens como:

- identificar se o *software* de SIG que se pretende utilizar oferece as operações necessárias para a execução dos processos, permitindo revisão de estratégias de implementação;
- identificar se o conjunto de dados que se pretende utilizar é adequado aos processos que devem ser executados, evitando investimentos em preparação de dados que não seriam utilizados ou detectando (em tempo hábil) a necessidade de aquisição de dados adicionais.

De que forma os processos de análise geográfica são executados em *software* de SIG e alguns recursos utilizados para especificação em nível lógico e físico são apresentados na seção 4.1.

A seção 4.2 identifica os construtores necessários para modelagem de PAG.

Algumas propostas de modelos formais para a especificação de processos de análise geográfica em nível conceitual são apresentados na seção 4.3.

As organizações de padronização na área da informação geográfica, como o Open GIS Consortium (OGC) e as normas ISO, utilizam os diagramas da estrutura estática da linguagem UML para a especificação de seus modelos [MAT 2001]. A seção 4.4 aborda uma metodologia para o uso dessa linguagem, assim como recursos que ela apresenta para modelagem de processos.

4.1 Processos de Análise Geográfica em Software de SIG

Os SIG são construídos para que se possa, a partir deles, processar consultas que estão relacionadas com a localização geográfica. Determinar onde as coisas estão, mapear o mais e o menos importante, mapear a densidade, descobrir o que está dentro e o que está nas proximidades, e mapear as mudanças são as tarefas de análise geográfica mais comuns de serem executadas diariamente, segundo Mitchell [MIT 99]. Para executar essas tarefas, o *software* de SIG oferece uma diversidade de recursos.

Alguns SIG apresentam interface interativa e resposta imediata a algumas dessas necessidades como, por exemplo, descobrir onde as coisas estão. No *software* de SIG SPRING [INP 2002], para verificar-se onde estão os municípios do Estado do Rio Grande do Sul com mais de 200 hab/km², a partir de um banco de dados geográfico que contem a divisão municipal e dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), redige-se uma expressão lógica para gerar uma coleção. Como resultado, apenas os municípios que atendem essa condição são exibidos, como mostra a Figura 4.1. Nesse exemplo, executou-se um PAG muito simples, constituído por apenas uma operação de seleção por atributos.

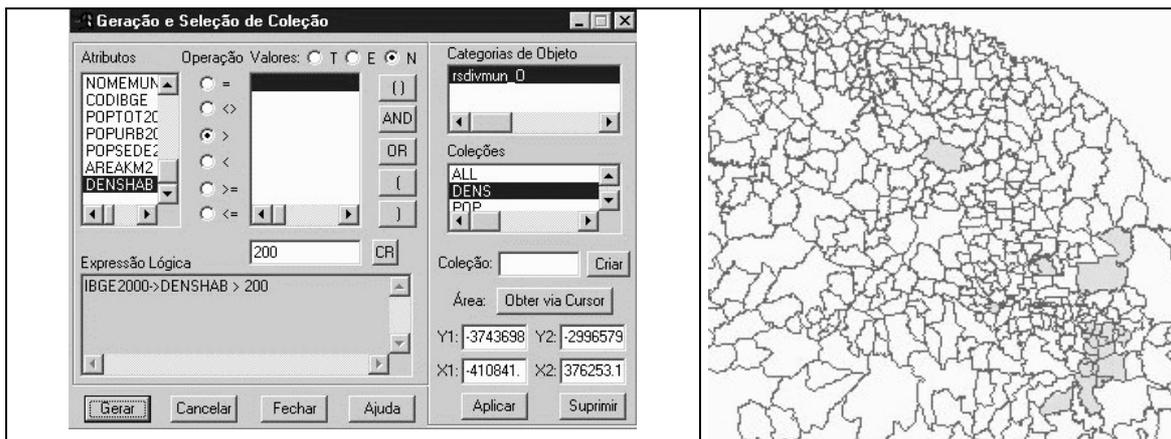


FIGURA 4.1 - Tarefa simples de seleção por atributos no *software* SPRING

Por outro lado, conforme formulada a questão, descobrir o que está dentro ou nas proximidades, pode envolver uma quantidade maior de dados e ter como resultado a geração de um mapa composto. Segundo [MEN 2001], um mapa composto é um mapa criado pela combinação de outros mapas temáticos, normalmente por meio de processos de análise geográfica, que pode ser feita de forma manual ou automática.

A implementação de um processo em um *software* de SIG depende de como esse *software* expõe seus recursos, que pode ser através de mais de uma das formas relacionadas a seguir:

- interfaces de menus combinadas com caixas de diálogo;
- *wizards* (seqüência programada de caixas de diálogo que auxilia na execução de uma tarefa mais complexa);
- comandos de linha;
- linguagem de programação proprietária;

- biblioteca de objetos para uso através de linguagem de programação genérica;
- modelagem gráfica.

Para a implementação de um processo, além do conhecimento teórico sobre as operações de análise geográfica que normalmente são utilizadas em um *software* de SIG, o usuário deve conhecer a forma de operação do *software* e a nomenclatura correspondente utilizada.

No caso do SPRING, a principal forma de operação é através de uma interface de menus combinada com caixas de diálogo. Algumas operações nesse *software*, entretanto, podem ser expressas apenas através de uma linguagem de programação proprietária, denominada LEGAL (Linguagem Espacial para Processamento Algébrico), cujo código é interpretado dentro do ambiente do *software* SPRING.

Outro *software* desenvolvido pelo mesmo produtor do SPRING (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) é o TerraLib [CAM 2002]. Trata-se de uma biblioteca de classes e funções para a construção de aplicativos geográficos oferecido em código-fonte ANSI C aderente ao conceito de *software* livre.

A documentação de um processo executado no SPRING pode ser desenvolvida com a construção de um manual do usuário mostrando a seqüência de telas envolvidas no processo ou através de uma listagem comentada do programa LEGAL. Essa documentação não ajuda muito o desenvolvedor que deseja implementar o mesmo processo usando a biblioteca TerraLib se ele não conhecer a estrutura do SPRING ou da linguagem LEGAL.

O *software* Idrisi [CLA 2003], desenvolvido pela Clark Labs, além de utilizar uma interface de menus e caixas de diálogo, apresenta uma relação de comandos de linha equivalentes às ações executadas na interface. Esse recurso foi explorado para possibilitar uma especificação de processo em nível lógico, conforme será exibido na seção a seguir, onde é apresentado um exemplo de PAG.

4.1.1 Exemplo 1: Determinação de Local para Instalação de uma Indústria

Eastman [EAS 98] apresenta um estudo de caso como um exercício tutorial para o aprendizado do *software* de SIG Idrisi. Trata-se de um problema que lida com algumas operações geográficas básicas. Seu enunciado é apresentado abaixo:

"Uma indústria deseja se instalar em uma determinada região e procura uma área plana (declividade menor que 2,5°) com disponibilidade de 10 hectares de área contínua. A legislação impede construção a menos de 250 metros de reservatórios de água. Para a ocupação de áreas contínuas desse porte, nessa região, deve-se considerar apenas as áreas hoje ocupadas por florestas. As informações disponíveis são um mapa de relevo (RELIEF) e um mapa de uso do solo (LANDUSE)."

Eastman apresentou a sua solução através da modelagem cartográfica adaptada para o Idrisi, conforme a Figura 4.2. A modelagem cartográfica é uma metodologia "orientada a funções", proposta por Tomlin [TOM 91], onde cada conjunto de dados é considerado como um "*layer*". Os "*layers*" são simbolizados através de seus nomes envolvidos em uma caixa, enquanto que as funções (ou operações) que atuam sobre esses dados são expressas sobre arcos orientados.

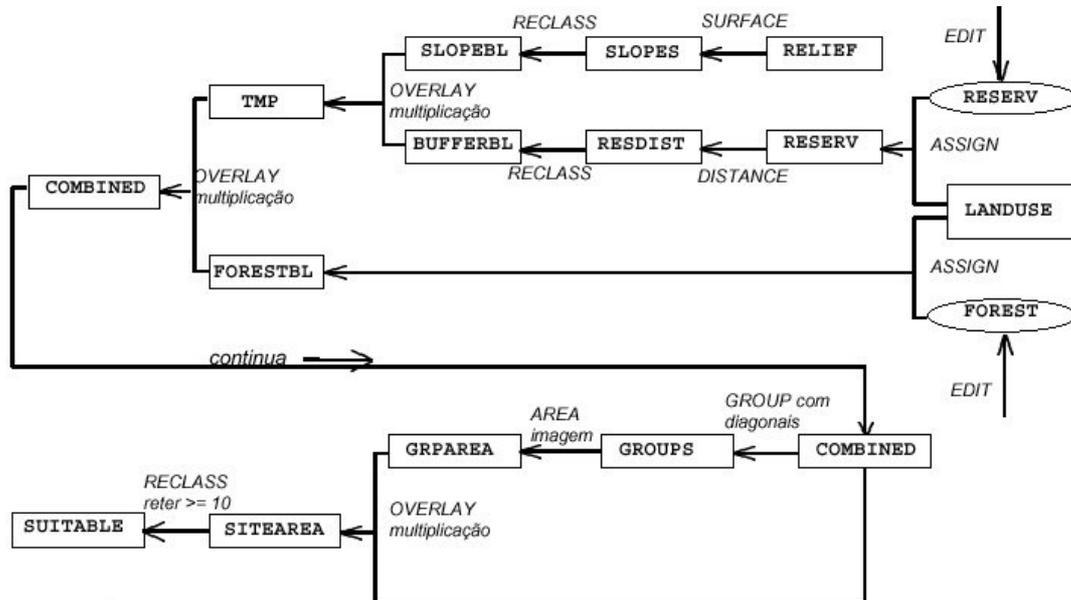


FIGURA 4.2 - Solução do exemplo 1 através da modelagem cartográfica do Idrisi [EAS 98].

A seguir, são destacadas as operações básicas utilizadas ao longo desse processo, utilizando-se a denominação de operações do catálogo do GeoFrame:

- **Seleção:** a partir do campo geográfico LANDUSE, foram selecionadas (através da operação ASSIGN do Idrisi) as regiões que apresentavam como atributo de tipo de solo: florestas (FOREST) e reservatórios de água (RESERV).
- **Zona de Influência:** a partir dos reservatórios de água (RESERV), foi demarcada uma zona de influência de 250 metros (RESDIST), através da operação DISTANCE do Idrisi.
- **Declividade:** a partir do campo geográfico que descreve o relevo (RELIEF) foi aplicada a operação SURFACES do Idrisi, que resultou em um campo geográfico representando as declividades da superfície (SLOPES).
- **Classificação:** alguns critérios foram agrupados por terem o mesmo significado nesse problema. As regiões que não continham reservatórios (RESERV) nem pertenciam à zona de influência dos reservatórios (RESDIST) foram agrupadas, através da operação RECLASS do Idrisi, gerando o campo BUFFERBL. De forma similar, as regiões de campo geográfico que possuem como atributo um valor de declividade inferior a 2,5 graus foram agrupadas com o uso do RECLASS, gerando o campo SLOPEBL.
- **Superposição:** a seleção de áreas onde ocorrem simultaneamente situações de floresta (FORESTBL), declividade baixa (SLOPEBL), e afastadas da água (BUFFERBL), ocorre com a operação OVERLAY multiplicação do Idrisi (em duas etapas), obtendo-se como resultado COMBINED.
- **Seleção:** dentre as áreas obtidas em COMBINED, são selecionadas as áreas contíguas com mais de 10 hectares (SUITABLE), que representam o resultado final desse processo. A especificação do PAG nessa etapa final contém operações necessárias (GROUPS e AREA) quando os dados encontram-se representados em estrutura matricial.

Esse mesmo exemplo foi implementado no *software* WOODSS - (*Workflow-based spatial Decision Support System*), desenvolvido na UNICAMP para ser utilizado em conjunto com um SIG no objetivo de prover suporte à decisão espacial envolvendo dados ambientais [SEF 99], conforme apresentado na Figura 4.3. Um PAG é tratado como um processo de *workflow*. O *workflow* pode ser criado através da interface, ou gerado a partir da interação do usuário com o *software* de SIG, de maneira análoga a um gravador de macros. O objetivo dessa ferramenta é possibilitar o reuso de processos, executando-se as adaptações necessárias. Também serve como base para aplicação de técnicas de raciocínio baseado em casos.

O WOODSS foi implementado em Java com uma interface para o *software* de SIG Idrisi. Uma atividade é representada por um retângulo, uma dependência por uma seta com um rótulo (que contém um nome de arquivo ou condições). Percebe-se nessa implementação uma abordagem distinta daquela utilizada na modelagem cartográfica. Enquanto a modelagem cartográfica destaca os dados nos retângulos, o WOODSS destaca as atividades.

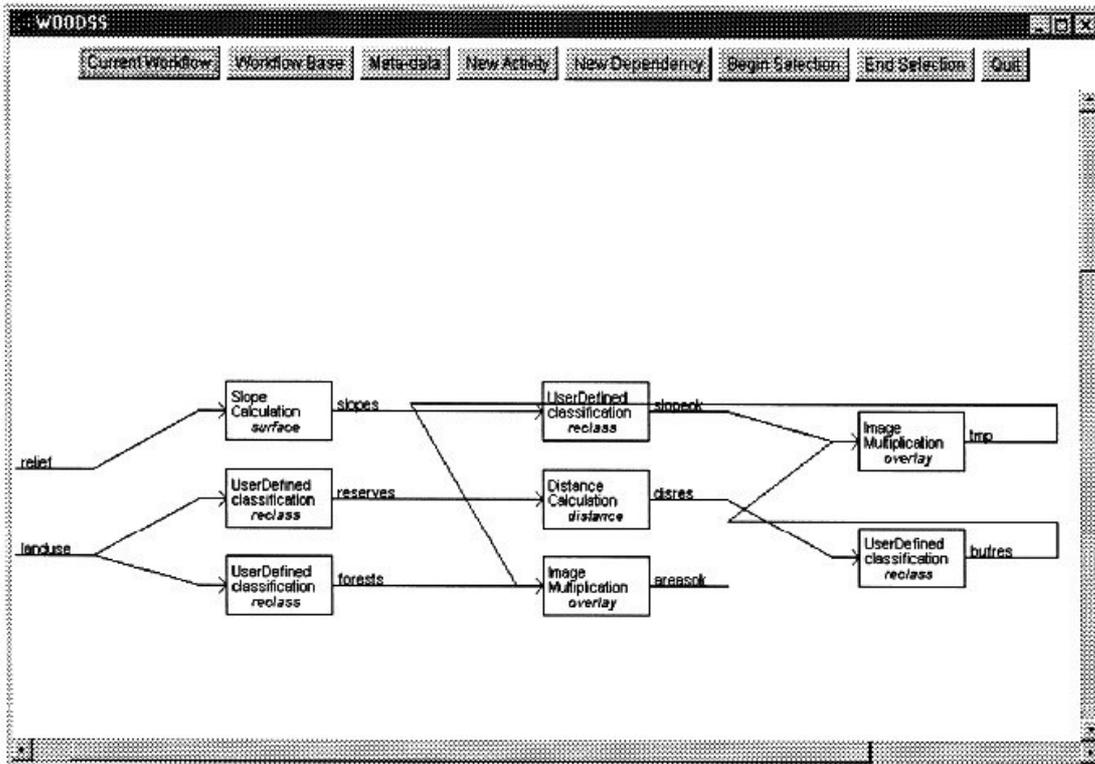


FIGURA 4.3 - Modelo de *workflow* apresentado pela interface do *software* WOODSS [SEF 99].

Outros aplicativos de SIG oferecem, como recurso alternativo, a especificação de processos a partir de uma modelagem gráfica, como é o caso do módulo ModelBuilder do ArcView Spatial Analyst, produzido pela ESRI [ESR 2000] e do *software* FME Workbench (Feature Manipulation Engine), da SAFE Software [SAF 2002]. Esses recursos de modelagem gráfica também utilizam os princípios básicos da modelagem cartográfica, onde arcos orientados indicam o fluxo e nodos (caixas) podem representar dados ou operações sobre os dados. O processo especificado através dessas ferramentas gera um

procedimento executável no ambiente do *software*. O exemplo de processo apresentado na próxima seção foi modelado usando uma dessas ferramentas.

4.1.2 Exemplo 2: Geração de regiões administrativas homogêneas

O Estado do Rio Grande do Sul possui diversas versões de divisão regional, dentre elas a divisão da Secretaria da Agricultura e a do Orçamento Participativo. Em cada versão, um município é designado para uma região. Ocorrem casos em que municípios vizinhos participam da mesma região em uma versão, enquanto em outra versão isso não ocorre. Para um estudo de redistribuição das regiões, um PAG pode mostrar as regiões homogêneas, ou seja, onde os municípios não pertençam a regiões diferentes em nenhuma das versões.

A Figura 4.4 mostra a implementação desse exemplo no *software* FME Workbench. O modelo gráfico do FME Workbench exibe apenas os dados de entrada e saída dos processos. Os dados intermediários, gerados no decorrer do processo, não são explicitados. A partir da seleção das caixas são informados os parâmetros necessários para que o processo possa ser executado.

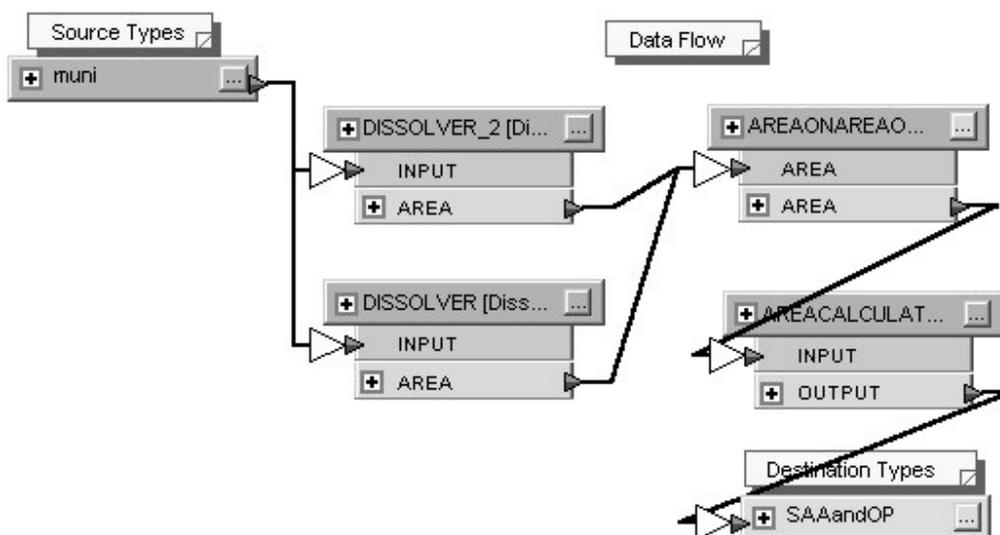


FIGURA 4.4 - Solução do exemplo 2 através da modelagem gráfica do FME.

A seguir, são destacadas as operações básicas utilizadas ao longo desse processo, com a denominação que descrita no capítulo 3:

- **Agregação:** A base espacial que contem os polígonos de municípios (arquivo muni) tem as bordas dos municípios vizinhos removidas quando pertencem à mesma região. Esse processo ocorre para o atributo descritivo associado ao polígono que contem o identificador da região da Secretaria da Agricultura (DISSOLVER) e para o respectivo atributo da região do Orçamento Participativo (DISSOLVER_2).
- **Superposição:** Os polígonos resultantes (indicados pelo canal de saída AREA nas caixas da operação DISSOLVER) são superpostos através da operação AREAONAREAOVERLAY, gerando um novo conjunto de polígonos.

- Área: A área dos polígonos resultantes é calculada com a operação AREACALCULATE e o resultado armazenado em um atributo.

Os polígonos resultantes do processo são gerados no arquivo de saída SAAandOP. O detalhe de uma região contendo o mapa de entrada, os mapas intermediários e o mapa resultante do processo é apresentado na Figura 4.5.

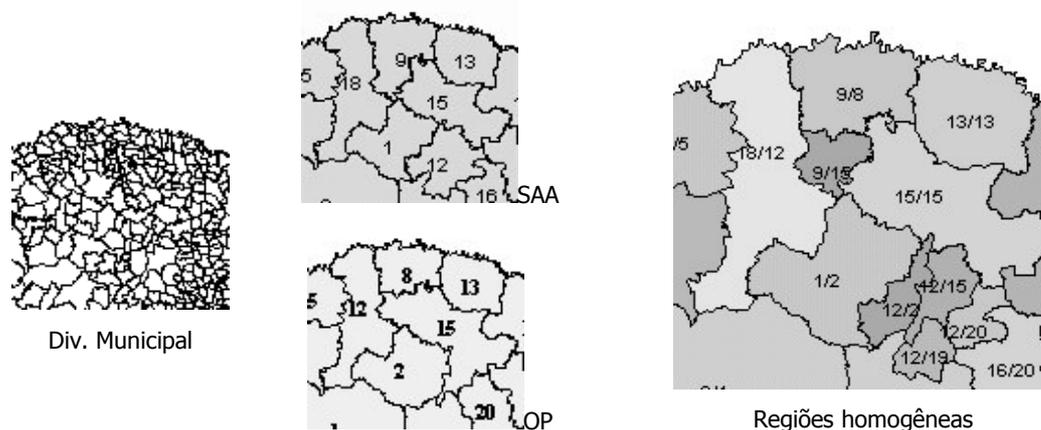


FIGURA 4.5 - Detalhes dos mapas do processo do exemplo 2.

A definição de processos através de modelos gráficos é uma alternativa de interface muito interessante para ser implementada em *software* de SIG. O modelo gerado dessa forma, em primeira vista, é facilmente interpretável. Mas, ao considerar a possibilidade de reaproveitamento de um modelo de processo definido com essa ferramenta em outro *software* de SIG, o primeiro problema que aparece é a nomenclatura das operações, pois os nomes utilizados são os das funções oferecidas pelo *software*. Também não é possível perceber em qual contexto no banco de dados geográficos é que estão inseridos os dados de entrada e de saída do processo. Os detalhes das operações não são explicitados no gráfico, pois são acessados apenas na interface com o usuário.

4.2 Elementos Necessários para Modelagem de Processos de Análise Geográfica

A modelagem de PAG pode contemplar tanto a especificação externa quanto a interna, ou fixar-se em apenas uma delas. A especificação externa de um PAG busca o seu relacionamento com elementos externos, como outros processos, dados de entrada e saída, e regras para execução. A especificação interna de um PAG detalha a seqüência de operações.

Para que processos de análise geográfica possam ser modelados em nível conceitual através de alguma linguagem, é necessário relacionar-se os elementos de modelagem necessários, tanto para a especificação externa quanto interna.

Os elementos de modelagem podem ser componentes de modelagem estática ou dinâmica.

Todos esses elementos de modelagem necessários devem ser disponibilizados de acordo com a visão do universo de abstração que o modelo contempla. O GeoFrame, por

exemplo, explicita as representações das classes especializadas de *Fenômeno Geográfico*. Portanto, os tipos de dados que são utilizados nas operações devem ser explicitados conforme aqueles que são definidos no *framework*.

As seções a seguir descrevem os elementos de modelagem necessários, já indicando, a título de exemplo, uma forma de solução possível através do paradigma de orientação a objetos.

4.2.1 Especificação Externa

A especificação externa de PAG utiliza o princípio da caixa preta em projeto de sistemas, ou seja, não descreve suas funções internas, mas apenas as entradas e saídas esperadas.

Em nível de implementação, os dados envolvidos são organizados em um sistema de arquivos ou de banco de dados. Em nível conceitual, na orientação a objetos, os dados correspondem a objetos (instâncias), organizados em classes. A organização em classes é a mais adequada para dados de entrada e dados resultantes em um processo.

O processo deve utilizar um elemento de modelagem que possa ser relacionado com as classes que produzem e recebem resultados. Mesmo que o processo não tenha a característica de armazenar dados, ainda pode ser modelado como uma classe. Nesse caso, o conector entre o processo e as classes de dados seria modelado como um relacionamento. O grau de complexidade de um PAG pode ser reduzido, se for dividido em processos menores. Portanto, a relação de dependência entre processos também deve poder ser modelada.

A especificação externa também deve indicar o momento em que deve ocorrer a execução de um PAG através de um *software*. Normalmente essa execução ocorre no momento em que o usuário do *software* determinar, desde que os dados de entrada estejam completos. Deve-se considerar que, após uma execução inicial, uma alteração nos dados que servem de entrada para um PAG pode comprometer a consistência de uma base de dados que utiliza os seus resultados. Essas situações podem ser explicitadas no modelo, alertando até a necessidade de desenvolvimento de "gatilhos" que disparem a execução de um processo, quando uma determinada condição ocorrer. Os diagramas de modelagem dinâmica das linguagens de modelagem oferecem vários elementos que podem ser utilizados nesses casos.

4.2.2 Especificação Interna

Ao observar-se os exemplos da seção 4.1, percebe-se que tratam de especificações internas e que os componentes utilizados restringem-se a conjuntos de dados, operações e fluxos.

Se a especificação externa é desenvolvida, os dados devem ser modelados de forma compatível com aquela especificação. Se foram modelados como classes na especificação externa, a especificação interna pode tratá-los como classes ou até mesmo como instâncias de classes. Os dados intermediários de um processo, que não constam da especificação externa, não necessariamente devem ser organizados em classes.

As operações, que são implementadas através de programas executáveis, pelo seu relevante papel em um processo, podem ser modeladas na orientação a objetos como uma operação de classe ou até por um outro elemento de modelagem compatível com a linguagem que se utilize. Uma operação possui um conjunto de parâmetros de entrada e saída. Cada conjunto de parâmetros aceita determinados tipos de dados, por isso também é relevante poder expressá-los no modelo.

Entre classes que armazenam os dados e operações que os utilizam, é necessário definir um elemento de conexão. A escolha desse elemento depende da forma como as operações são modeladas. Em UML, por exemplo, quando as operações são modeladas como métodos das classes que mantêm os dados, utiliza-se elementos da modelagem dinâmica para expressar a relação da operação com os dados envolvidos.

As operações são seqüenciadas através de um fluxo. O fluxo mais comum nesse tipo de processo é o fluxo de dados, ou seja, aquele que, além de informar a ordem das operações, também indica o conjunto de dados que está sendo transportado de uma operação para outra. Determinados tipos de processos podem requerer fluxos de controle que indiquem uma dependência entre operações onde não ocorra transporte de dados.

Uma solução para a especificação interna de PAG deve conseguir representar os principais elementos descritos, ou seja, em síntese: dados, operações, conexão entre dados e operações, fluxos entre operações.

4.3 Modelos Conceituais de Bancos de Dados Geográficos com Suporte a Processos

O nível conceitual geralmente constitui o primeiro nível, no qual os dados são modelados, onde se dá ênfase à realidade do usuário e não à estrutura física a ser implementada. O usuário pode expressar seu conhecimento sobre a aplicação usando conceitos que estão mais próximos dele, independente dos conceitos do computador [ROC 2001a].

A modelagem conceitual de BDG pode ser mais complexa do que a de um banco de dados convencional. É relevante caracterizar os tipos de dados espaciais envolvidos. O conjunto de relacionamentos que ocorrem entre dados espaciais também é mais amplo do que aquele que envolve apenas dados descritivos. Para facilitar o uso de modelos de dados, nesse domínio de aplicação, extensões a modelos existentes vem sendo propostas.

As iniciativas de extensão de modelos de dados geográficos detiveram-se, principalmente, na estrutura estática dos modelos, como o GeoOOA [KOS 97], MADS [PAR 99] e GeoFrame [LIS 2000].

Apenas alguns modelos de dados geográficos contemplam aspectos estáticos e dinâmicos, como é o caso do GMOD [PIR 97], do OMT-G [DAV 2000] e do Tryfona+ [LOP 2002], que são analisados mais detalhadamente nas seções seguintes.

4.3.1 Modelagem Dinâmica no GMOD

O Modelo de Dados Geográficos - GMOD [PIR 97], que utiliza a notação OMT (*Object Modeling Technique*), apresenta alguns recursos para a modelagem dinâmica de

aplicações geográficas. A notação OMT, desenvolvida por Rumbaugh, é uma das precursoras da linguagem UML e apresenta três tipos de diagrama: classes, estados e fluxo de dados.

Através do GMOD é possível desenvolver a especificação externa de PAG. Classes específicas para suportar esses recursos são incorporadas no modelo de dados da aplicação: Regra e Processo. A Figura 4.6 exibe o modelo de dados do GMOD.

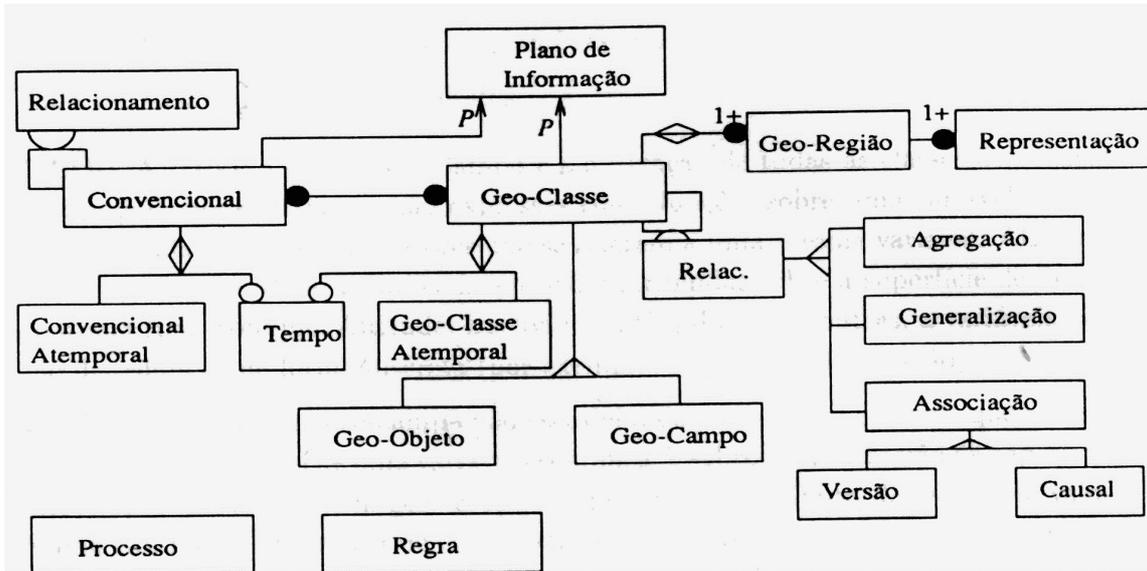


FIGURA 4.6 - Diagrama de classes do GMOD [PIR 97].

A classe Regra possui os atributos Evento, Consulta e Ação. A leitura dos atributos de uma instância dessa classe apresenta o seguinte significado: “na ocorrência desse Evento, é executada essa Consulta, e, se o resultado for verdadeiro, é executada essa Ação”. As regras podem ser utilizadas tanto para a especificação de restrições de integridade quanto para a especificação dinâmica da aplicação.

Um caso particular do uso de regras é o de especificação de relacionamentos causais. Esses relacionamentos estabelecem associação de causa-efeito entre os fenômenos modelados. A Figura 4.7 apresenta uma notação de relacionamento causal que indica que quando ocorrem mudanças no estado de um objeto da classe Vegetação, um processo, que ainda não é explicitado, deve determinar um novo estado para o objeto correspondente da classe Uso do Solo.

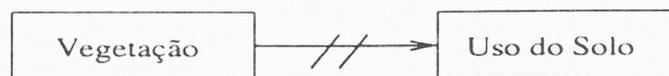


FIGURA 4.7 - Relacionamento causal no GMOD [PIR 97].

O GMOD utiliza o Diagrama de Estados da OMT para extrair regras que serão incorporadas à especificação da aplicação. Nesse diagrama, uma transição entre estados representa uma resposta a um evento, assim como ações e eventos enviados a outros objetos. A condição (consulta) controla se uma transição pode ocorrer ou não.

Uma ação de uma instância da classe Regras referencia processos especificados na classe Processos. A classe Processos possui como atributos o Nome, o conjunto de parâmetros de Entrada e Saída, a Função e as Regras. A Função descreve o efeito do processo e pode ser descrita em qualquer linguagem. As Regras representam as condições que restringem a execução do processo.

O exemplo da Figura 4.8 apresentado em [PIR 97] utiliza o Diagrama de Estados para descrever as regras que determinam a execução do processo "cálculo da umidade do solo". O evento "índice de chuva atinge valor i e alteração na área de cobertura vegetal" é escrito sobre a flecha que indica a transição. A condição "índice de chuva $i \geq$ valor pré-definido v " é expressa entre parênteses. A ação, "executar o processo que calcula o novo coeficiente de umidade do solo" é indicada após o caracter /, que, por sua vez, altera o atributo "coeficiente de umidade z " do objeto "Solo".

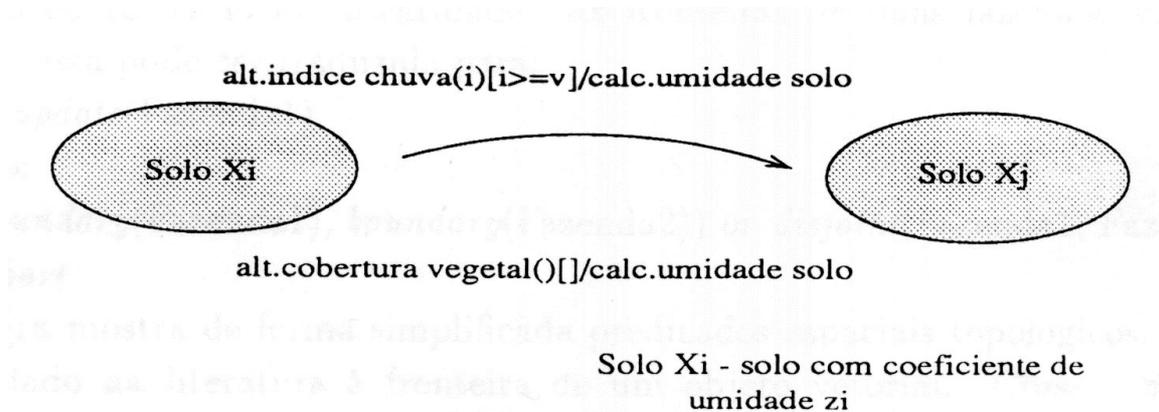


FIGURA 4.8 - Exemplo de Diagrama de Estados no GMOD [PIR 97].

O Diagrama de Fluxo de Dados da OMT é utilizado no GMOD para a representação de um processo. Um processo utiliza operações sobre objetos das classes previstas no modelo. As operações não são especificadas no GMOD, pois considera-se que são suportadas plenamente por *software* de SIG. O Diagrama de Fluxo de Dados apresentado na Figura 4.9 explicita as entradas e saídas de uma instância da classe Processo para "cálculo da umidade do solo".

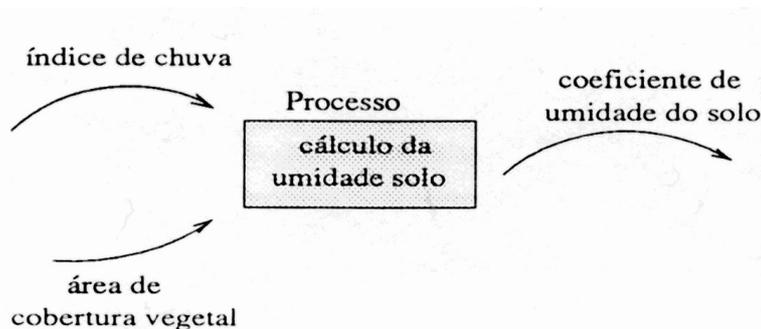


FIGURA 4.9 - Exemplo de Diagrama de Fluxo de Dados no GMOD [PIR 97].

Esse trabalho apresenta conceitos interessantes, como o uso de diagramas estáticos (de classes) e dinâmicos (estados e fluxo de dados) que complementam-se na descrição de

de parâmetros de vento, temperatura e umidade relativa e algumas regras associadas, através de um diagrama de classes e do diagrama de colaboração apresentado na Figura 4.11. Nesse último diagrama, percebe-se que a mensagem para criação de uma instância de "FenômenoOcorrido" leva um parâmetro diferente conforme a regra ocorrida (vendaval-Vd, se ocorrer R1, ou tempestade de granizo-TG, se ocorrer R4 no inverno).

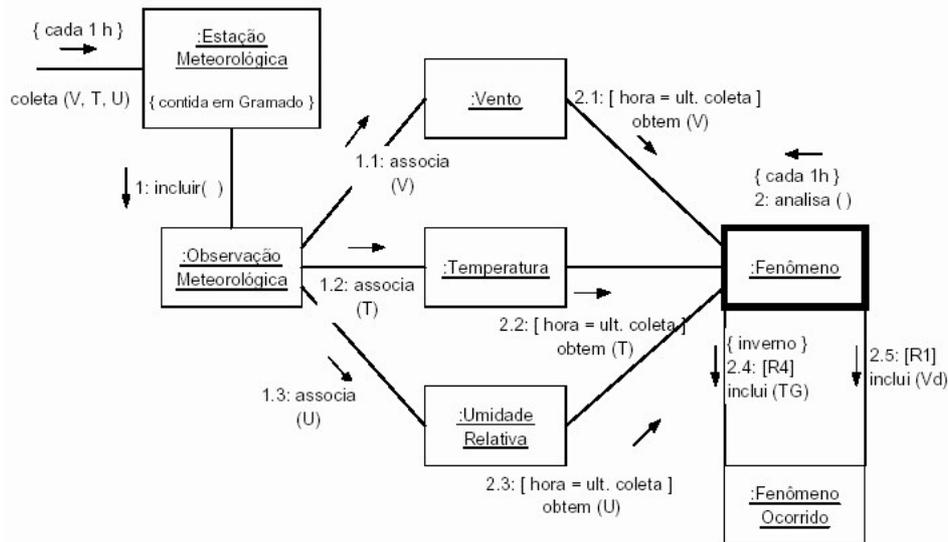


FIGURA 4.11 - Diagrama de colaboração baseado no Tryfona+ [LOP 2002].

A estrutura apresentada pelo *Framework Tryfona+* é suficiente para a modelagem de fenômenos que surgem a partir de uma combinação de regras, como pode ocorrer na especificação externa de PAG. Por outro lado, não se propõe a atender a modelagem de processos que exijam a participação de outras operações de análise geográfica, o que seria correspondente à especificação interna.

4.3.3 Diagramas de Transformação do OMT-G

A iniciativa de criar uma técnica para modelagem de aplicações geográficas a partir da notação OMT foi apresentada em [BOR 97]. Essa técnica, que foi inicialmente denominada Geo-OMT e, posteriormente, renomeada como OMT-G, apresenta recursos para a modelagem de aspectos estáticos do BDG apenas.

Em [DAV 2000], o OMT-G é estendido, apresentando mecanismos para suportar alguns aspectos dinâmicos, como o problema de múltiplas representações em BDG. Essa versão do OMT-G utiliza princípios da UML, mas não tem a intenção de ser totalmente compatível.

O OMT-G utiliza pictogramas para definir o modelo de representação utilizado por classes georreferenciadas no diagrama de classes. Os pictogramas exibidos na Figura 4.12, da esquerda para a direita, significam: linha unidirecional, linha bidirecional, nó de rede, ponto, linha, polígono, isolinhas, rede triangular irregular, subdivisão planar, amostras e tesselação.

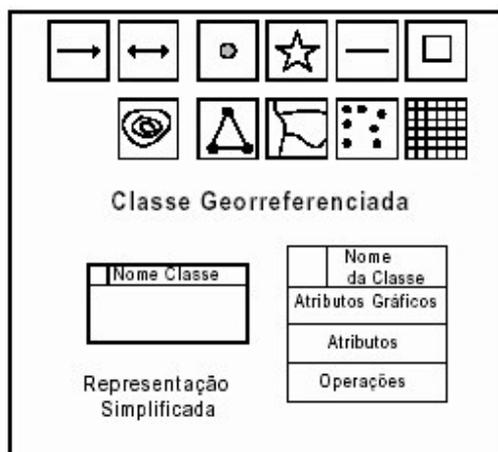


FIGURA 4.12 - Representação das classes no OMT-G [BOR 97].

Para especificar as diretrizes de visualização de uma representação prevista no diagrama de classes, foi criado o diagrama de apresentação. Um de seus usos é especificar a legenda de um mapa temático, através de simbologia (ex: cores, padrões de preenchimento e espessuras) e de faixas de valores em que a apresentação de um tema é classificada.

Para exibir as múltiplas representações de uma classe ou a derivação de uma classe a partir de outras, foi criado o diagrama de transformação. Dentre os seus usos, esse diagrama pode representar a especificação interna de um PAG. Nesse diagrama são utilizados operadores de transformação, que são considerados como algoritmos que manipulam ou modificam aspectos na representação do objeto fonte, transformando-o em um objeto resultante. Os operadores de transformação não estão vinculados a classes. Em [DAV 2000] foi apresentado um conjunto de operadores de transformação nos domínios de geometria computacional, generalização cartográfica e análise espacial.

No diagrama de transformação, classes fonte são conectadas a classes resultantes através de linhas contínuas, indicando a direção e o sentido do processo de transformação. O operador de transformação e seus parâmetros são indicados como um texto sobre essas linhas. Quando, em processos mais complexos, surgem classes temporárias, que não necessitam ser materializadas, elas são representadas com o contorno tracejado.

A Figura 4.13 apresenta um exemplo de uso do diagrama de transformação em uma aplicação de monitoramento da poluição sonora [BAR 2001]. Nele, verifica-se a presença de operadores de transformação comuns a aplicações de SIG (Interpola, Triangulação e GeraIsolinha), relacionados em [DAV 2000], e um operador específico da aplicação modelada (CalculaNivelReceptor). Apenas os atributos das classes que estão envolvidos no processo são destacados.

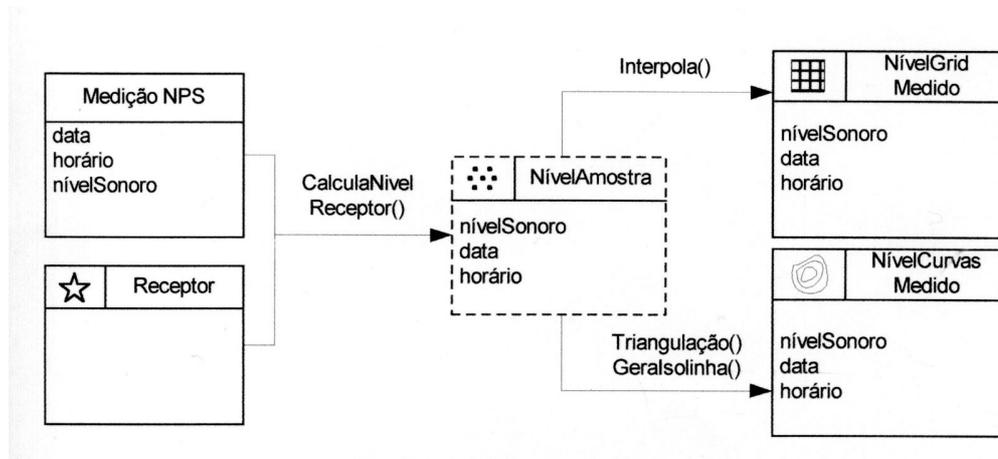


FIGURA 4.13 - Diagrama em OMT-G para geração de mapa de nível sonoro [BAR 2001].

O diagrama de transformação representa uma evolução dos métodos de especificação interna de processos em relação àqueles baseados em modelagem cartográfica, pois utiliza uma estrutura de classes e prevê a utilização de um conjunto de operações onde as representações possíveis de entrada e saída já estão previstas. Entretanto, a notação utilizada, em algumas situações, é estranha à UML. Como exemplo, na Figura 4.13 pode ser observada a indicação de operações sobre a notação de *associação* do diagrama de classes, quando a indicação de operações, pelos preceitos da UML, deveria ser utilizada em diagramas de interação.

4.3.4 Análise Comparativa dos Modelos

Para verificar a aplicabilidade desses modelos na especificação de processos de análise geográfica, foram estabelecidos critérios sobre características do modelo como um todo (tipo de especificação e abrangência da modelagem) e sobre os elementos de modelagem utilizados (completude, facilidade de uso e conformidade com a notação do modelo). Como a análise comparativa concentrou-se nesses critérios, outras semelhanças e diferenças entre os modelos não são abordadas nesse trabalho.

Percebe-se que esses modelos possuem muitos aspectos positivos, mas também algumas deficiências. A síntese da análise descrita nas seções a seguir é apresentada na Tabela 4.1.

4.3.4.1 Análise de características gerais do modelo

Ao analisar-se o GMOD, fica bem claro o seu propósito de atender somente a especificação externa de PAG, pois é apresentada uma classe Processo e não são oferecidos elementos de modelagem para a especificação interna dessa classe. O GMOD foi desenvolvido para suportar aplicações ambientais. De acordo com o autor [PIR 97], uma extensão desse modelo seria necessária para suportar aplicações urbanas.

A ênfase do Tryfona+ está na especificação externa de um PAG, mais precisamente, das condições que desencadeiam a sua execução. O *framework* apresentado não é genérico, pois é limitado a interpretação de fenômenos espaciais ocorridos ao longo do tempo (aplicações espaço-temporais).

O OMT-G, através do diagrama de transformação, elabora a especificação interna de um PAG. Não é apresentado um elemento de modelagem que isole os componentes internos e externos de um processo. Mesmo assim, o OMT-G é bastante abrangente, podendo ser utilizado em aplicações diversas. Colaboram para isso um modelo de dados baseado no conceito de campo e objeto e um catálogo de operações aplicáveis em vários sub-domínios da informação geográfica.

Portanto, verificou-se que nenhum dos modelos avaliados propõe-se a atender tanto a especificação externa quanto a especificação interna de um PAG. O OMT-G apresenta-se como o modelo que pode atender uma variedade maior de domínios de aplicação.

4.3.4.2 Análise dos elementos de modelagem empregados

O GMOD utilizou classes como elemento de modelagem dos principais componentes de uma especificação externa de PAG: dados, processos e condições de execução (regras). A relação entre classes de dados e processo só pode ser verificada ao serem comparados todos os diagramas, pois o processo fica implícito no uso do relacionamento causal no diagrama de classes. O GMOD não apresenta uma notação que identifica os tipos de representação de dados, o que seria o único item que prejudica a sua avaliação pelo critério de completude. Esse modelo está limitado aos recursos da linguagem OMT, o que dificulta um pouco o seu uso em ferramentas CASE. O modelo apresenta uma boa conformação com a notação da linguagem OMT, pois foram utilizados apenas recursos de notação já oferecidos por essa linguagem.

O Tryfona+ utilizou classes como elemento de modelagem apenas para dados na especificação externa de PAG. Esse *framework* não oferece recurso para identificar o tipo de representação espacial. Os processos foram modelados como operações de classe. O fluxo entre dados e processos é modelado como uma mensagem em um diagrama de colaboração da UML correspondente ao relacionamento "instancia" no diagrama de classes. As regras de execução do processo também são explicitadas através dos objetos e mensagens envolvidos no diagrama de colaboração. Portanto, pode-se considerar que esse modelo apresenta uma boa completude. A modelagem de processos como operações de classe e o uso intensivo de diagramas de colaboração restringem sua utilização a projetistas mais experientes. A compatibilidade com a linguagem UML é completa, visto que não foram utilizados elementos de modelagem estranhos a essa linguagem.

O OMT-G utilizou classes como elemento de modelagem apenas para dados na especificação interna de PAG. A representação de classes é indicada através de pictogramas. Foi criado um tipo especial de classe para armazenar dados temporários durante a execução do PAG. As operações são modeladas como se fossem uma anotação indicando um tipo de associação entre dados. Dessa forma, os fluxos de dados são confundidos com as operações. Os elementos semânticos apresentados, portanto, não podem ser considerados como completos. Para a elaboração manual de diagramas ou através de editores gráficos, o OMT-G apresenta uma boa facilidade de uso. A forma de determinar as operações no diagrama de classes só poderia corresponder a elementos de modelagem da UML se fosse considerada como anotação. Essa característica prejudica a conformidade com a linguagem de modelagem UML, e a sua implementação em ferramentas CASE.

TABELA 4.1 – Síntese da análise comparativa dos modelos que contemplam PAG.

Critério	GMOD	Tryfona+	OMT-G
Geral:			
- Tipo de especificação	Externa	Externa	Interna
- Abrangência	Ambiental	Espaço-temporal	Genérica
Elementos de modelagem:			
- Completude	Falta representação de dados	Falta representação de dados	Falta elemento de modelagem para operação
- Facilidade de uso	Difícil implementação em CASE	Restringe-se a projetistas mais experientes	Simples para construir diagramas, mas difícil implementação em CASE
- Conformidade com a notação	Sim	Sim	Não

4.4 Recursos da UML para a Modelagem de Processos

Hadzilacos e Tryfona [HAD 98] avaliaram a aplicabilidade dos métodos ER (Peter Chen), IFO (Abiteboul e Hull) e OMT para SIG. Quanto às propriedades dinâmicas desses sistemas, eles constataram que somente o modelo OMT conseguia capturá-las em sua totalidade.

A Linguagem de Modelagem Unificada (UML) surgiu da integração das melhores práticas em técnicas de projeto de *software* orientado a objetos. Desenvolvida por Booch (autor de um método de modelagem com o mesmo nome), Rumbaugh (autor da OMT) e Jacobson (autor da OOSE), rapidamente a UML passou a ser reconhecida não só pela comunidade especializada, mas também por organizações de padronização.

Conforme os preceitos da UML, um sistema pode ser visualizado sob diferentes perspectivas por modelos distintos, sendo que cada visão pode ser apresentada na forma de um diagrama [BOO 2000]. A UML apresenta quatro diagramas estruturais para visualizar as partes estáticas de um sistema: diagrama de classes, objetos (ou instâncias), componentes e implantação. As partes dinâmicas de um sistema são visualizadas através dos diagramas comportamentais: diagrama de caso de uso, seqüência, colaboração, gráfico de estados e atividades.

A metodologia RUP [RAT 2002], apresentada na seção 4.4.1 explora os recursos oferecidos pelos diagramas comportamentais. A UML também oferece recursos para modelagem de processos utilizando diagramas estáticos. Essa alternativa é abordada na seção 4.4.2.

4.4.1 RUP - Processo Unificado Rational

O Processo Unificado *Rational* (RUP – “*Rational Unified Process*”) é um processo de engenharia de *software*, voltado a guiar organizações de desenvolvimento de *software* em suas atividades [KRU 2001]. RUP descreve as atividades necessárias para transformar os requisitos do usuário em um sistema de *software*. Para essa finalidade, utiliza intensamente a UML para descrever projetos de sistemas.

A UML fornece o “vocabulário” (expresso nos modelos), mas não ensina a “falar” (nesse caso, o método de desenvolver *software*). Um dos motivos que incentivou o

desenvolvimento do RUP foi a necessidade de criar um guia efetivo de uso da UML para modelagem. RUP descreve os modelos necessários, o porquê de sua necessidade, como construí-los, e sugere uma seqüência em que devem ser empregados.

RUP pode ser abordado por duas perspectivas integradas: gerencial e técnica [RAT 2002].

A perspectiva gerencial (dimensão horizontal) é decomposta em quatro fases temporais: concepção, elaboração, construção e transição.

A perspectiva técnica (dimensão vertical) consiste de macro-atividades que ocorrem com maior ou menor intensidade em cada fase da perspectiva gerencial, como pode ser percebido na Figura 4.14. A seqüência de macro-atividades ao longo do projeto é executada várias vezes, e cada ciclo corresponde a uma iteração. As macro-atividades são: modelagem do negócio, levantamento de requisitos, análise e projeto, implementação, teste, implantação, gerenciamento de alteração e configuração, gerenciamento de projetos, e ambiente.

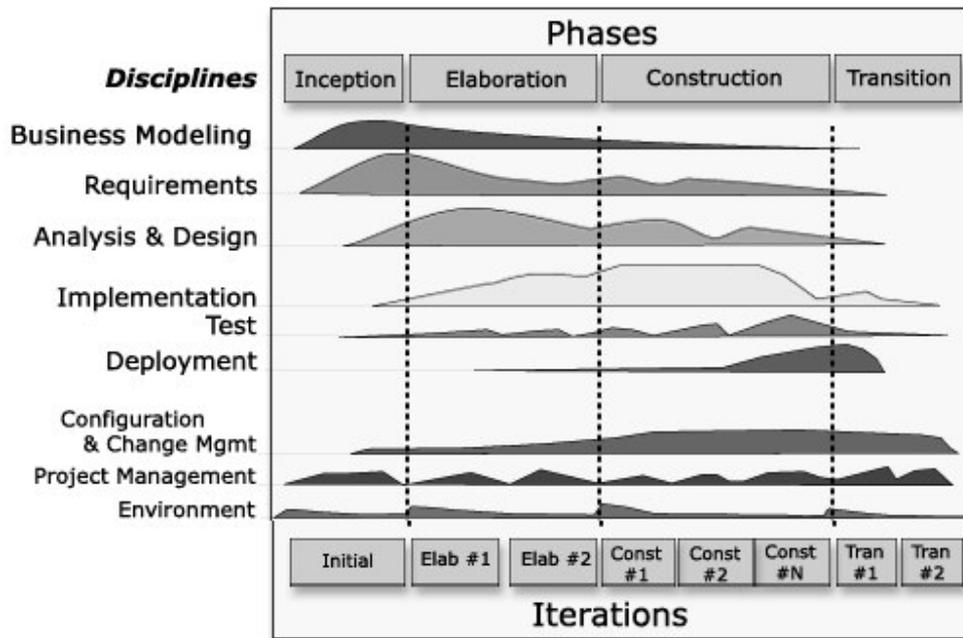


FIGURA 4.14 - Gráfico da Estrutura do RUP [RAT 2002].

A proposta do RUP é de ser um *framework* que pode ser estendido e adaptado conforme as necessidades da organização. Assim como possui recursos para modelar todo ciclo de vida de um *software*, pode ser utilizado parcialmente, como um guia de uso da UML para tarefas específicas, como seria o caso da modelagem de processos de análise geográfica.

Quatrani [QUA 2001] descreve uma metodologia de desenvolvimento de *software* utilizando uma versão simplificada do RUP, baseado nos recursos oferecidos pela versão 1.1 da UML, que pode ser sintetizada nas etapas a seguir para as macro-atividades de modelagem de negócios, requisitos, análise e projeto:

- Exploração do comportamento de um sistema através de diagramas de casos de uso, onde são identificados os atores, os casos de uso e os relacionamentos entre os casos de uso.
- Para determinar os fluxos entre os casos de uso ou dentro de um caso de uso são aplicados diagramas de atividade.
- Identificação de classes (com alguns atributos iniciais) e decorrente criação de diagramas de classes e pacotes que ainda não expressam relacionamentos.
- Desenvolver os diagramas de realização de caso de uso, identificando situações onde podem ocorrer mais de uma realização para cada caso de uso.
- Para cada realização de caso de uso, determinar as colaborações através de diagramas de seqüência ou de colaboração.
- A partir das colaborações identificadas nos diagramas anteriores, estabelecer o relacionamento entre as classes no diagrama de classes. Para cada relacionamento, expressar associação ou agregação, multiplicidade. Também já podem ser expressos os relacionamentos entre pacotes.
- Criação de operações a partir do mapeamento das mensagens dos diagramas de interação para operações e controles de interface com o usuário. Documentação da assinatura de uma operação, que pode indicar novos relacionamentos no diagrama de classes.
- Criação e documentação dos demais atributos de classe.
- Identificação de relacionamentos de generalização e especialização.
- Modelagem do comportamento dinâmico de objetos críticos através de diagramas de gráfico de estados.
- Verificação da consistência do modelo através da comparação dos diversos diagramas, como, por exemplo, verificar se para cada mensagem no diagrama de seqüências existe uma associação correspondente no diagrama de classes.

As etapas subseqüentes conduzem à definição de arquitetura e geração de código. As etapas propostas, acima, não devem ser executadas necessariamente de forma seqüencial. A recomendação é que sejam executadas em ciclos onde o detalhamento do modelo remete a etapas já executadas anteriormente, implementando correções que se façam necessárias.

4.4.2 Modelagem de Processos usando UML

A modelagem de processos usando UML apresentava um certo grau de complexidade com os recursos disponíveis nas primeiras versões da especificação da UML.

Para ilustrar essa situação, a seção 4.4.2.1 apresenta um modelo para processos utilizando diagramas estáticos da UML [SCH 98].

A seção 4.4.2.2 descreve sucintamente os recursos incorporados às versões 1.5 [OMG 2003a] e 2.0 [OMG 2003b] da UML, que podem ser aplicados à modelagem de processos, na expectativa de reduzir essa complexidade.

4.4.2.1 Um modelo para processos de *software*

Schleicher et al. [SCH 98] propôs o uso da notação padrão da UML para modelagem de processos. A especificação do processo contém a modelagem estrutural, que utiliza diagramas de classes e pacotes, e a modelagem do comportamento que utiliza diagramas de estado e de colaboração.

No diagrama de classes foram utilizados mecanismos de extensão da UML para restringir a semântica de classes e relacionamentos.

Tanto as tarefas de um processo quanto seus parâmetros são modelados como classes. Uma classe do tipo *task interface* define o comportamento externo e pode possuir distintas realizações através de classes do tipo *task realization*. As classes *task* são associadas através das relações de dependência definidas como *control flow* e *feedback flow*. Enquanto associações *control flow* definem uma ordem temporal de execução, as associações *feedback flow* são representadas no sentido oposto, utilizadas para marcar iterações ou exceções no processo.

Esses dois tipos de associação definem um caminho potencial para um fluxo de dados, que é modelado explicitamente como uma associação *data flow*. Essa associação, entretanto, ocorre apenas entre classes *parameter* (especializadas em *input* e *output*), que mantém os dados consumidos ou gerados pelas classes *task*.

Empregando esses conceitos, os autores conseguiram expressar o modelo de execução de um processo através de um diagrama de classes, conforme apresentado parcialmente na Figura 4.15, apenas para ilustrar os elementos semânticos utilizados. O uso de estereótipos nessa solução é freqüente. Por exemplo, as classes *parameter output* são representadas por círculos preenchidos enquanto as classes *parameter input*, por círculos vazios. O diagrama exibe uma realização padrão (*Standard*) para a *task interface* "*Handle Extension Request*". As outras tarefas exibidas também são do tipo *task interface*, ou seja, podem ser detalhadas utilizando-se o mesmo mecanismo.

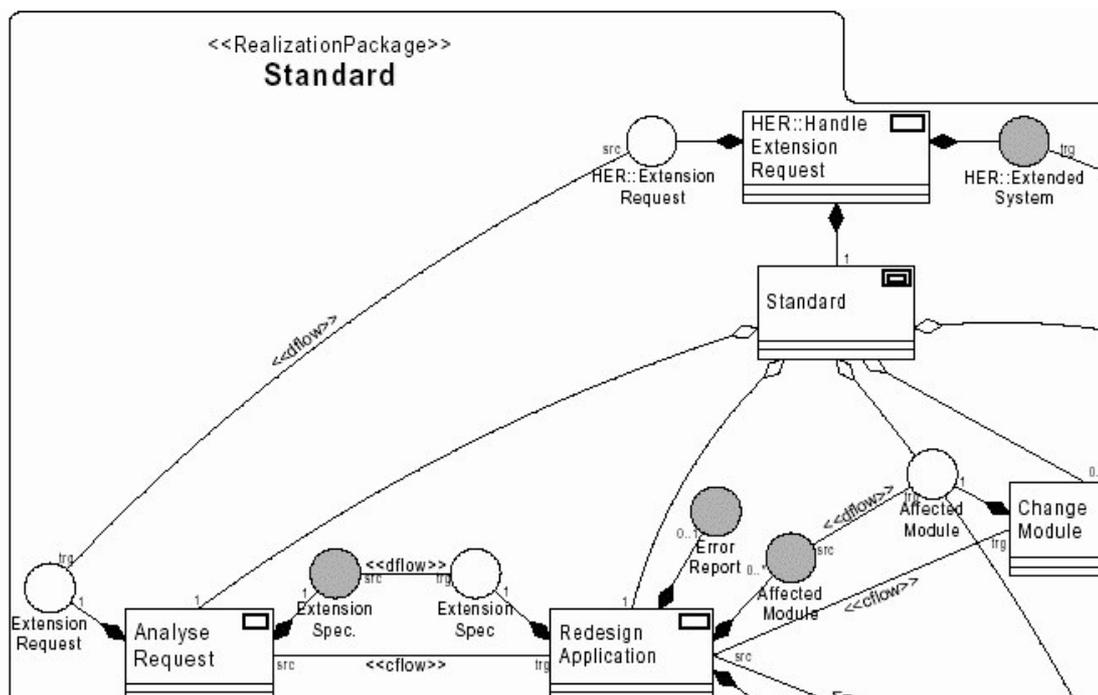


FIGURA 4.15 - Excerto de um diagrama de classes expressando processos [SCH 98].

Esse trabalho indica que a UML oferece recursos semânticos para modelagem de processos, mesmo utilizando-se de diagramas estáticos. A principal idéia é a utilização de classes para representar unidades de processo, no caso, as tarefas. A modelagem independente para fluxos de dados e de controle é uma abordagem interessante, pois nem sempre a ordem de execução das tarefas de um processo é orientada pelo fluxo de dados.

O uso dessa estrutura parece, por outro lado, um tanto pesada para uma modelagem em nível conceitual. O número de classes apresentadas no modelo eleva-se muito com o uso de classes para representar parâmetros. Isso dificulta a implementação em uma ferramenta CASE, pois todas essas classes precisam ser identificadas e especificadas.

4.4.2.2 Ações e Atividades

A versão 1.5 da especificação da UML, pela OMG (*Object Management Group*), incorporou a Semântica de Ação (*Action Semantics*) [OMG 2003a].

A Semântica de Ação constitui-se basicamente do detalhamento do pacote Ações (*Actions*). O pacote Ações define os vários tipos de ação que podem compor um procedimento. Uma instância de Ação pode obter um conjunto de entradas, transformá-las em um conjunto de saídas e alterar o estado de um sistema. Ações precisam acessar dados, transformá-los e testá-los, e requerem um seqüenciamento. As ações são tratadas como se fossem executadas concorrentemente, exceto quando forem seqüenciadas explicitamente por um fluxo. Nessa versão da especificação, as ações são modeladas como diagramas de instâncias.

A UML 2.0 [OMG 2003b] apresenta o elemento de modelagem Atividade ("*Activity*") como a especificação de comportamento parametrizado. Esse comportamento é caracterizado como uma seqüência de unidades subordinadas onde os elementos individuais

são Ações. Com isso, o diagrama de atividades incorporou os conceitos de Ação, desenvolvidos na versão 1.5. As Ações, portanto, são modeladas no diagrama de atividades e não mais no diagrama de instâncias.

Uma Atividade é uma especialização de Classe, portanto, pode possuir atributos, operações e ser associada a outras classes. As notações apresentadas na Figura 4.16 são opcionais.

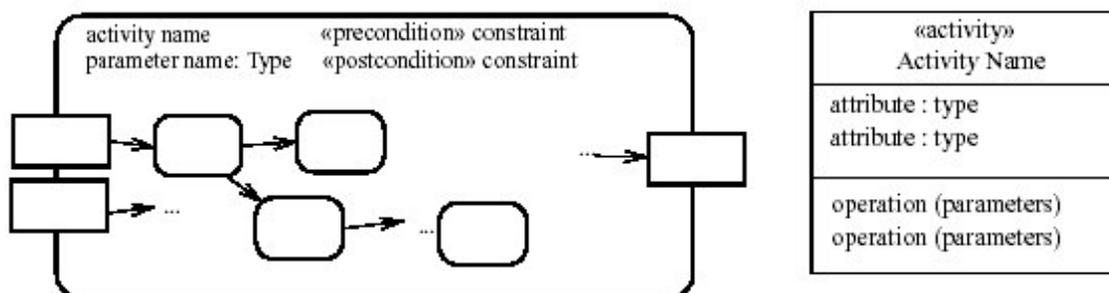


FIGURA 4.16 - Notações de Atividade [OMG 2003b].

As Ações são agrupadas em:

- Ação de Computação ("*Computation Action*"): transforma valores a partir da execução de uma função (ex: operação aritmética);
- Ação Ler Escrever ("*Read Write Action*"): acesso de leitura e escrita a objetos, variáveis, associações;
- Ação Invocação ("*Invocation Action*"): chamam operações ligadas a comportamentos em geral (atividades, máquina de transição de estados).

Através de uma Ação Invocação do tipo "*CallBehaviorAction*" ou "*CallOperationAction*", outras atividades podem ser executadas. Nesse caso, o nome da Ação é o mesmo da Atividade que está sendo chamada para execução.

O fluxo de execução é modelado como nós de atividade ("*Activity Nodes*") conectados por segmentos de atividade ("*ActivityEdge*"). Os nós podem comportar ações, objetos e estruturas de controle (ex: decisão, junção). Os segmentos representam fluxo de controle e de objetos ("*ControlFlow*" e "*ObjectFlow*", respectivamente).

Um fluxo de objetos carrega valores e, dessa forma, dá seqüência às ações. Já um fluxo de controle permite seqüenciar as ações que não são dependentes de fluxo de objetos. Um pino (*pin*) é um objeto que representa um ponto de conexão para a entrega de valores de entrada ou para o recebimento de valores de saída de uma ação.

As Figuras 4.17 e 4.18 apresentam o meta-modelo do pacote Atividades Básicas ("*BasicActivities*"), onde os relacionamentos entre nós, atividades e ações pode ser verificado.

A habilidade em descrever a funcionalidade de um sistema em um nível de abstração mais alto do que o de uma linguagem de programação, torna possível a execução de modelos UML. Com o desenvolvimento de ferramentas adequadas e, a partir de regras de transformação, será possível converter o mesmo modelo para diversas linguagens de programação e plataformas [BJO 2003].

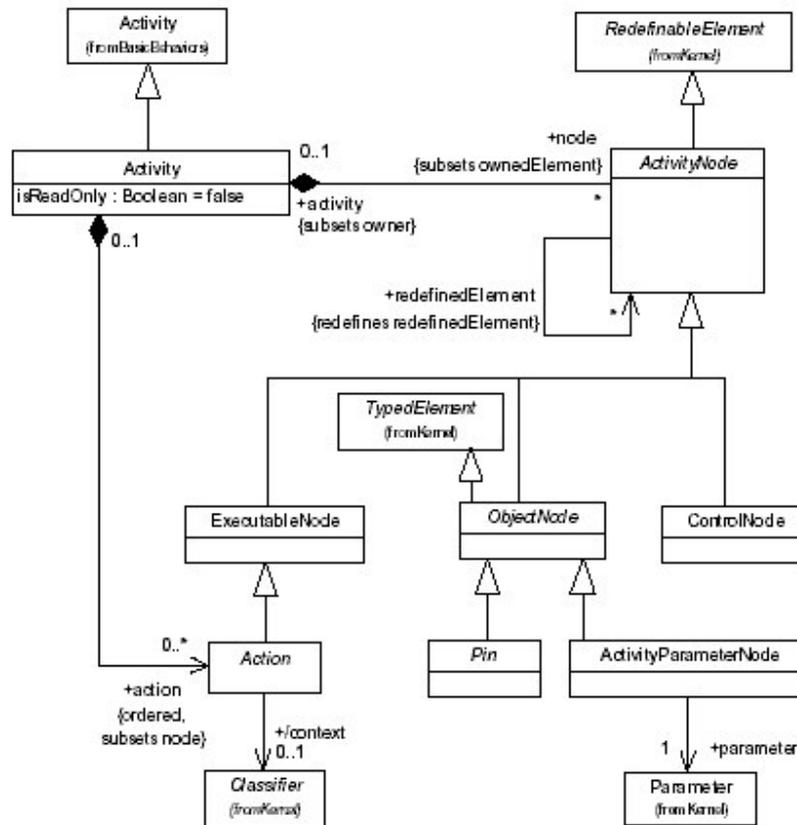


FIGURA 4.17 - Meta-modelo parcial do pacote de Atividades Básicas [OMG 2003b].

A especificação da UML [OMG 2003b] oferece uma notação, não obrigatória, para os elementos de modelagem apresentados na Figura 4.17:

- atividade ("*Activity*") : representada como o polígono mais externo com cantos arredondados, organiza os nós de objeto que possuem parâmetros ("*ActivityParameterNode*") ao longo das bordas;
- nó de objeto ("*ObjectNode*") : representado por um retângulo, corresponde a dados utilizados no processo, como objetos, valores constantes, atributos e variáveis de memória;
- nó de controle ("*ControlNode*") : representado por uma linha espessa que bifurca ou une fluxos de dados ("*fork node*" e "*join node*", respectivamente) ou como um losango, quando a divisão do fluxo é condicional ("*decision node*" e "*merge node*");
- ação ("*Action*") : representada por um retângulo com cantos arredondados;
- pino ("*Pin*") : representado explicitamente por quadrados ligados a um fluxo de dados entre ações.

A Figura 4.18 mostra o relacionamento entre nós ("*ActivityNode*") e segmentos ("*ActivityEdge*"). Os fluxos são representados da seguinte forma:

- fluxo de objeto ("*object flow*") : representado por um arco orientado entre um nó de objeto e uma ação, e entre pinos de saída e entrada de ações.

- fluxo de controle ("*control flow*"): representado por um arco orientado ligando duas ações, sem passar por pinos.

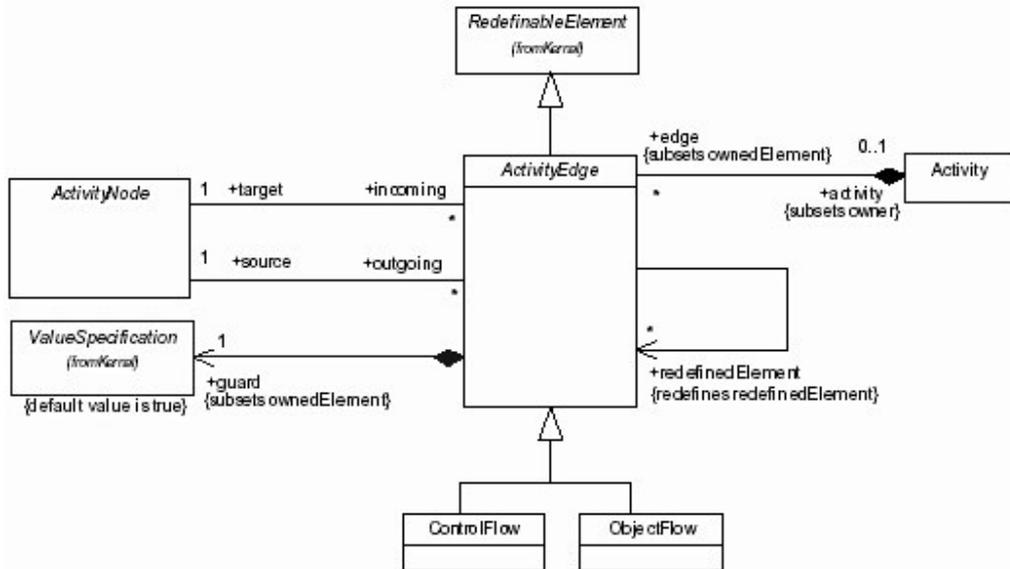


FIGURA 4.18 - Meta-modelo parcial de nós e segmentos de atividade [OMG 2003b].

O tratamento de coleções de objetos é realizado pelos seguintes elementos de modelagem:

- região de expansão ("*expansion region*"): representada como uma atividade em linha tracejada, é executada tantas vezes quanto for o número de elementos de uma coleção de entrada.
- nó de expansão ("*expansion node*"): representado como uma grade, que é colocada na borda da região de expansão. O nó de entrada mantém um elemento em separado da coleção durante cada execução da região. O nó de saída aceita um elemento de cada execução da região, disponibilizando uma coleção quando a execução da região for completa.

5 Proposta de Extensão do Framework GeoFrame

Segundo [BOO 2000], a UML - Unified Modeling Language - é uma linguagem para especificação, principalmente, de sistemas complexos de *software*. Entretanto, é suficientemente expressiva para modelar inclusive sistemas que não sejam de *software*. A universalização de seu uso demonstra seu potencial.

O GeoFrame oferece recursos que simplificam o uso da UML na elaboração de esquemas conceituais de BDG. Neste trabalho, propõe-se a extensão do GeoFrame seguindo na mesma linha, ou seja, a de simplificar o uso da UML, desta vez na especificação de PAG. Nessa especificação devem ser utilizadas as operações definidas na seção 3.2.

A seção 5.1 apresenta uma metodologia para levantamento de requisitos para definição de processos inspirada nas primeiras fases do RUP.

A seção 5.2 discorre sobre três alternativas que foram investigadas no decorrer do trabalho para a expressão dos processos de análise geográfica, estabelecendo critérios de seleção e indicando a alternativa mais adequada.

A seção 5.3 detalha a alternativa selecionada, completando os requisitos necessários à extensão proposta do *framework* GeoFrame.

5.1 Levantamento de Requisitos para a Definição de Processos

Os recursos de análise oferecidos pelo GeoFrame, assim como de outros modelos de dados para SIG que não oferecem recursos para modelagem de aspectos dinâmicos, baseiam-se no desenvolvimento do diagrama de classes. O objetivo, nesse caso, é modelar o BDG, sendo que as técnicas utilizadas trazem, como referência, a modelagem de banco de dados convencional.

No momento em que se deseja incorporar aspectos dinâmicos do SIG em tempo de projeto, um dos objetivos passa a ser o de representar processos que devem ser instanciados ao longo do tempo de vida desse BDG. O modelo do negócio assemelha-se, nessa situação, a um modelo de projeto de *software* simplificado ou a um modelo de *workflow*. Não é objetivo modelar outros elementos de um projeto de *software*, como a interface com o usuário e a arquitetura de implementação.

Para modelar processos de análise geográfica, optou-se pela adaptação de uma metodologia reconhecida para desenvolvimento de *software* utilizando a UML, que é o RUP (*Rational Unified Process*). Utilizou-se a simplificação descrita por Quatrani [QUA 2001], que foi apresentada na seção 4.4.1.

Em vez de iniciar o levantamento de requisitos diretamente através do diagrama de classes, o RUP sugere que esse levantamento seja iniciado através do diagrama de casos de uso. Procura-se determinar "o que" o sistema deve fazer, incluindo casos de uso, atores, fluxo de eventos e relacionamentos. A identificação de objetos e classes ocorre em fases posteriores.

Ocorre que, na modelagem conceitual de BDG, inclusive pelo fato de poder utilizar-se padrões de análise, as principais classes, seus atributos e relacionamentos, inclusive os de generalização e especialização, já podem ser explicitados nas fases iniciais de modelagem. Nessa extensão proposta do GeoFrame, o conjunto de operações, também já está identificado. Portanto, a metodologia do RUP pode ser melhor aproveitada em suas fases iniciais, com o objetivo de identificar PAG, ou seja, até o diagrama de realizações de caso de uso.

Para o detalhamento de PAG, foram investigadas duas alternativas que utilizaram a fase seguinte do RUP, procurando determinar as colaborações com diagramas de seqüências, e variando a solução no mapeamento para as operações. Uma terceira alternativa considera os elementos introduzidos na UML 2.0, que, na ocasião do desenvolvimento desse trabalho, ainda não haviam sido incorporados ao RUP.

A descrição das fases iniciais do RUP e das alternativas investigadas são acompanhadas do desenvolvimento de um exemplo muito simples de PAG: a determinação de uma faixa protegida ao longo de rios. O órgão ambiental seleciona os rios que devem ser protegidos a partir de uma série de critérios, inclusive políticos, que são externos ao sistema, atribuindo o valor Verdadeiro a um atributo denominado Protegido. Para a execução desse processo, é necessário executar as operações de Seleção e Zona de Influência.

A Figura 5.1 mostra um diagrama de casos de uso para o exemplo proposto. Através dele, percebe-se que o órgão ambiental tem a responsabilidade de selecionar rios críticos e determinar a faixa protegida. Por outro lado, a determinação da faixa protegida inclui a seleção dos rios críticos. Por isso, é aplicado o estereótipo <<include>> no relacionamento de dependência entre os casos de uso.

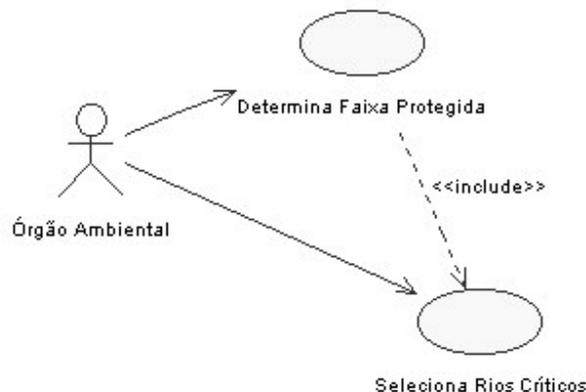


FIGURA 5.1 - Diagrama inicial de casos de uso.

O detalhamento inicial de cada caso de uso é feito através de um diagrama de atividades. Novos elementos surgem: estados de atividades e ações, transições, pontos de decisão e barras de sincronização.

Talvez não seja necessário desenvolver um diagrama de atividades para todos os casos de uso levantados. Por exemplo, não é preciso detalhar a seleção de rios críticos, pois esse caso de uso é considerado como um processo externo ou manual. Já a determinação de faixa protegida requer uma abordagem computacional. Portanto, pode ser detalhada como

mostra a Figura 5.2. Nesse diagrama, percebe-se que, para gerar a área de proteção, é necessária a informação da distância regulamentar, além do conjunto de rios selecionados. Esses estados de atividade podem ocorrer de forma paralela, sendo sincronizados no momento de gerar a área de proteção.

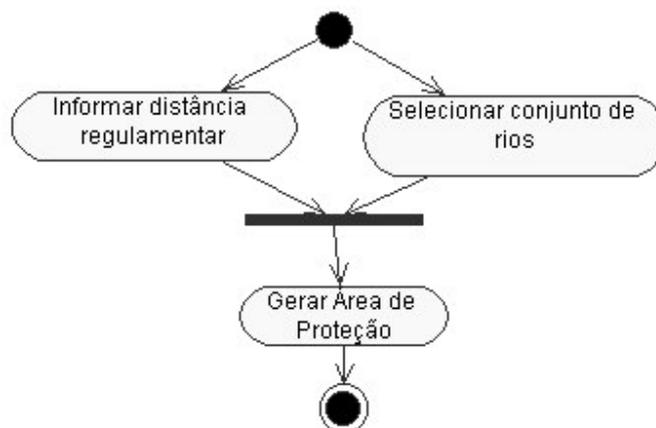


FIGURA 5.2 - Diagrama de Atividades de um caso de uso.

Nessa altura, já é possível identificar classes que estão participando do sistema, como a classe que contém os rios e a classe que vai representar a área de proteção gerada. Se a distância regulamentar é apenas um valor constante, a princípio parece que não deve ser tratada como mais uma classe, mas sim como um valor (parâmetro) a ser informado pelo usuário através de uma interface.

Com o apoio de um *framework*, como o GeoFrame, a identificação das classes torna-se uma tarefa mais simples. O analista sabe que precisa de um conjunto de rios e que vai executar uma operação em que o componente espacial é fundamental. Esses rios, com certeza, enquadram-se em *FenomenoGeográfico*. Um rio é uma entidade perfeitamente identificável na natureza, por isso, deve ser modelado como *ObjetoGeográfico*. Como um *ObjetoGeográfico* é representado por um *ObjetoEspacial*, para que esse processo possa ser executado é necessário utilizar um conjunto de dados geográficos que contenham alguma das formas de representação possíveis de *ObjetoEspacial*. Observando-se alguns padrões de análise já desenvolvidos para o GeoFrame, nota-se que RecursoHídrico no pacote Base_Cart apresenta as representações de *Linha* e *Polígono* [LIS 2000].

Em um diagrama de casos de uso, vários cenários alternativos podem ser representados. Por isso, um caso de uso original pode ter várias realizações, que são representadas através de diagramas de realizações de caso de uso.

Nesse exemplo, pode-se pressupor ao menos duas realizações distintas para o caso de uso "Determina Faixa Protegida", como exibido na Figura 5.3. A realização normal desse caso de uso corresponderia a determinar uma faixa protegida em área rural, onde não existiriam maiores restrições. Uma realização alternativa seria a determinação de faixa protegida em área urbana. Essa já é mais complexa, pois deve levar em consideração a ocupação existente e o planejamento urbano do município.

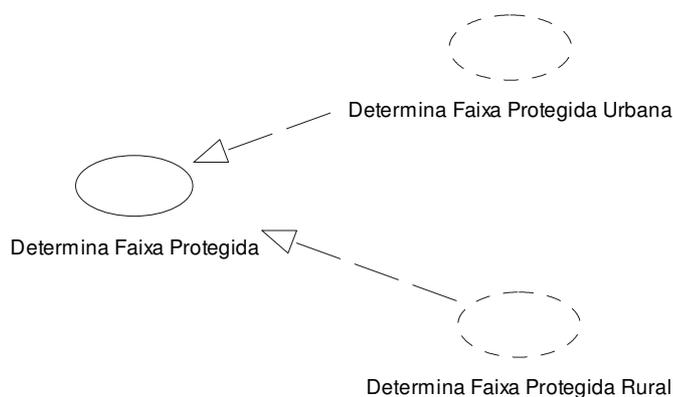


FIGURA 5.3 - Realizações de um caso de uso.

Nessa etapa do levantamento de requisitos já se dispõe dos principais objetos (ou classes) e de uma especificação inicial dos processos. A etapa seguinte é detalhar os processos, buscando-se empregar o formalismo mais adequado.

Como foi encontrada mais de uma solução possível para a expressão formal de processos, foram investigadas algumas alternativas que serão apresentadas na seção seguinte.

5.2 Alternativas para a Expressão de Processos de Análise Geográfica

Como o GeoFrame oferece um catálogo de operações, é muito provável que o usuário desse *framework* encontre ali as operações adequadas para uso no processo que está definindo. Para cada operação do catálogo estão definidos os tipos de dados de saída possíveis. Para a operação *Zona de Influência*, por exemplo, quando a entrada for um *Objeto Geográfico*, a saída terá representação de *Polígono*. Portanto, o resultado do processo, para qualquer realização do caso de uso, poderá ser armazenado em uma classe com representação de *Polígono* ou ser utilizado em uma outra operação que admita essa representação como parâmetro de entrada.

A arquitetura do sistema de *software* que vai executar os processos de análise geográfica não é considerada no GeoFrame, por tratar-se de um modelo conceitual. Por isso, diferentes abordagens foram exploradas sobre como incorporar as operações de análise geográficas no GeoFrame.

Em duas das alternativas, considerou-se que as operações de análise geográfica do catálogo do GeoFrame pudessem ser mapeadas diretamente para operações da UML. Essas alternativas se diferenciam na maneira de dispor as operações entre as classes do modelo. Na UML, uma operação especifica um serviço que pode ser solicitado por qualquer objeto da classe para afetar o comportamento, enquanto que um método é a implementação de uma operação [BOO 2000]. O método que implementa essa especificação é considerado como um elemento externo, que vai além do escopo desse trabalho. As duas primeiras

alternativas consideraram apenas os elementos de modelagem disponíveis até a versão 1.5 da UML [OMG 2003a].

As versões 1.5 e 2.0 da UML [OMG 2003a] [OMG2003b], apresentam um novo conjunto de elementos semânticos que pareceu adequado ao contexto da especificação de processos geográficos. Esses recursos servem de base a uma terceira alternativa, ou seja, as operações geográficas são representadas por uma especialização do elemento de modelagem Atividade ("*Activity*").

As seções a seguir apresentam as principais características das três alternativas investigadas.

5.2.1 Alternativa 1 - Operações em classes do modelo do usuário

O catálogo de operações desenvolvido para o GeoFrame torna possível a tarefa de organizá-las através das hierarquias de classes desse *framework*.

As classes de um esquema em UML-GeoFrame são especializações das classes *CampoGeográfico*, *ObjetoGeográfico* e *ObjetoNãoGeográfico*. Portanto, se operações para essas classes fossem definidas no *framework*, cada classe do modelo do usuário poderia herdar as operações de suas classes de generalização.

Algumas operações, no entanto, não são aplicáveis a todas especializações possíveis dessas classes, pois estão vinculadas, respectivamente, a representações geométricas específicas. Por exemplo, a operação *Agregação* não é aplicável a objetos geográficos que tenham uma representação de ponto. Por outro lado, as variações de assinatura das operações geográficas ocorre principalmente devido a variações de representação espacial. Essa característica sugere que as operações sejam organizadas nas classes de representação espacial, ou seja, *RepresentaçãoCampo* e *ObjetoEspacial*, podendo ser redefinidas nas especializações, como *Ponto*, *Linha* e *Polígono*.

A operação *Zona de Influência*, por exemplo, poderia ser declarada como abstrata para *ObjetoEspacial*, sendo concretizada com assinaturas distintas para cada uma de suas representações espaciais especializadas. Na representação de *Linha*, seriam repassados como parâmetros de entrada um conjunto de objetos associados a uma representação de *Linha* e o valor de uma distância. Já na representação de *Polígono*, seriam repassados objetos associados à representação de *Polígono*, o valor da distância, e valores booleanos indicando se o polígono gerado deveria abranger a área externa ou somente a área interna dos polígonos de entrada.

Nessa situação, as operações do modelo do usuário não poderiam ser herdadas do *framework*. Uma classe espacial do modelo do usuário, caracterizada através de um estereótipo, não é uma especialização da classe *ObjetoEspacial* ou *RepresentaçãoCampo*, mas está ligada a uma ou outra por uma associação simples a uma especialização de representação daquelas classes. Mesmo com a assinatura das operações declaradas no *framework*, o usuário deveria executar uma cópia dessas assinaturas para as classes do modelo, conforme o tipo de representação.

No exemplo, com o qual se está trabalhando, considerando a realização do caso de uso para determinar a faixa protegida em rios, a assinatura da operação *Zona de Influência*, definida na representação *Linha* do *framework*, é copiada para a classe *Rio*.

Portanto, um objeto dessa classe precisa receber os demais parâmetros para a execução da operação. O RUP recomenda a expressão dessas colaborações sob a forma de um diagrama de seqüências, como pode ser observado na Figura 5.4. Nesse diagrama, foi omitida a forma como o usuário (Órgão Ambiental) determina o valor da distância e o predicado de seleção do conjunto de rios. Na situação mais comum, essa mensagem seria resolvida por uma interface de menus e caixas de diálogo.

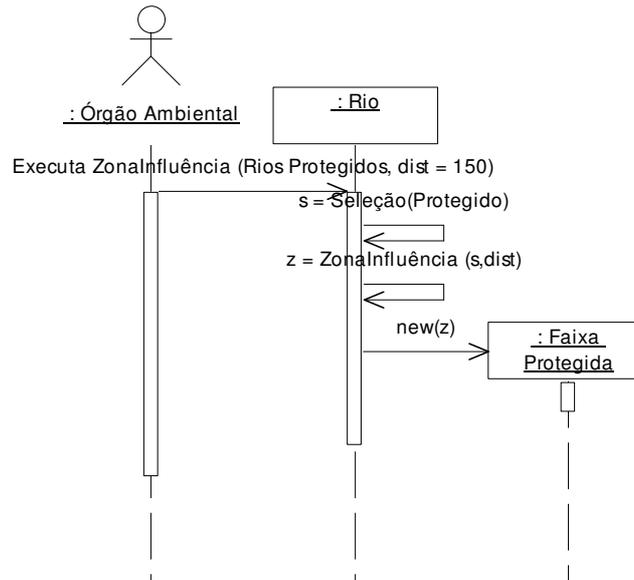


FIGURA 5.4 - Diagrama de seqüências com operações em classes do usuário.

Em um diagrama de classes, não é necessário mostrar todos os atributos e operações que uma classe possui; apenas aqueles que são importantes no contexto. Nesse caso, apenas as operações **Seleção** e **Zona de Influência** seriam exibidas entre as operações da classe **Rio**, como pode ser observado na Figura 5.5. A presença dessas operações no diagrama de classes é apenas documental, pois não significa que tenham sido necessariamente utilizadas no relacionamento com outra classe. O relacionamento entre **Rio** e **Faixa Protegida** é apresentado com o estereótipo `<<instantiate>>`. O uso desse estereótipo sobre uma associação de dependência indica que as operações na classe cliente criam instâncias na classe do fornecedor [BOO 2000]. Um único diagrama de classes pode contemplar as duas possíveis realizações do caso de uso. Nesse caso, a classe **Rio** é apresentada tanto com o estereótipo de *Linha* quanto o de *Polígono*.

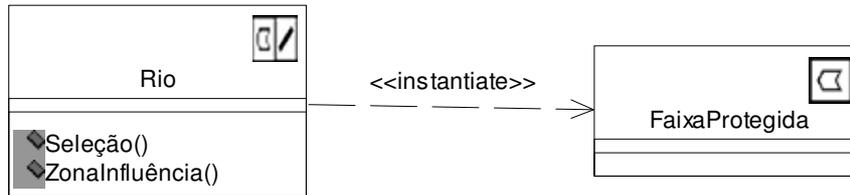


FIGURA 5.5 - Diagrama de classes com operações em classes do usuário.

5.2.2 Alternativa 2 - Operações em uma classe do framework

Algumas operações, como a de Superposição, por exemplo, utilizam, como parâmetros de entrada, fenômenos geográficos de diferentes classes, fato esse que dificulta a escolha de qual classe deve ser a responsável pela execução da operação.

Apesar de divergir dos conceitos de orientação a objetos, a solução de agregar funções de análise em classes separadas daquelas que devem conter as estruturas de dados a serem utilizadas foi adotada na implementação da biblioteca TerraLib [VIN 2002]. De acordo com os autores, o emprego da orientação a objetos em bibliotecas para SIG conduz ao uso do mesmo algoritmo em diversas classes, prejudicando a implementação.

Em UML, as operações de análise geográfica podem ser declaradas como métodos de uma classe *<<utility>>*, que seria identificada, no *framework*, como AnáliseGeográfica. O estereótipo *<<utility>>* declara que um classificador não tem instâncias; apenas denomina uma coleção nomeada de atributos e operações de escopo global.

A recuperação de instâncias de uma classe, as quais devem participar de um determinado processo, precisa ser feita por uma operação, preferencialmente, da própria classe. Em vez de criar uma operação genérica para cada classe do modelo do usuário (ex: "Read" ou "Get"), pode-se aproveitar a definição da operação Seleção, que, quando aplicada sem restrições, retorna todas as instâncias de uma classe. Nesse caso, a operação Seleção pertenceria às classes do modelo do usuário, e não à AnáliseGeográfica.

O diagrama de seqüência para essa alternativa, conforme apresentado na Figura 5.6, mostra a execução das operações Seleção e Zona de Influência.

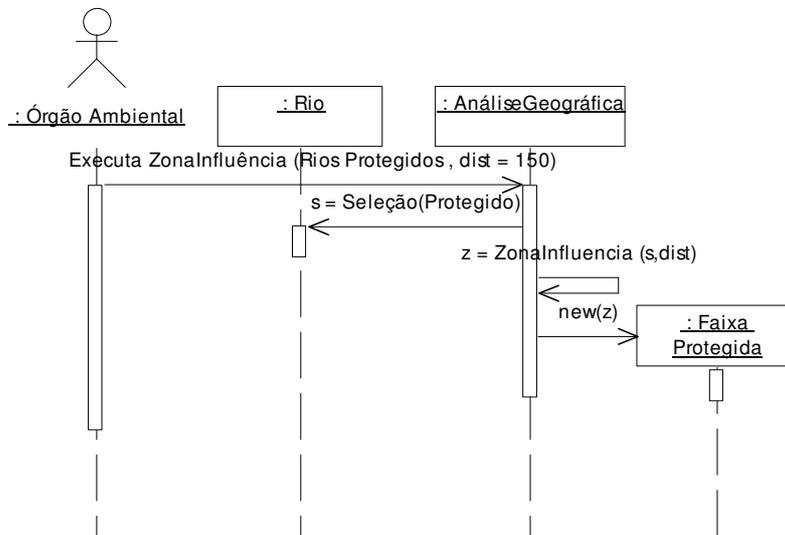


FIGURA 5.6 - Diagrama de seqüência com operações em uma classe do *framework*.

No diagrama de classes, o estereótipo `<<parameter>>` é colocado na extremidade de uma associação, junto à classe que oferece dados como argumentos para uma operação. O uso desse estereótipo indica que o relacionamento representa a passagem de um ou mais parâmetros de operação, método ou procedimento, em vez de uma associação real [OMG 2003a].

A Figura 5.7 apresenta um diagrama de classes para esse exemplo que utiliza apenas uma operação. A restrição `{Protegido}` indica que a associação ocorre somente para os objetos que a atendem; no caso, objetos que possuem o valor do atributo "Protegido" como Verdadeiro.

Em um diagrama onde as classes estão envolvidas em um processo, a classe `AnáliseGeográfica` pode aparecer muitas vezes. Nesse caso, é mais adequado representá-la através de cópias no diagrama para cada execução de operação.

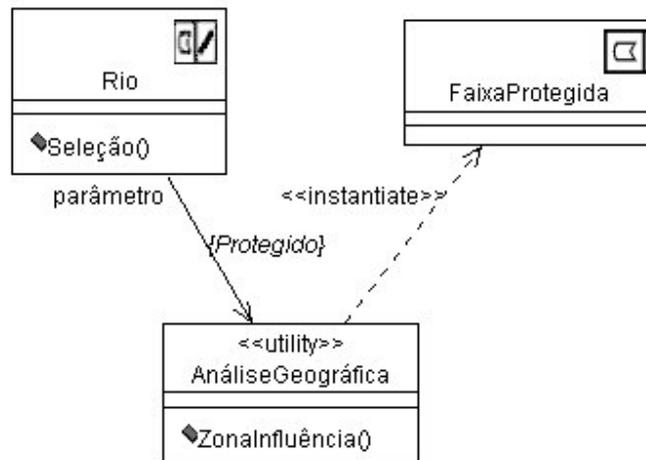


FIGURA 5.7 - Diagrama de classes com operações em uma única classe do *framework*.

Para evitar cópias múltiplas da classe AnáliseGeográfica, poderiam ser declaradas, no modelo do usuário, interfaces realizadas por AnáliseGeográfica, uma para cada operação. A expressão no diagrama de classes poderia ser na forma reduzida, pois o próprio nome da interface já identificaria a operação oferecida, como apresentado na Figura 5.8.

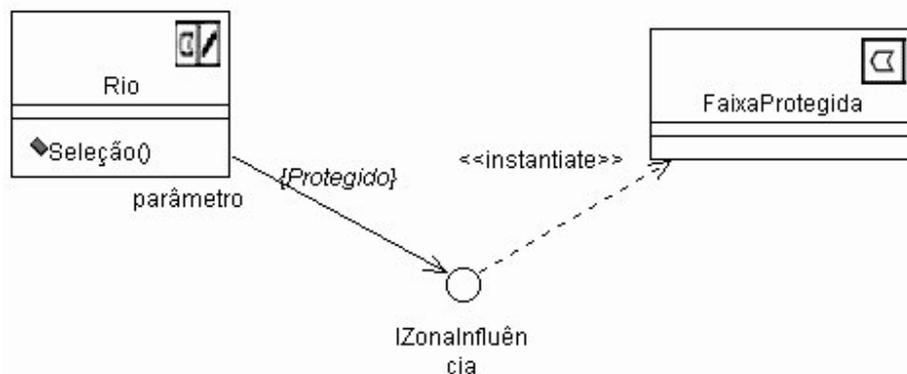


FIGURA 5.8 - Diagrama de classes com notação de interface.

Tanto nessa alternativa de expressão de PAG como na anterior, o resultado de uma operação é sempre instanciado em uma classe do modelo. Em processos que envolvem muitas operações, esse requisito pode implicar na definição, por parte do usuário, de um conjunto extenso de classes somente para receber dados intermediários. Dependendo do tipo de processo, tais classes poderiam até ser descartadas após a geração de uma única instância de objeto. A alternativa 3, descrita na seção seguinte, foi desenvolvida buscando acrescentar novos elementos semânticos para poder tratar dados intermediários sem a criação de novas classes.

5.2.3 Alternativa 3 - Utilizando Atividades e Ações

Trabalhos, como [SCH 98], indicam a possibilidade de modelar tarefas dinâmicas mesmo em diagramas estáticos da UML, como os diagramas de classe e de objetos. Nesse

caso, classes do tipo *Task* representam processos que recebem um conjunto de dados de entrada e geram dados de saída.

Na área de modelagem para SIG, solução semelhante já havia sido apresentada no GMOD, através da classe Processos que associa, para cada instância, um conjunto de entradas e saídas [PIR 97].

As versões mais recentes de especificação da UML introduziram novos elementos de modelagem que podem ser utilizados na modelagem de processos. No decorrer do desenvolvimento do presente trabalho, buscou-se inicialmente uma solução baseada na especificação 1.5 da UML [OMG 2003a]. Foram aplicados os conceitos da Semântica de Ação em diagramas de objeto. Entretanto, poucos meses depois, foi divulgada a especificação 2.0 da UML [OMG 2003b], que alterou o meta-modelo da linguagem. A proposta apresentada como Alternativa 3 contempla a solução desenvolvida com os elementos de modelagem dos pacotes comportamentais da versão 2.0 da UML.

Nessa alternativa, um PAG é modelado como uma classe do tipo Atividade do meta-modelo da UML ("*Activity*"). Possui associações com classes que fornecem parâmetros de entrada e, como resultado de sua instanciação, instancia classes geográficas ou não. No GeoFrame, classes desse tipo podem ser denominadas simplesmente como Processo.

A Alternativa 3, portanto, propõe a incorporação de novos elementos no *framework*, conforme apresentado parcialmente na Figura 5.9.

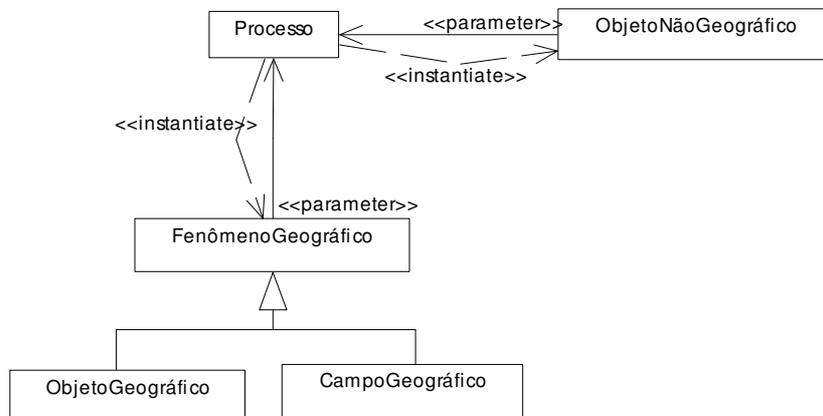


FIGURA 5.9 - Diagrama de classes parcial do GeoFrame incorporando Processo.

A especificação interna do PAG é apresentada através de um diagrama de atividade. Esse diagrama é bem mais detalhado do que aquele desenvolvido para o caso de uso, onde não ocorria ainda a identificação de classes e objetos.

As operações do catálogo do GeoFrame também são consideradas como classes do tipo atividade. Pelo fato de serem operações conhecidas e implementadas de diversas formas em *software* de SIG, não é necessário o detalhamento de sua especificação interna tanto no *framework* quanto no modelo do usuário. Um diagrama de atividade não contém outras atividades. Elas são instanciadas a partir de ações do tipo "*CallBehaviorAction*", que possuem o mesmo nome do comportamento que está sendo invocado. Portanto, na

especificação interna de um PAG, cada chamada a uma operação do catálogo do GeoFrame é modelada como uma **ação**.

Por exemplo, o PAG "Determina Faixa Protegida" é representado na Figura 5.10 por uma classe do tipo *Processo* do modelo do usuário.

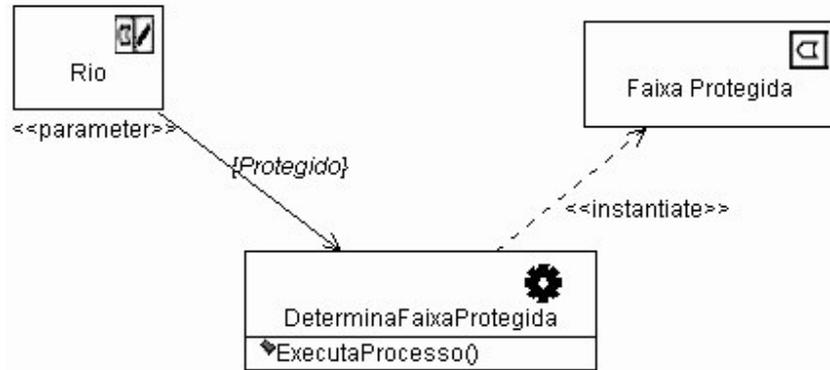


FIGURA 5.10 - Diagrama de classes utilizando classe do tipo *Processo*.

A Figura 5.11 apresenta um diagrama de atividades detalhado com a especificação interna da atividade *DeterminaFaixaProtegida*. A notação adotada é a que foi apresentada na Figura 4.16. As ações *Seleção* e *ZonaInfluência* chamam as respectivas atividades que contemplam esse comportamento, conforme definido no catálogo de operações do GeoFrame.

Entre nó de objeto e ação, é utilizado o elemento de modelagem fluxo de objetos, representado por arcos direcionados. Já entre ações, o fluxo de objetos liga os pinos de entrada e saída de cada ação (representado por quadrados). Nesse exemplo, o fluxo de objetos determina o fluxo de operações, não sendo necessário empregar o elemento de modelagem fluxo de controle.

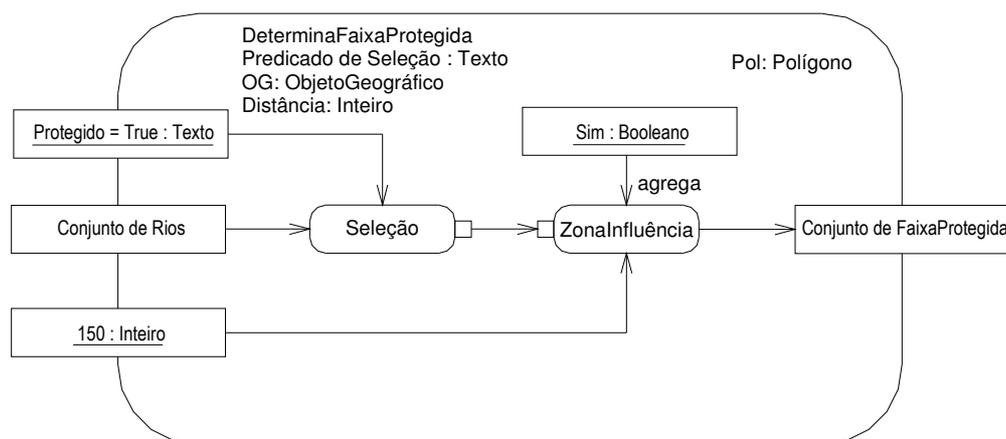


FIGURA 5.11 - Especificação interna de PAG usando diagrama de atividades.

As operações do catálogo do GeoFrame normalmente geram como resultado uma coleção de elementos. Nesse exemplo, *Zona de Influência* gera uma coleção de objetos

representados por polígonos como resultado. Conforme pode ser verificado na especificação externa da Figura 5.10, esses polígonos serão instanciados na classe `FaixaProtegida`, definida no modelo do usuário.

5.2.4 Análise Comparativa das Alternativas

Após o desenvolvimento dessas 3 alternativas, foi possível estabelecer uma análise comparativa entre elas. Utilizou-se os mesmos critérios da análise comparativa dos modelos conceituais de BDG com suporte à especificação de PAG, análise esta apresentada na seção 4.3.4.2. A síntese da análise desenvolvida, a seguir, é apresentada na Tabela 5.1 .

Quanto ao tipo de especificação, todas alternativas apresentaram uma solução para a especificação interna de processos. Apenas a alternativa 3 explorou também uma solução para a especificação externa.

Quanto à abrangência, pode-se considerar que todas alternativas são equivalentes, pois utilizam um catálogo de operações desenvolvido com a finalidade de ser genérico no domínio da informação geográfica.

Somente os elementos de modelagem para especificação interna de processos podem ser comparados entre as alternativas. As alternativas 1 e 2 utilizam os mesmos elementos de modelagem. Nessas alternativas, os dados são organizados em classes e as operações geográficas como operações de classe. O fluxo entre dados e operações é expresso através de mensagens no diagrama de seqüências e o encadeamento pode ser verificado através da seqüência com que as mensagens são apresentadas. A alternativa 3 também organiza os dados em classes, entretanto os demais elementos de modelagem são obtidos dos pacotes comportamentais da UML. As operações geográficas correspondem ao elemento de modelagem `Atividade`, o fluxo entre dados e operações é expresso através do elemento de modelagem `fluxo de objetos`. Esse mesmo elemento de modelagem é utilizado para determinar o fluxo entre as operações, assim como pode ser utilizado o elemento `fluxo de controle`.

As duas primeiras alternativas, assim como no Tryfona+ [LOP 2002], utilizam diagramas de interação (no caso, o diagrama de seqüência). Esse tipo de diagrama limita o uso do modelo a projetistas com mais experiência em UML. Entretanto, é compatível com ferramentas CASE atuais. A alternativa 3 explora uma nova semântica para o diagrama de atividades, ainda desconhecida da comunidade de usuários durante o desenvolvimento desse trabalho. Portanto, as ferramentas CASE ainda não estavam preparadas a utilizá-lo. Nessa alternativa, a facilidade de uso será uma realidade apenas quando os conceitos da versão 2.0 da UML forem totalmente absorvidos pelos usuários.

Todas alternativas foram desenvolvidas com a finalidade de serem compatíveis com a UML, sendo que as duas primeiras utilizam recursos de modelagem disponíveis na versão 1.5 dessa especificação [OMG 2003a], enquanto que a terceira já utiliza recursos da UML 2.0 [OMG 2003b].

TABELA 5.1 – Síntese da análise comparativa entre alternativas usando critérios básicos.

Critério	Alternativas 1 e 2	Alternativa 3
Geral:		
- Tipo de especificação	Interna	Externa e Interna
- Abrangência	Genérica	Genérica
Elementos de modelagem:		
- Completude	Sim	Sim
- Facilidade de uso	Requer projetistas experientes	Técnica ainda pouco conhecida e sem suporte de ferramentas CASE
- Conformidade com a notação	Sim (UML 1.5)	Sim (UML 2.0)

5.2.5 Seleção de uma Alternativa de Expressão de PAG

O resultado da análise comparativa dos critérios para modelagem de PAG ainda não mostra-se suficiente para a seleção de uma alternativa. É necessário utilizar critérios em maior nível de detalhamento que mais diferenciem as alternativas entre si.

A abordagem quanto à organização das operações geográficas no modelo foi o ponto de partida para o desenvolvimento de cada alternativa. Portanto, o resultado obtido deve ser considerado.

Como esse trabalho trata de uma proposta de extensão de um *framework* existente, é importante avaliar a contribuição em relação à semântica a ser incorporada em cada alternativa.

Outra característica que diferencia as alternativas é em relação à forma de uso dos diagramas disponíveis na UML. O uso de vários diagramas para o mesmo tipo de especificação torna a solução mais complexa.

Esses três critérios podem ser avaliados com peso semelhante. Para uniformizar a análise, é atribuído um grau para cada critério em cada alternativa. As seções a seguir apresentam os critérios detalhados e a seleção da alternativa a partir da avaliação dos graus atribuídos.

5.2.5.1 Distribuição das Operações

Na Alternativa 1, a distribuição das operações segue a modelagem tradicional em orientação a objetos, situando as operações conforme a hierarquia de classes. Essa mesma linha é seguida nas especificações do OpenGIS [OGC 2001] e da ISO [ISO 2002] para desenvolvimento de *software* de SIG. Algumas operações, entretanto, como a Superposição, são agrupadas em uma interface. As operações apresentadas nessas especificações estão mais voltadas ao desenvolvedor do que ao usuário, sendo que o ponto de vista do usuário foi o critério para o desenvolvimento do catálogo de operações do GeoFrame.

No modelo do usuário, as classes definidas são relacionadas com representações geográficas através de um estereótipo (conforme Figuras 2.3 e 2.4). Esse relacionamento é uma associação simples. Portanto, uma classe com representação de polígono não herda as operações de polígono. Nessa estrutura, o *framework* passaria apenas a oferecer operações de referência, que deveriam ser copiadas para a classe modelada pelo usuário cada vez que

fossem utilizadas. A mesma operação poderia ser definida para várias classes do modelo do usuário que possuíssem a mesma representação, sobrecarregando o modelo com informações redundantes e com o risco de apresentar inconsistências.

Na Alternativa 2, considerou-se todas as operações de análise geográfica como métodos de uma classe <<*utility*>>, a ser incorporada no *framework*. Na prática, esse tipo de solução é mais utilizada como uma conveniência para programação do que uma unidade fundamental de modelagem, visto que não segue os preceitos da orientação a objetos. A construção de uma interface para cada operação permite uma maior clareza no diagrama de classes. Pode ocorrer um PAG que utilize, em mais de uma situação, a mesma interface. Nesse caso, é inserida uma cópia da interface no diagrama de classes.

Na Alternativa 3, considerou-se as operações de análise geográfica como um elemento de modelagem *Atividade*. Nesse trabalho, considera-se que as operações do catálogo do GeoFrame sejam supridas através de *software* de SIG. Nesse contexto, o usuário deveria incluir nas classes do seu modelo apenas operações específicas da aplicação que deseja modelar, como, por exemplo, o cálculo do índice de qualidade de água em um trecho de rio, pois o método que suporta essa operação deveria ser desenvolvido na aplicação. Portanto, não seria necessário incluir, no modelo do usuário, operações que já constam no catálogo do GeoFrame.

5.2.5.2 Semântica introduzida no GeoFrame

A Alternativa 1 apenas distribui operações ao longo das classes de representação do GeoFrame, não introduzindo nova semântica no modelo.

A Alternativa 2 introduz uma classe <<*utility*>> e diversas interfaces de acesso. Como essa estrutura fica independente das demais classes do *framework*, a semântica introduzida é limitada.

A Alternativa 3 introduz a classe *Processo*, estabelecendo relacionamentos entre as classes *FenômenoGeográfico* e *ObjetoNãoGeográfico*. Também aplica uma semântica de ações. O elemento de modelagem *fluxo de objetos*, expresso no diagrama de atividades, oferece uma capacidade de expressão que não é atendida pelas demais alternativas.

5.2.5.3 Diagramas necessários para expressão do processo

Na Alternativa 1, o diagrama de classes é apresentado em sua forma mais simples. Para que o processo seja compreendido, é necessária a complementação através do diagrama de seqüências.

Na Alternativa 2, o diagrama de classes apresenta uma maior expressão, usando recursos da UML. O diagrama de seqüência deve ser desenvolvido, conforme sugestão do RUP, para a descoberta das colaborações e para auxiliar na elaboração do diagrama de classes. Entretanto, a sua apresentação pode tornar-se opcional em problemas mais simples, pois o poder de expressão do diagrama de classes pode ser suficiente.

A Alternativa 3 só apresenta o processo no diagrama de classes. O detalhamento ocorre através do diagrama de atividades. A documentação, nessa alternativa, torna-se

modular, pois o projetista pode selecionar os processos mais relevantes no modelo que devam ser detalhados em diagramas de atividades.

5.2.5.4 Escolha da Alternativa

Cada um dos critérios detalhados foi enquadrado em uma classificação qualitativa. De forma simplificada, conforme apresentado na Tabela 5.2, adotou-se três indicadores: não atende o critério ("Não"), atende parcialmente o critério ("Parcial"), atende totalmente o critério ("Total"). Observa-se que a Alternativa 3 é a única que atende totalmente os critérios detalhados.

TABELA 5.2 – Síntese da avaliação de alternativas usando critérios detalhados.

Critério Detalhado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Distribuição das operações	Parcial	Parcial	Total
Semântica introduzida	Não	Parcial	Total
Diagramas necessários	Parcial	Total	Total

Outras vantagens percebidas na Alternativa 3 são:

- Cada *software* de SIG possui sua própria organização de operações. A alternativa de modelar operações geográficas como atividades, ao invés de operações de classes, torna o modelo conceitual menos distante do modelo de implementação.
- A possibilidade de desenvolver tanto a especificação externa quanto a interna de PAG.
- Como complementação ao diagrama de classes, o diagrama de atividades é melhor compreendido pelo usuário pouco experiente do que o de seqüências. Esse diagrama é semelhante a diagramas mais tradicionais, como fluxogramas e Redes de Petri.

Na ocasião da conclusão desse trabalho, as ferramentas CASE para UML ainda não estavam preparadas para utilizar os recursos da UML versão 2.0. Alguns recursos incluídos nos diagramas apresentados ao longo do presente trabalho só podem ser representados através de editores gráficos genéricos.

Apesar de utilizar recursos ainda pouco conhecidos, considerando-se todas as demais vantagens apresentadas, optou-se em selecionar a Alternativa 3 como a melhor solução para a expressão de processos de PAG no *framework* GeoFrame.

5.3 Detalhamento da Alternativa Selecionada

Quando as alternativas para a modelagem de PAG foram desenvolvidas, a intenção era levantar características básicas para que pudessem ser comparadas. A seleção de uma alternativa leva a seu detalhamento para que possa ser incorporada ao GeoFrame em harmonia com os demais componentes desse *framework*.

A alternativa de representar processos de análise geográfica no diagrama de classes implica em uma alteração no *framework* GeoFrame. A solução proposta, nessa extensão, encaminha para uma reorganização dos pacotes do GeoFrame, com a incorporação de um novo pacote, o *PGeoFrame-A*, conforme descrito na seção 5.3.1 .

A modelagem interna do *PGeoFrame-A*, baseada na alternativa selecionada, é apresentada na seção 5.3.2.

5.3.1 Pacotes do GeoFrame

O núcleo do *framework* encontra-se no pacote *PGeoFrame*. A extensão desenvolvida por Rocha [ROC 2001], para suportar aspectos temporais, gerou o pacote *PGeoFrame-T*. O *PGeoFrame-T* importa o *PGeoFrame* (Figura 5.12). Ao iniciar o processo de modelagem, o projetista deve optar pelo pacote a ser utilizado. Não há sentido em usar o *PGeoFrame-T* em modelos onde a temporalidade é desconsiderada, pois naquele pacote os fenômenos geográficos e suas representações recebem, por herança, as características temporais.

A modelagem de processos de análise geográfica também é uma opção do projetista. Como a presente proposta é de extensão do GeoFrame, e não a de uma nova versão que modifique seu conteúdo original, optou-se por introduzir os novos elementos semânticos em um pacote próprio, denominado *PGeoFrame-A*. O sufixo "A" significa a capacidade de representar Ações sobre dados geográficos. O *PGeoFrame-A*, de forma análoga ao *PGeoFrame-T*, também importa o conteúdo do pacote *PGeoFrame*.

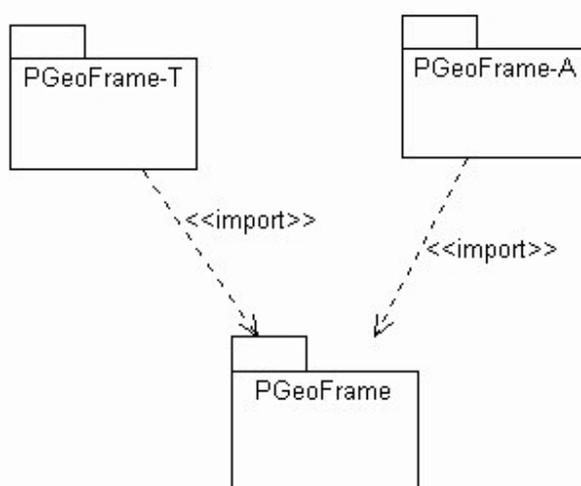


FIGURA 5.12 - Modelo de pacotes proposto para o GeoFrame.

A relação dos aspectos temporais com a especificação de processos de análise geográfica não foi investigada nesse trabalho. Dessa forma, a nova versão, sendo proposta aqui para o GeoFrame, oferece três opções de modelagem para o projetista: o método básico usando o pacote *PGeoFrame*, modelagem espaço-temporal com o pacote *PGeoFrame-T*, e projeto espacial com especificação de processos através do *PGeoFrame-A*. Um projeto iniciado com o *PGeoFrame* pode ser convertido, sem perda de semântica, a qualquer momento, para um modelo temporal ou de ações.

5.3.2 O Pacote PGeoFrame-A e a Classe Processo

O Pacote *PGeoFrame-A* importa o pacote *PGeoFrame* acrescentando, neste último, a classe *Processo* e seus relacionamentos com *FenômenoGeográfico* e *ObjetoNãoGeográfico*. Uma instância de *Processo* pode receber, como parâmetros, instâncias dessas duas classes. Além disso, a classe *Processo* possui a operação *ExecutaProcesso* que é redefinida a cada especialização. O resultado de *ExecutaProcesso* pode instanciar objetos de *FenômenoGeográfico* ou de *ObjetoNãoGeográfico*.

Assim como são definidos estereótipos com representação gráfica para as diversas classes do *GeoFrame*, definiu-se um estereótipo para a classe *Processo*. O estereótipo desenvolvido procura lembrar uma engrenagem, conforme exibido na Figura 5.13, e deve ser utilizado no modelo do usuário quando ocorrer uma classe que especializa a classe *Processo* definida no *framework*.



FIGURA 5.13 - Estereótipo para representar especialização da classe *Processo*.

A Figura 5.14 apresenta o pacote *PGeoFrame-A*, incorporando as características presentes na Alternativa 3.

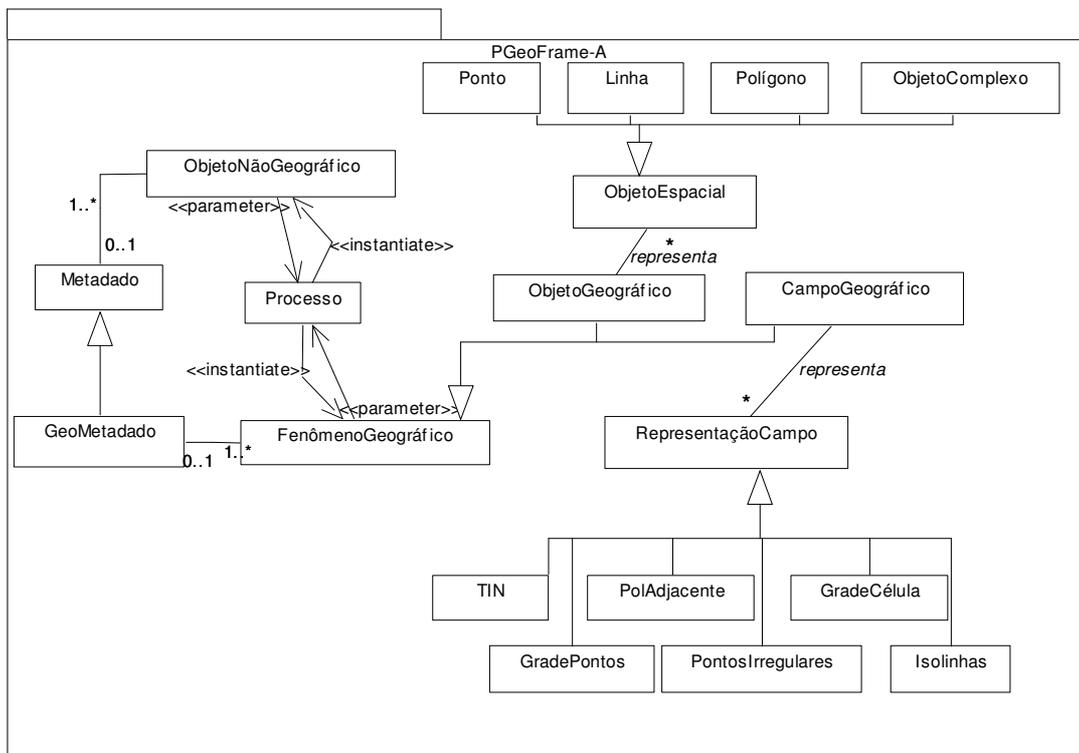


FIGURA 5.14 - Pacote *PGeoFrame-A*.

Cada execução da operação *ExecutaProcesso*, a partir de uma nova instância da classe *Processo*, gera novas instâncias em classes alvo, ou seja, nas classes dos objetos

gerados como resultados do processo. Para que seja possível estabelecer um histórico de execuções, cada instância de uma classe tipo *Processo* deve armazenar um atributo temporal que permita registrar o momento da execução (como data e hora, por exemplo).

Para que esse histórico possa ser aproveitado de forma mais completa, quando implementado em um banco de dados não-temporal, seria necessário também incluir e manter esse atributo temporal nas classes envolvidas no processo. Nesse caso, as instâncias que participaram de algum processo não deveriam ser excluídas ou terem valores alterados sem o registro do atributo temporal. Dessa forma, seria possível recuperar tanto os valores das instâncias das classes que fornecem parâmetros quanto os da classe-alvo para uma instância específica de *Processo*. O detalhamento de uma solução desse tipo deve ser resolvida no projeto físico do BDG.

6 Exemplo de Aplicação

O abastecimento de água em grandes cidades é composto por sistemas de abastecimento. Em geral, um conjunto de reservação (que será denominado simplificadaamente como reservatório) é responsável pelo abastecimento de um sistema.

Potenciais problemas de abastecimento podem ocorrer quando a pressão de água é muito baixa em determinadas regiões. Um líquido perde energia ao atritar-se com as paredes internas da tubulação por onde escoa. Em Hidráulica, essa perda de energia é denominada como "perda de carga". Considerando que o abastecimento de água é realizado através de tubulações regularmente distribuídas, pode-se estimar que a cota da linha piezométrica é função da distância de um determinado local ao reservatório: quanto maior a distância, maior a perda de carga. A pressão de água pode ser determinada pela diferença entre a cota da linha piezométrica e a cota do terreno. A Figura 6.1 mostra esquematicamente os elementos envolvidos no problema.

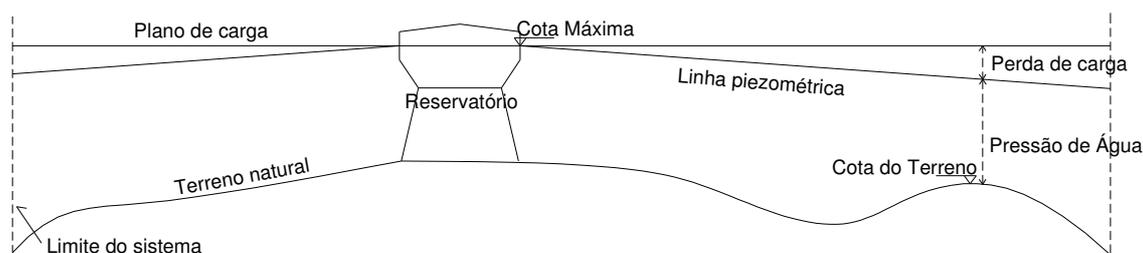


FIGURA 6.1 - Esquema do problema da pressão de água.

Uma forma de obter-se uma visão geral do comportamento da pressão de água em um conjunto de sistemas de abastecimento é através da geração de um mapa que apresente o valor da pressão de água em cada ponto do sistema. Esse problema envolve componentes geográficos, portanto é passível de ser resolvido por um *software* de SIG. Em decorrência, o projeto conceitual pode ser desenvolvido utilizando-se os recursos do GeoFrame. Como claramente o aspecto mais crítico desse problema concentra-se na execução de um PAG, o pacote do GeoFrame mais indicado é o *PGeoFrame-A*.

Quando se utiliza o *PGeoFrame-A*, recomenda-se que o levantamento de requisitos inicie através da elaboração do diagrama de casos de uso. Como a pressão de água depende dos valores de cota do terreno natural e da cota da linha piezométrica em cada ponto, pode-se, inicialmente determinar o diagrama de casos de uso expressando esses elementos, conforme apresentado na Figura 6.2.

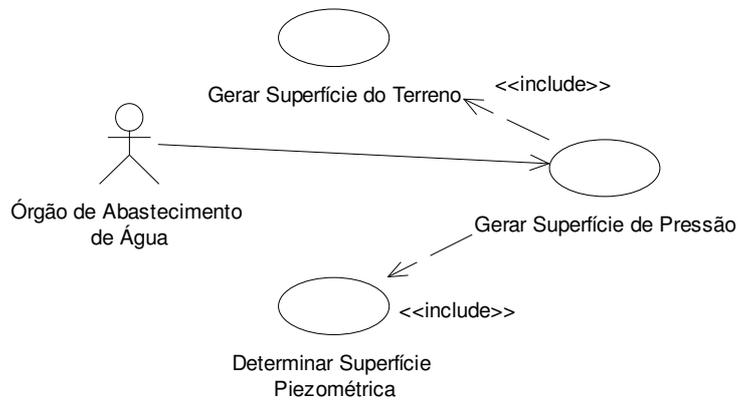


FIGURA 6.2 - Diagrama de casos de uso.

O diagrama de atividades já pode identificar as informações necessárias que os casos de uso necessitam e a ordenação da execução dessas atividades, conforme apresentado na Figura 6.3.

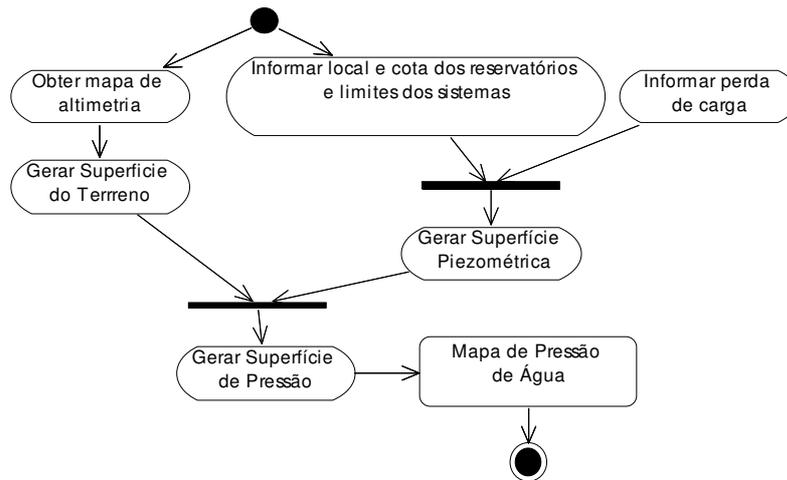


FIGURA 6.3 - Diagrama de Atividades.

Avaliando o diagrama de atividades percebe-se que a geração das superfícies do terreno e piezométrica, e a conseqüente geração da superfície de pressão podem ser consideradas como partes de um único PAG, que pode ser denominado "CalculaSuperfíciePressão". Esse processo depende de algumas informações que possuem componente geográfico, no caso, altimetria, reservatórios e sistemas de abastecimento. O coeficiente de perda de carga por unidade de distância é apenas um valor constante que se informa no processo.

Esse é o momento na fase de levantamento de requisitos de investigar-se sobre os dados disponíveis e os que devem ser produzidos para serem integrados ao BDG. A atividade "Obter mapa de altimetria" indica que não é intenção do Órgão de Abastecimento de Água criar esse mapa; ele deve ser obtido de alguma fonte que tenha, por exemplo, executado uma restituição aerofotogramétrica, e a partir dela, construído esse mapa digital.

Após um levantamento, deve-se determinar a forma de representação em que se encontra o mapa para que seja incluída no modelo. Nesse exemplo assume-se que o mapa digital de altimetria disponível exibe apenas curvas de nível, portanto, sendo fornecido na representação de isolinhas. Como a área ocupada por um reservatório é irrelevante em relação à área do sistema de abastecimento, assume-se que basta uma representação de ponto para indicar a sua posição. Os limites de um sistema de abastecimento é determinado por um polígono. Entre reservatórios e sistemas de abastecimento há uma relação bem clara, pois um sistema de abastecimento contém o reservatório que é responsável pelo abastecimento daquela área. O PAG "CalculaSuperfíciePressão" é modelado como uma classe do tipo Processo do PGeoFrame-A, portanto, deve ser identificado com o pictograma que representa esse estereótipo. O resultado desse processo é uma representação de grade de células que é instanciada na classe "PressãoÁgua".

O diagrama de classes da Figura 6.4 formaliza a relação de todos esses elementos que foram identificados.

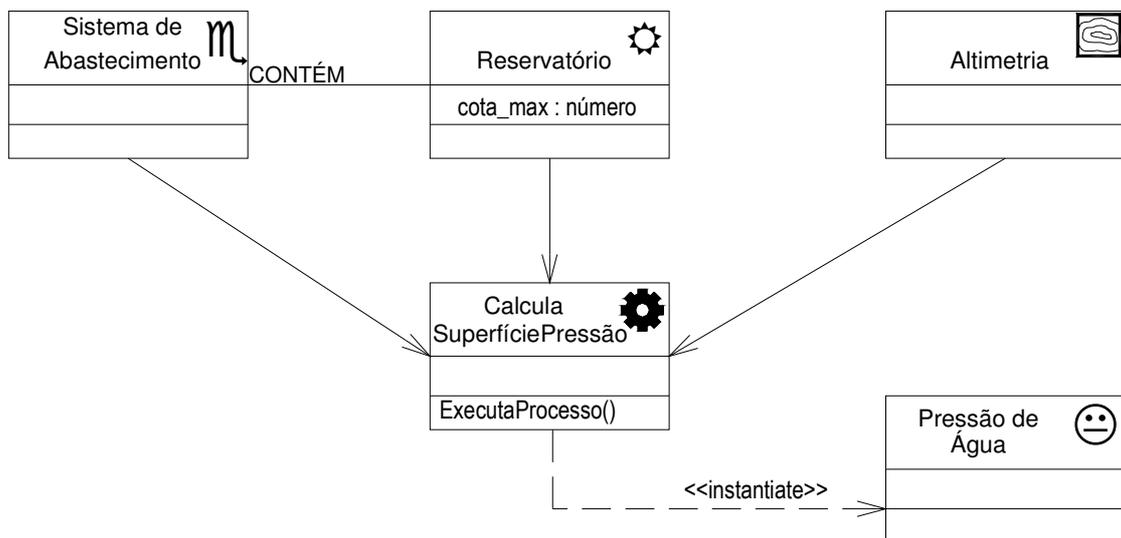


FIGURA 6.4 - Diagrama de classes usando *PGeoFrame-A*.

No detalhamento desse processo ocorre uma situação difícil de ser representada em modelos clássicos, como o de modelagem cartográfica, pelo fato de requerer estruturas de controle. Nesse processo, para cada reservatório, deve ser selecionado o sistema que o contém.

Ao examinar o catálogo de operações de análise geográfica, proposto para o GeoFrame na seção 3.2.16, pode-se perceber quais delas serão utilizadas no processo.

A relação entre reservatório e sistema de abastecimento pode ser obtida através da operação **SeleçãoEspacial**. A partir da localização de cada reservatório, determina-se uma superfície de distâncias onde o limite é representado pelo polígono do sistema de abastecimento que contém as coordenadas do ponto do reservatório (operação **Zona de Influência**). A superfície de distâncias é reclassificada (operação **Classificação**) de tal forma que represente o valor da superfície piezométrica, tomando como parâmetros a cota

do reservatório e um valor constante de perda de carga. Dessa forma, quanto mais distante estiver um determinado ponto do reservatório, menor será o valor da cota piezométrica.

A altimetria, apresentada como curvas de nível, necessita ser interpolada (operação **Interpolação**) para gerar uma grade de células contendo valores de altitude para cada célula (modelo numérico do terreno). Pode-se indicar diversos métodos para essa interpolação, um deles é por **Média Simples**.

Os valores do campo geográfico que contêm a superfície piezométrica podem subtrair os valores do campo geográfico que contêm altitudes (operação **Superposição**, método **Diferença**). O resultado dessa operação corresponde ao resultado do processo, que é a superfície de **Pressão de Água**. O campo geográfico, representado por uma grade de células, deve ser instanciado na classe **Pressão de Água**, conforme previsto no diagrama de classes.

O detalhamento do processo, utilizando a notação indicada para diagramas de atividades com ações da UML 2.0 [OMG 2003b] é apresentado na Figura 6.5.

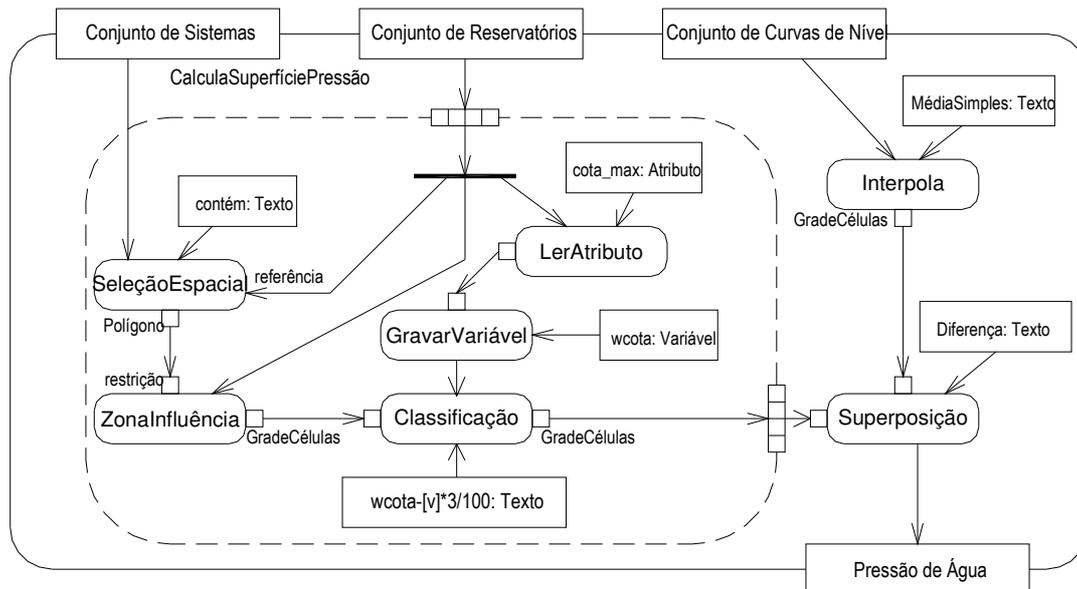


FIGURA 6.5 - Diagrama da atividade CalculaSuperfíciePressão.

No diagrama da Figura 6.5, pode-se verificar a aplicação dos seguintes elementos de modelagem:

- atividade: a classe **CalculaSuperfíciePressão**, do tipo **Atividade**, é o polígono mais externo com cantos arredondados.
- nó de objeto: objetos de classes do modelo do usuário (**Conjunto de Sistemas**, **Conjunto de Reservatórios**, **Conjunto de Curvas de Nível**, **Pressão de Água**), valores constantes ("contém", "Média Simples", "Diferença", "wcola-[v]*3/100"), atributo (**cota_max**) e variável de memória (**wcola**).
- ação: do tipo "*CallBehaviorAction*", correspondendo ao catálogo de operações do **GeoFrame** (**SeleçãoEspacial**, **ZonaInfluência**, **Classificação**, **Superposição**,

Interpola) e ação primitiva da UML do tipo "*Read/Write Actions*" (LerAtributo, GravarVariável).

- fluxo de objeto: praticamente todos os arcos orientados.
- pino: ocorre entre as ações.
- fluxo de controle: ocorre apenas entre GravarVariável e Classificação, pois não há fluxo de objeto nessa situação.
- região de expansão: é executada tantas vezes quanto for o número de elementos do Conjunto de Reservatórios.
- nó de bifurcação: divide o fluxo do objeto Reservatório.
- nó de expansão: o nó de entrada mantém um elemento em separado do Conjunto de Reservatórios durante cada execução da região. O nó de saída aceita os objetos de Pressão de Água a cada execução da região, disponibilizando a coleção deles quando a execução da região for completa.

7 Conclusão

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, efetuou-se um levantamento sobre as metodologias utilizadas para a expressão de processos de análise geográfica. Verificou-se que os métodos utilizados, a maioria derivados da modelagem cartográfica de Tomlin [TOM 91], não levam em consideração a estrutura estática do banco de dados geográfico. Por outro lado, as metodologias desenvolvidas para modelagem de BDG, em sua maioria, dedicam-se apenas a aspectos estáticos. Apenas algumas delas [PIR 97] [DAV 2000] [LOP 2002] apresentaram recursos para expressão dos aspectos dinâmicos, com algumas limitações que foram constatadas ao longo deste trabalho. Concluiu-se que nenhuma solução completa de modelagem de PAG, que buscasse compatibilidade com a linguagem UML, considerada como padrão atual para modelagem, havia sido desenvolvida.

Outro levantamento realizado foi sobre as operações que compõem um PAG. Buscou-se conceitos em diferentes níveis de abstração: lógico, representação e implementação, para identificar um conjunto básico de operações. A partir da interseção desses conjuntos de conceitos, definiu-se um catálogo de operações com parâmetros e características funcionais para ser utilizado na especificação de processos de forma independente do *software* em que as quais seriam implementadas.

O *framework* GeoFrame foi o modelo de dados geográficos escolhido a ser estendido para representar processos de análise geográfica de forma totalmente compatível com a UML.

A fase de levantamento de requisitos, quando considera aspectos dinâmicos de um sistema, utiliza outros diagramas da UML, além do diagrama de classes. Foi proposta uma metodologia, inspirada no RUP, que orienta o usuário dessa extensão do GeoFrame sobre os diagramas a serem utilizados, e de que forma desenvolvê-los. No caso, foram adotados os diagramas de casos de uso e de atividades.

Algumas alternativas foram desenvolvidas e comparadas sobre a forma de incorporar o catálogo de operações geográficas em uma extensão do GeoFrame. A opção acabou recaindo na utilização de recursos introduzidos com a especificação da UML 2.0. Adotando-se essa alternativa, a solução apresentada conduziu à expressão de processos de análise geográfica no diagrama de classes e o detalhamento dos mesmos, como ordens parciais de ações, em diagramas de atividades.

O conjunto da solução apresentada foi incorporado no pacote *PGeoFrame-A*, que importa o conteúdo do *framework* original, o pacote *PGeoFrame*. De forma sintética, o usuário desse *framework* que optar por utilizar o *PGeoFrame-A* vai encontrar uma semântica que apóia a expressão de processos de análise geográfica, acompanhado de um catálogo de operações extensível.

A compatibilidade com a UML permite que o usuário desenvolva os diagramas do modelo em uma ferramenta CASE. Essas ferramentas possibilitam, desde a construção do esquema do BDG, até a geração de código executável. Como foram utilizados elementos de modelagem de uma especificação recente na época da conclusão desse trabalho, esse suporte ainda não era oferecido pelas ferramentas CASE existentes.

Praticamente a única fonte de informação utilizada nesse trabalho sobre a incorporação de ações no diagrama de atividades foi a própria especificação da UML [OMG 2003b], pois até a conclusão do mesmo, não foram identificadas outras obras tratando sobre esse assunto, além de [BJO 2003]. Como um trabalho futuro, recomenda-se a verificação da aplicabilidade de outros recursos introduzidos pela versão 2.0 da UML que acabaram não sendo utilizados nesse trabalho.

Com a incorporação da UML 2.0 por ferramentas CASE, outro trabalho futuro a ser desenvolvido é a geração de código a partir de esquemas UML-GeoFrame, utilizando bibliotecas de componentes com capacidade de execução de operações de análise geográfica.

A integração dos pacotes *PGeoFrame-A* e *PGeoFrame-T* também poderia ser explorada em um trabalho futuro. Tal integração permitiria, por exemplo, desenvolver-se uma modelagem mais completa sobre as múltiplas execuções que pode ocorrer em um processo ao longo do ciclo de vida do BDG, e sobre o estado das classes associadas a esse processo.

A especificação de PAG incorporados ao modelo do BDG fornece uma visão mais completa de um SIG propriamente dito. Na fase de projeto, essa visão permite uma seleção mais criteriosa dos recursos de *software* e de qualidade da informação que deve ser incorporada ao sistema. Na fase de produção, permite a documentação de processos que indicam a qualidade dos dados produzidos.

Os PAG de uso mais freqüente que forem documentados com a metodologia aqui proposta poderão ser organizados em um catálogo de padrões de PAG, de forma análoga de como o GeoFrame já oferece um catálogo de padrões de análise.

Em síntese, espera-se oferecer, através desse trabalho, recursos mais abrangentes para a árdua tarefa de projetar bancos de dados geográficos. Espera-se que o projeto possa acompanhar e evoluir com o uso dos dados, transformando-se, inclusive, em objeto de reuso em outros projetos semelhantes.

Referências

- [ALB 95] ALBRECHT, J. **Universelle GIS-Operationen**. 1995. 94p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de Vechta, Vechta, Alemanha.
- [ARO 89] ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.
- [BAR 2001] BARROS, C. **Sistemas de Apoio à Gestão Ambiental Urbana: o uso de sistemas de informação geográficos para monitoramento da poluição sonora**. 2001. 103p. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) - Escola de Governo da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/informatica/programa-formacao/conteudomestrado.html>>. Acesso em: ago.2002.
- [BHE 2002] BHERING, E. et al. Sistema de Informação da Rede de Infra-estrutura Sanitária de Cachoeiro de Itapemirim-ES. **IP-Informática Pública**, Belo Horizonte, v.4, n.1, p.71-88, jun.2002. Disponível em: <<http://www.ip.pbh.gov.br/ip0401.html>>. Acesso em: set.2002.
- [BJO 2003] BJÖRKANDER, M.; KOBRYN, C. Architecting Systems with UML 2.0. **IEEE Software**, Los Alamitos, v.20, n.4, p. 57-61, July/Aug. 2003. Disponível em: <<http://www.computer.org/software>>. Acesso em: ago.2003.
- [BOG 2001] BOGORNY, V. **Incorporando Suporte a Restrições Espaciais de Caráter Topológico ao Modelo Abstrato do Consórcio Open GIS**. 2001. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <http://bombas.inf.ufrgs.br/ciochpe/sig/Dissertacao_Vania.PDF>. Acesso em: jul.2002.
- [BOO 2000] BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML Guia do Usuário**. Rio de Janeiro: Campus, 2000. 472p.
- [BOR 97] BORGES, K. **Modelagem de Dados Geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**. 1997. 139p. Dissertação (Mestrado em Administração Pública). Escola de Governo da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/informatica/programa-formacao/conteudomestrado.html>>. Acesso em: ago.2002.
- [CAM 95] CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. 1995. 264p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/>>. Acesso em: nov.2000.
- [CAM 2000] CÂMARA, G. et al. Towards a Unified Framework for Geographical Data Models. WORKSHOP BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 2., São Paulo, 2000. **Anais...** Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/geoinfo2000/anais.html>>. Acesso em: jul.2000.

- [CAM 2001] CÂMARA, G. ; DAVIS JR., C.; MONTEIRO, A.M.V. (Org.). **Geoprocessamento: teoria e aplicações**. 2001. v.1, p.(8-1)-(8-30). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: jul.2001.
- [CAM 2002] CÂMARA, G. et al. TerraLib, Tecnologia Brasileira de Geoinformação: para quem e para que? **IP-Informática Pública**, Belo Horizonte, v.4, n.1, jun.2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terralib/portugues.html>>. Acesso em: jan.2003.
- [CHR 97] CHRISMAN, N. **Exploring Geographic Information Systems**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 298p.
- [CLA 2003] CLARK LABS. **Idrisi32: Geographic Analysis and Image Processing Software**. Disponível em: <<http://www.clarklabs.org>> . Acesso em: fev.2003.
- [COS 2001] COSTA, A. C. **Mapeamento de Esquemas Cociituais definidos a partir de um Framework de Banco de Dados Geográficos para Esquemas Lógicos baseados no Padrão SAIF**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [DAV 2000] DAVIS JR., C. **Múltiplas Representações em Sistemas de Informação Geográficos**. 2000. 106p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Ciências Exatas, UFMG, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.cdavis.hpg.ig.com.br/publicacoes.html>>. Acesso em: mar.2001.
- [EAS 98] EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutoriais**. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, 1998. p.79-84. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/idrisi/>>. Acesso em: dez.2000.
- [EGE 94] EGENHOFER, M. Spatial SQL: a query and presentation language. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, Los Alamitos, v.6, p.86-95, 1994. Disponível em: <<http://www.spatial.maine.edu/~max/RJ14.html>>. Acesso em: nov.2002.
- [ESR 2000] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ModelBuilder for ArcView Spatial Analyst 2**. ESRI White Paper. Redlands, California, May 2000. Disponível em: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/model_bldravs2.pdf>. Acesso em: fev.2003.
- [ESR 2002] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **MapObjects - Windows Edition**. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/mapobjects/overview.html>>. Acesso em: ago.2002.
- [FER 2002] FERREIRA, K.R. et al. Arquitetura de *Software* para Construção de Banco de Dados Geográficos com SGBD Objeto-Relacionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCOS DE DADOS, 18., 2002, Gramado-RS. **Anais...** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/artigos_nacionais.html>. Acesso em: nov.2002.

- [FON 2001] FONSECA, F. **Ontology-Driven Geographic Information Systems**. Tese (Doutorado em Ciência da Informação Espacial e Engenharia). 2001. 118p. The Graduate School, University of Maine, Orono, Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.spatial.maine.edu/~fred>>. Acesso em: nov.2002.
- [FOW 2000] FOWLER, M. **UML Essencial**. Porto Alegre: Bookman, 2000. 169 p.
- [GOM 95] GOMES, J.; VELHO, L. Abstraction Paradigms for Computer Graphics. **The Visual Computer**, New York, v.11, n.5, p.227-239, 1995. Disponível em: <<http://www.visgraf.impa.br/cgi-bin/refQuery.cgi?Xclass=journal>>. Acesso em: nov.2002.
- [GOO 90] GOODCHILD, M. F. Geographical Data Modelling. In: FRANK, A.U.; GOODCHILD, M. F. **Two Perspective on Geographical Data Modelling**. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information & Analysis, 1990. (Technical Paper 90-11).
- [GOO 97] GOODCHILD, M. et al. **Interoperating GISs**. Relatório de Encontro de Especialistas no âmbito do Projeto Varenus. Santa Bárbara, Califórnia, 1997. Disponível em: <<http://pollux.geog.ucsb.edu/~good/interop.html>>. Acesso em: set.2000.
- [HAD 97] HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. An Extended Entity-Relational for Geographic Applications. **ACM SIGMOD Record**, New York, v.26, n.3, p.24-29, 1997. Disponível em: <<http://dke.cti.gr/pubs/journals/sigrec97.pdf>>. Acesso em: jan.2003.
- [HES 2003] HESS, G. N.; SILVA, C. M. S.; IOCHPE, C. RoseGIS: Uma Ferramenta CASE para Projeto de Banco de Dados Geográfico. In: GISBRASIL - SHOW INTERNACIONAL DE GEOTECNOLOGIAS, 9., 2003, São Paulo-SP. **Anais...** Disponível em: <<http://www.gisbrasil.com.br>>.
- [INP 2002] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING**: sistema de processamento de informações georreferenciadas. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: nov.2002
- [ISO 2002] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **The ISO/TC 211**: Geographic information / Geomatics. Disponível em: <<http://www.isotc211.org/presentn.htm>>. Acesso em: ago.2002.
- [ISO 2002a] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **CD 19123.2**: Geographic information - Schema for coverage geometry and functions. 2002. No prelo.
- [KOS 97] KÖSTERS, G. et al. GIS-Application Development with GeoOOA. **International Journal of Geographical Information Science**, London, v.11, n.4, p.307-335, 1997.
- [KRU 2001] KRUCHTEN, P. **What is the Rational Unified Process?** Disponível em: <http://www.therationaledge.com/content/jan_01/f_rup_pk.html>. Acesso em: jan.2003 .

- [LIS 2000] LISBOA FILHO, J. **Projeto Conceitual de Banco de Dados Geográficos através da Reutilização de Esquemas, utilizando Padrões de Análise e um Framework Conceitual**. 2000. 212p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.dpi.ufr.br/~jugurta/publica.html>>. Acesso em: jul.2000.
- [LIS 2002] LISBOA FILHO, J.; PEREIRA, M. Desenvolvimento de uma Ferramenta CASE para o Modelo UML-GeoFrame com Suporte para Padrões de Análise. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 4., 2002, Caxambu-MG. **Anais...** Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/prodabel/cde/geoinfo2002/down.html>>. Acesso em: jan.2003.
- [LIS 2002a] LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; BORGES, K. Reutilização de Esquemas de Bancos de Dados em Aplicações de Gestão Urbana. **IP-Informática Pública**, Belo Horizonte, v.4, n.1, p.105-119, jun.2002. Disponível em: <<http://www.ip.pbh.gov.br/ip0401.html>>. Acesso em: set.2002.
- [LOP 2002] LOPES, E. C.; ULRICH, S. Tryfona +: um framework estendido para modelar fenômenos espaço-temporais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 4., 2002, Caxambu-MG. **Anais...** Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/prodabel/cde/geoinfo2002/down.html>>. Acesso em: jan.2003.
- [MAT 2001] MATOS, J.; NERY, F.; SILVA, A.; SOUSA, R. Modelação de Sistemas de Informação Geográfica em UML. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 6., 2001, Lisboa. **Actas...** Disponível em: <http://berlin.inesc.pt/alb/papers/2001/ESIG2001_UML.pdf>. Acesso em: jul.2002.
- [MEN 2001] MENEGUETTE, A. A. C. **Curso Virtual de Cartografia e SIG**. Disponível em: <<http://www.prudente.unesp.br/cartosig/index.html>>. Acesso em: nov.2002.
- [MIT 99] MITCHELL, A. **The ESRI Guide to GIS Analysis**. Redlands, California: Environmental System Research Institute, 1999.
- [OGC 2000] OPEN GIS CONSORTIUM. **The OpenGIS abstract specification, topic 6: the coverage type and its subtypes, version 6**. 2002. Disponível em: <<http://www.OpenGIS.org/techno/abstract/00-106.pdf>>. Acesso em ago.2002.
- [OGC 2001] OPEN GIS CONSORTIUM. **The OpenGIS abstract specification, topic 1: feature geometry, version 5**. 2001. Disponível em: <<http://www.OpenGIS.org/techno/abstract/01-101.pdf>>. Acesso em ago.2002.
- [OGC 2002] OPEN GIS CONSORTIUM. **The OpenGIS abstract specification, topic 12: OpenGIS service architecture, version 4.3**. 2002. Disponível em: <<http://www.OpenGIS.org/techno/abstract/02-112.pdf>>. Acesso em ago.2002.

- [OMG 2003a] OBJECT MANAGEMENT GROUP. **OMG Unified Modeling Language Specification**. Versão 1.5, mar.2003. Disponível em: <<http://www.omg.org/technology/documents/formal/uml.htm>>. Acesso em: mar.2003.
- [OMG 2003b] OBJECT MANAGEMENT GROUP. **UML 2.0 Superstructure Specification**. OMG Final Adopted Especification, ago.2003. Disponível em: <<http://www.omg.org/technology/documents/formal/uml.htm>>. Acesso em: ago.2003.
- [PAR 99] PARENT C.; SPACCAPIETRA S.; ZIMANYI, E. Spatio-Temporal Conceptual Models: data structures + space + time. In: ACM SYMPOSIUM ON ADVANCES IN GIS, 7., 1999, Kansas City. **Proceedings...** Disponível em: <<http://lbd.epfl.ch/e/publications/>>. Acesso em: ago.2002.
- [PER 2002] PEREIRA, M. A.; LISBOA FILHO, J. Projeto de Bancos de Dados Geográficos usando a ferramenta CASEGEO. In: WORKSHOP SOBRE GEOPROCESSAMENTO DA UFV, 2002, Viçosa-MG. **Anais...** [S.l.:s.n.], 2002.
- [PIR 97] PIRES, F. **Um ambiente computacional para modelagem de aplicações ambientais**. 1997. 101p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas.
- [QUA 2001] QUATRANI, T. **Modelagem Visual com Rational Rose e UML**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001. 206 p.
- [RAT 2002] RATIONAL SOFTWARE. **Rational Unified Process**. 2002. Disponível em: <<http://www.rational.com/products/rup>>. Acesso em: jan.2003.
- [RIG 2001] RIGAUX, P.; SCHOLL, M.; VOISARD, A. **Spatial Databases: with application to GIS**. [S. l.]: Morgan Kaufmann, 2001.
- [ROC 2001] ROCHA, L. V. ; EDELWEISS, N.; IOCHPE, C. GeoFrame-T: A Temporal Conceptual Framework for Data Modeling. In: ACM SYMPOSIUM ON ADVANCES IN GIS, 9., 2001, Atlanta. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2001.
- [ROC 2001a] ROCHA, L. V. ; IOCHPE, C. ; EDELWEISS, N. **O Framework Conceitual GeoFrame: versão 2.0**. Porto Alegre: Instituto de Informática, UFRGS, 2001. (RP-309).
- [SAF 2002] SAFE SOFTWARE. **Feature Manipulation Engine (FME) Functions, Factories, and Transformers**. 2002. Disponível em: <<http://www.safe.com/evaluation/index.htm>>. Acesso em: ago.2002.
- [SAF 2003] SAFE SOFTWARE. **FME Components: FME Workbench**. 2003. Disponível em: <<http://www.safe.com/products/fme/components/workbench.htm>>. Acesso em: fev.2003.
- [SCH 98] SCHLEICHER, A. et al. **Modeling Dynamic Software Processes in UML**. Technical Report AIB 98-11, RWTH Aachen, Alemanha, 1998. Disponível em: <<http://www-i3.informatik.rwth-aachen.de/research/dynamite/aib-11-98.ps>>. Acesso em: ago.2000.

- [SEF 99] SEFFINO, L. A. et al. WOODSS – A Spatial Decision Support System Based on *Workflows*. **Decision Support Systems**, [S.l.], v.27, n.1-2, p.105-123, 1999.
- [TIM 2001] TIMPF, S. Geographic Task Models for Geographic Information Processing. In: MEETING ON FUNDAMENTAL QUESTIONS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 2001, Manchester. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.geo.unizh.ch/~timpf/pubs.html>>. Acesso em: out.2002.
- [TOM 91] TOMLIN, C. D. Cartographic Modelling. In: MAGUIRE, D. ; GOODCHILD, M. ; RHIND, D. (Org.). **Geographical Information Systems**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991. p. 362-374.
- [TRY 98] TRYFONA, N. Modeling Phenomena in Spatiotemporal Databases: Desiderata and Solutions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATABASE AND EXPERT SYSTEM APPLICATION, 9., 1998, Berlim. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 1998.
- [VIN 2002] VINHAS, L. et al. Programação Genérica Aplicada a Algoritmos Gráficos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 4., 2002, Caxambu-MG. **Anais...** Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/prodabel/cde/geoinfo2002/down.html>>. Acesso em: jan.2003.