

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

ALEXANDRE LORENZATTI

**Ontologia para Domínios Imagísticos:
Combinando Primitivas Textuais e
Pictóricas**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação

Profa. Dra. Mara Abel
Orientador

Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer
Co-orientador

Porto Alegre, janeiro de 2010

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Lorenzatti, Alexandre

Ontologia para Domínios Imagísticos: Combinando Primitivas Textuais e Pictóricas / Alexandre Lorenzatti. – Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2010.

117 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR-RS, 2010. Orientador: Mara Abel; Co-orientador: Claiton M. S. Scherer.

1. Conhecimento visual. 2. Modelo de conhecimento. 3. Ontologia. I. Abel, Mara. II. Scherer, Claiton M. S.. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Pró-Reitor de Coordenação Acadêmica: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador do PPGC: Prof. Álvaro Freitas Moreira

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

*“Ame a todos,
confie em poucos.
Não seja injusto com ninguém.”*
— WILLIAM SHAKESPEARE

AGRADECIMENTOS

Como acredito na existência de um ser superior, primeiramente agradeço a Deus.

Agradeço aos meus pais Antenor Lorenzatti e Neiva de Toni Lorenzatti. Pais, serei sempre grato a vocês por tudo o que me foi proporcionado.

Agradeço especialmente a Professora Mara Abel pela oportunidade, pela orientação conduzida, pelos conselhos que me foram dados e pela formação adquirida. Mara, tu foste uma mãezona, obrigado! Agradeço também ao Professor Claiton Scherer pela orientação e dedicação a este trabalho. Faço aqui um agradecimento ao Professor Eliseo Reategui por ter me oferecido a oportunidade de começar a trabalhar com pesquisa ainda no início do curso de graduação.

Companheiros da “máfia italiana”! Torno a público um agradecimento especial aos colegas de laboratório Joel Carbonera e Sandro Fiorini pelas discussões realizadas ao longo deste trabalho e que contribuíram com os resultados alcançados. Agradeço também aos colegas de laboratório Bruno Nunes, Elizane Maraschin, Vitor Rey e aos demais componentes do grupo BDI.

E por fim, mas de forma alguma menos importante, agradeço minha namorada, Helen Franck, pela paciência e compreensão nos momentos em que estive ausente.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
RESUMO	15
ABSTRACT	17
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Organização dos capítulos	23
2 MODELAGEM CONCEITUAL E ONTOLOGIAS	25
2.1 Modelagem Conceitual	25
2.1.1 Ontologia e Conceitualização	25
2.1.2 Níveis de Formalismo para a Representação de Conhecimento	27
2.1.3 Metapropriedades Ontológicas	30
2.1.4 <i>Unified Foundational Ontology - UFO</i>	32
2.2 Representações Visuais para Modelagem de Conhecimento	35
2.3 Metodologias para a Construção de Ontologias	37
2.3.1 CommonKADS	37
2.3.2 Guia 101	37
2.3.3 On-to-Knowledge	38
2.3.4 METHONTOLOGY	38
2.3.5 ontoKEM	39
2.4 Modelos para Representação de Conhecimento Visual	40
2.4.1 Abordagem 1: Representação Proposicional	40
2.4.2 Abordagem 2: Representação em Três Níveis Semânticos	40
2.4.3 Abordagem 3: Ontologia de Domínio e Ontologia Pictórica	44
2.4.4 Comparativo	45
3 ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR	47
4 AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	57
4.1 Análise do Processo de Aquisição de Conhecimento	61

5	MODELAGEM CONCEITUAL DE CONTEÚDO VISUAL	65
5.1	Formalização de Aspectos Relacionados aos Metaconstrutos	66
5.2	Metaconstrutos de Modelagem para a Representação de Conhecimento Visual	68
5.2.1	Metaconstruto <i>Pictorial Concept</i>	68
5.2.2	Metaconstruto <i>Pictorial Attribute</i>	70
6	UMA ONTOLOGIA DE REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO VISUAL PARA A ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR	73
6.1	Modelagem do conhecimento em Estratigrafia utilizando os metaconstrutos	73
6.1.1	Universais Duradouros	73
6.1.2	Universais Perenes	75
6.1.3	Universais de Qualidade	75
6.1.4	Metaconstrutos visuais	77
6.2	Validação da Expressividade dos Construtos	78
7	CONCLUSÃO	85
7.1	Trabalhos Futuros	87
	REFERÊNCIAS	89
	ANEXO A: NOMENCLATURA DE DESCRIÇÃO	95
	ANEXO B: NOMENCLATURA DE DESCRIÇÃO JUNTAMENTE COM ÍCONES	97
	ANEXO C: ENTREVISTA COM O ESPECIALISTA	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
CI	Critério de Identidade
CBR	<i>Case-Based Reasoning</i>
ER	Entidade Relacionamento
ITL	<i>Intensional Terminological Language</i>
K-graph	<i>Knowledge graph</i>
UFO	<i>Unified Foundational Ontology</i>

LISTA DE FIGURAS

1.1	Extensão do triângulo de Ullmann considerando o Conhecimento Visual como um tipo especial de conceitualização que pode ter uma representação simbólica ou pictórica.	21
2.1	Conceitos e relações com significados diferentes representados por única primitiva respectivamente.	29
2.2	Hierarquia principal de conceitos.	33
2.3	Principais conceitos envolvidos na definição do conceito <i>Universal de Qualidade</i>	33
2.4	Principais conceitos envolvidos na definição do conceitos <i>Tipo, Quantidade e Subtipo</i>	34
2.5	Hierarquia de conceitos Universais Perenes.	35
2.6	Silogismo lógico representado através de linguagem proposicional (a) e na linguagem visual dos Círculos de Euler (b).	36
2.7	Placas de trânsito compostas por símbolos cujos significados são estabelecidos por convenção.	36
2.8	Placas de trânsito compostas por ícones cujos significados assemelham-se a representação.	36
2.9	Grafo de conhecimento da interpretação de um ambiente diagenético do tipo Marinho em clima seco.	41
2.10	Ontologia de conceitos visuais referentes à geometria.	42
2.11	Comunicação entre níveis de descrição das imagens.	42
2.12	Níveis do modelo de representação de conhecimento.	43
2.13	Ontologia de formatos de pássaros com elementos pictóricos.	45
3.1	Diferentes escalas de estudo da Estratigrafia.	48
3.2	Diferentes localizações de ambientes sedimentares.	49
3.3	Afloramento onde rochas não alteradas por erosão estão expostas.	49
3.4	Amostras de rocha em testemunho.	50
3.5	Testemunho de rocha com Fácies Sedimentares em destaque. Foto do autor.	50
3.6	Diferentes tamanhos de partículas de sedimento.	52
3.7	Exemplos de diferentes seleções de partículas de sedimento.	52
3.8	Possíveis níveis de esfericidade assumidos por uma partícula de sedimento.	52
3.9	Possíveis níveis de arredondamento assumidos por uma partícula de sedimento.	53
3.10	Principais classes de estruturas sedimentares.	53

3.11	Estrutura deposicional.	54
3.12	Estrutura Biogênica.	54
3.13	Estrutura Química e Diagenética.	55
3.14	Estrutura de Deformação.	55
3.15	Estrutura de Topo-Base de Camadas.	55
4.1	Fichas utilizadas na etapa.	60
4.2	Relacionamentos básicos entre os conceitos do domínio eliciados na etapa de classificação de fichas.	61
4.3	Características das representações pictóricas elaboradas pelo especialista.	62
5.1	Desenhos e esquemas utilizados por geólogos em relatórios.	66
5.2	Hierarquia de Sortais Rígidos representados pelo metaconstruto <i>Pictorial Concept</i>	69
5.3	Aplicação do metaconstruto <i>Pictorial Concept</i> na representação de uma estrutura sedimentar.	70
5.4	Aplicação do metaconstruto <i>Pictorial Attribute</i> na representação de um valor assumível pelo atributo angularidade.	71
6.1	Hierarquia de tipos de rochas.	75
6.2	Hierarquia de estruturas sedimentares.	75
6.3	Facies Sedimentar e seus atributos.	76
6.4	Diferentes Estruturas Sedimentares e suas respectivas representações pictóricas.	78
6.5	Universal de Qualidade Arredondamento e sua respectiva Dimensão de Qualidade.	78
6.6	Universal de Qualidade Esfericidade e sua respectiva Dimensão de Qualidade.	79
6.7	Universal de Qualidade Geometria e sua respectiva Dimensão de Qualidade.	79
6.8	Universal de Qualidade Seleção e sua respectiva Dimensão de Qualidade.	80
6.9	Universal de Qualidade Angularidade e sua respectiva Dimensão de Qualidade.	80
6.10	Universal de Qualidade Forma das Lâminas e sua respectiva Dimensão de Qualidade.	81
6.11	Média de acertos das associações de termos relacionados a atributos de fácies e estruturas sedimentares.	81
6.12	Média de acertos das associações de acordo com o nível de instrução.	82
6.13	Média de acertos das associações de acordo com o tempo de trabalho mensal dedicado à Estratigrafia Sedimentar.	83

LISTA DE TABELAS

2.1	Níveis de classificação de formalismos de acordo com os tipos de primitivas em que se baseiam.	28
2.2	Comparação entre as abordagens	46
6.1	Classificação dos Universais Duradouros do modelo segundo suas metapropriedades.	76
6.2	Classificação dos Universais Perenes do modelo de acordo com suas características.	77
6.3	Porção do experimento aplicado na avaliação das representações icônicas propostas.	84
7.1	Nomenclatura do atributo Granulometria/ <i>Grain Size</i>	95
7.2	Nomenclatura do atributo Energia/ <i>Energy</i>	95
7.3	Nomenclatura do atributo Nível d'água/ <i>Water level</i>	96
7.4	Nomenclatura do atributo Tipo de corrente/ <i>Current type</i>	96
7.5	Nomenclatura do atributo Esfericidade/ <i>Sphericity</i>	97
7.6	Nomenclatura do atributo Arredondamento/ <i>Roundness</i>	98
7.7	Nomenclatura do atributo Geometria/ <i>Geometry</i>	99
7.8	Nomenclatura do atributo Seleção/ <i>Sorting</i>	100
7.9	Nomenclatura do atributo Angularidade/ <i>Angularity</i>	101
7.10	Nomenclatura do atributo Forma da lâmina/ <i>Laminae shape</i>	102

RESUMO

O avanço tecnológico de dispositivos capazes de capturar e armazenar volumes significativos de imagens permite o armazenamento de grandes quantidades de informações visuais. Uma área de intensa pesquisa atualmente é a extração e modelagem de conhecimento visual contido nessas bases de informações.

O conceito de conhecimento visual e imagem são conceitos disjuntos, mesmo que pareçam intrinsecamente conectados. Conhecimento visual é o conjunto de modelos mentais compostos por imagens de objetos reais ou imaginárias manipuladas pelo cérebro. Esses modelos mentais são aplicados em tarefas cuja solução envolve a análise de informações visuais, como por exemplo, a extração de conteúdo semântico de imagens.

Domínios imagísticos são os domínios nos quais a solução de problemas começa com um processo de casamento de padrões que capturam a informação visual e que mais tarde dará suporte ao processo abstrato da interpretação.

A proposta desta dissertação é a definição de primitivas alternativas para a representação de conhecimento visual através da combinação de construtos proposicionais e pictóricos. Diferentemente de outras abordagens, o conhecimento visual capturado no modelo aqui proposto não reside nas imagens, mas na mente de especialistas.

A captura do conhecimento visual é realizada através de dois metaconstrutos híbridos aplicáveis ao domínio da geologia. Os metaconstrutos são compostos de uma representação proposicional e outra icônica que são utilizadas para fins de comunicação e expressão do conhecimento visual do especialista, respectivamente. O metaconstruto *Pictorial Concept* representa tipos visuais enquanto que o metaconstruto *Pictorial Attribute* representa qualidades dos tipos visuais. Os metaconstrutos aqui definidos foram aplicados ao domínio da Estratigrafia Sedimentar, uma subárea da Geologia, na construção de uma ontologia de domínio com conteúdo visual agregado.

A construção da ontologia de domínio foi realizada através de um processo de aquisição de conhecimento. O conhecimento visual foi eliciado a partir de um especialista, adquirido através da imersão na literatura do domínio e organizado de acordo com metapropriedades e metaconceitos de uma ontologia de fundamentação unificada. A ontologia é aplicada ao domínio da Estratigrafia Sedimentar para rochas siliciclásticas para a descrição de testemunhos e afloramentos. A ontologia inclui uma hierarquia de rochas, estruturas sedimentares e ambientes deposicionais. Foram modelados 36 conceitos com a adição de 60 ícones. A validação do conhecimento visual organizado foi realizada através de experimento empírico onde 21 geólogos utilizaram os ícones sem legenda para descrição de amostras de rocha. O nível de acertos das associações entre feições geológicas e ícones representam 70% para fácies e 66% para estruturas sedimentares sendo identificada uma conclusão positiva entre a experiência do geólogo e o número de acertos.

Palavras-chave: Conhecimento visual, Modelo de conhecimento, Ontologia.

Ontology for Imagistic Domains: Combining Textual and Pictorial Primitives

ABSTRACT

The advances in technological devices allow then to capture and store significant amounts of image data. Nowadays, an intense area of research is the extraction and modeling of the existing visual knowledge in image databases.

The visual knowledge and image concepts are disjointed concepts, even though they seem intrinsically connected. Visual knowledge is the set of mental models composed by images of real or imaginary objects manipulated by the brain. These mental models are applied in tasks, like the extraction of semantic content of images, where the solution requires the analysis of visual information.

Imagistic domains are the domains where the problem-solving process starts with a visual pattern-matching process that captures the information, which will further support the abstract inference process of interpretation.

The proposal of this master thesis is the definition of alternative primitives for the visual knowledge representation, by the combination of both propositional and pictorial constructs. Differently from other approaches, the visual knowledge captured in this model is not identifiable in images, but in the mental models of experts.

The capture of the visual knowledge is reached through the use of two domain-independent hybrid meta-constructs. The meta-constructs are composed by propositional and iconic representations used for communication and to express the expert's visual knowledge. The meta-construct *Pictorial Concept* represents visual kinds while the meta-construct *Pictorial Attribute* represents qualities of the visual kinds. The meta-constructs defined here were applied in the Sedimentary Stratigraphy domain, a sub-area of Geology, in the construction of a domain ontology with aggregated visual content.

The construction of the domain ontology was done through a knowledge acquisition process. The visual knowledge was elicited from the expert, acquired from the immersion in the literature domain and was organized according to meta-properties and meta-concepts based on a foundational ontology. The resulting ontology is applied in the Sedimentary Stratigraphy domain for the description of well cores and outcrops of siliciclastic rocks. The ontology includes hierarchies of rocks, sedimentary structures and depositional environments. In total, 36 concepts were modeled and associated to 60 icons. The validation of the visual knowledge elicited was done through an empirical experiment where 21 geologists applied the unlabeled icon set to describe rock samples. The level of right associative answers between geological features and their icons was 70% for sedimentary facies and 66% for sedimentary structures. Moreover, it was identified a positive correlation between the expert's experience and the number of right answers.

Keywords: Visual knowledge, Knowledge model, Ontology.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo na área de Engenharia do Conhecimento com foco em Modelagem Conceitual. O estudo investiga a construção de modelos ontológicos alternativos que possibilitem a representação do *conhecimento visual* utilizado em *domínios imagísticos*. O estudo de caso deste trabalho é aplicado no domínio da Estratigrafia Sedimentar, uma subárea da Geologia.

A evolução da tecnologia de aquisição e armazenamento de imagens digitais permite que grandes quantidades de informação visual sejam armazenadas. A extração e modelagem do conhecimento visual contido nesses repositórios de informações é alvo de intensa pesquisa.

Existem diferentes abordagens que buscam capturar e representar conhecimento visual, tais como, processamento de imagens, redes neurais, raciocínio baseado em casos e mineração de imagens. As principais abordagens são abordadas e discutidas a seguir.

O trabalho de (SILVA TORRES et al., 2006) propõe a utilização de uma arquitetura baseada em componentes a fim de criar Sistemas de Informação para gerenciar informações heterogêneas relacionadas à Bio-diversidade. A abordagem combina processamento de imagens e informações textuais a fim de integrar consultas envolvendo conteúdo pictórico e textual. O processamento (numérico) de imagens extrai e representa o conteúdo visual através de descritores de imagens (*image descriptors*) que representam características das imagens tais como contornos, formas geométricas e suas relações espaciais.

Redes neurais são aplicadas em atividades como inspeção e controle da qualidade de processos industriais, processamento automático de correspondência, identificação de placas de automóveis, entre outras aplicações. Nessa abordagem, o conhecimento visual extraído das imagens fica retido e representado pelo conjunto de sinapses pertencentes à rede neural. No entanto, as redes neurais apresentam dificuldades quanto ao número elevado de entradas necessárias no processo de treinamento. Isso faz com que a rede neural não consiga classificar adequadamente dados fornecidos posteriormente. Além disso, as redes neurais sofrem do problema conhecido como “caixa-preta” (*black-box*), onde dada uma entrada alguma saída sempre é gerada. Isso é problemático, pois não se sabe por quais motivos essa decisão foi tomada nem o quão útil ela é para o profissional que a utilizará (EGMONT-PETERSEN; RIDDER; HANDELS, 2002).

Raciocínio baseado em casos (*Case-Based Reasoning - CBR*) é outra abordagem utilizada na extração e representação de conhecimento visual sendo comumente aplicada na medicina e indústria. Nessa abordagem, o conhecimento visual é representado pelo conjunto de casos criados a partir das imagens analisadas. A problemática dessa abordagem reside justamente no fato de que o conhecimento visual, utilizado pelos profissionais, permanece retido implicitamente no conjunto de casos que compõem a base (PERNER;

HOLT; RICHTER, 2006).

A mineração de imagens (*image mining*), análoga à mineração de dados, lida com a extração de padrões presentes nas relações entre dados armazenados em imagens. Dessa forma, o conhecimento visual é representado por meio desses padrões que, por vezes, não são representativos ou úteis, da mesma forma que os padrões extraídos na mineração de dados. No entanto, essa abordagem apresenta problemas ainda em aberto, tais como, a dificuldade em detectar quais características das imagens são importantes para a descoberta de padrões visuais significativos e problemas em como representar os padrões visuais de forma a preservar as características das imagens nas representações (HSU; LEE; ZHANG, 2002).

Na análise das abordagens supracitadas, observa-se que aquelas baseadas em redes neurais, CBR e mineração de imagens extraem o conhecimento visual a partir do treinamento do sistema sem reconhecer determinadas características geométricas ou texturais da imagem, do acréscimo de casos à base e da detecção de padrões existentes nos dados acumulados, respectivamente. Entretanto, o conhecimento formalizado por este estudo não reside nas imagens, mas no modelo mental possuído por especialistas que contém o conhecimento visual utilizado na solução de tarefas e que é construído através de anos de treinamento teórico e prático. Com o auxílio de técnicas de aquisição de conhecimento, pode-se fazer com que o especialista socialize e externalize seu conhecimento visual. Posteriormente ao processo de aquisição, o conhecimento extraído é formalizado e representado através de modelos de representação de conhecimento visual, diferentemente das abordagens analisadas anteriormente. Essa é a abordagem utilizada neste trabalho: a representação do conhecimento visual através de modelos alternativos aplicados à sua representação que buscam capturar as conceitualizações ligadas ao conhecimento visual a fim de fornecer meios para formalizar e compartilhar o conhecimento visual de especialistas.

O conceito de conhecimento visual e imagem são conceitos diferentes, mesmo que intuitivamente pareçam intrinsecamente ligados. A forma com que pessoas criam e lidam com representações internas de objetos reais ou imaginários é tratada pela Imagética Visual (*Imagery*). A imagética visual está relacionada à habilidade da mente em criar e manipular imagens mentais, habilidade principalmente vinculada às funções cognitivas de memória, percepção e pensamento.

O triângulo de Ullmann *apud* (GUIZZARDI, 2005) define e explica a relação entre um *Objeto* na realidade, um *Conceito* em uma conceitualização e um *Símbolo* em uma linguagem. As relações estabelecem que conceitos são abstrações de objetos da realidade e que símbolos representam os conceitos para se referir ao objeto na realidade para fins de comunicação. A existência da conceitualização de um *Objeto* é dependente da fidedignidade do processo de abstração ou imaginação de um agente, permitindo assim que as conceitualizações sejam reais ou imaginárias. Os seres humanos lidam com o mundo externo criando e manipulando representações internas compostas de *Conceitos* a fim de saber como atuar no meio em que vivem. *Símbolos* (lingüísticos) são uma das muitas possibilidades através das quais pode-se externalizar um conceito para que se compartilhe uma conceitualização em uma comunidade. No entanto, Ullmann destaca que não existem garantias de que o símbolo refere-se ao objeto inicial da realidade, pois o processo de abstração pode ser modificado por alguma extensão criativa da realidade.

O conceito de conhecimento visual ao qual este trabalho se refere reside no vértice da conceitualização do triângulo de Ullmann, enquanto que o conceito de imagem reside no vértice do símbolo, ou seja, uma imagem é uma representação externa para uma

conceitualização interna.

Conceitos que possuem representações proposicionais e visuais são ambos integrantes da conceitualização e a mente parece manipulá-los de forma distinta. Suas utilizações parecem ser guiadas de acordo com as situações nas quais são empregados, como por exemplo, problemas de localização espacial ou de comunicação. Para separar as representações simbólicas de conceitos proposicionais e das representações pictóricas de conceitos visuais adiciona-se uma nova dimensão ao triângulo de Ullmann. Dessa forma, a representação de um conceito pode ser feita de duas maneiras diferentes: através de um símbolo pertencente a uma linguagem ou através de uma representação pictórica (uma representação imagística como uma imagem, desenho, gráfico ou um ícone). Quando ambas as representações, simbólica e pictórica, referem-se ao mesmo conceito da conceitualização define-se que a relação entre essas duas representações é de *ancoramento* e da mesma forma que a representação simbólica a representação pictórica de um conceito referem-se ao objeto na realidade. A extensão do triângulo de Ullmann é apresentada na figura 1.1.

Baseado no apresentado acima define-se *conhecimento visual* como o conjunto de modelos mentais compostos por imagens de objetos reais ou imaginários, manipuladas pelo cérebro para lidar com tarefas baseadas em imagens, tais como, a interpretação de imagens ou o reconhecimento de padrões na realidade.

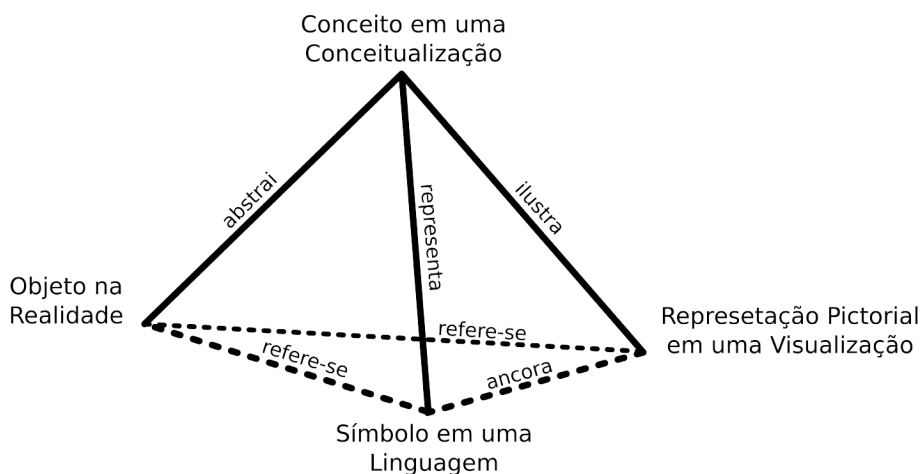


Figura 1.1: Extensão do triângulo de Ullmann considerando o Conhecimento Visual como um tipo especial de conceitualização que pode ter uma representação simbólica ou pictórica.

Domínios imagísticos são os domínios onde o processo de raciocínio começa com o reconhecimento visual de padrões. Esses padrões visuais reconhecidos guiam o processo de raciocínio interpretativo de alto nível (YIP; ZHAO, 1996). De forma mais simples, os domínios imagísticos se caracterizam pela solução de problemas ser baseada em informações visuais onde o processo de raciocínio começa com um casamento de padrões. Esses padrões capturam e abstraem as informações visuais e guiam o processo de interpretação dos profissionais atuantes no domínio. Ornitologia, Medicina e Geologia são exemplos deste tipo de domínio, os quais requerem que os profissionais atuantes utilizem conhecimento visual na análise de informações visuais a fim de identificar e solucionar problemas e tarefas.

Para a formalização e representação de conhecimento visual em domínios imagísticos, este estudo propõe a construção de modelos conceituais alternativos a fim de capturar tam-

bém a porção visual do conhecimento de especialistas atuantes em domínios imagísticos (LORENZATTI et al., 2009). Na construção desses modelos, observa-se também a necessidade de elaborá-los de forma clara e coerente, a fim de evitar inconsistências nas relações taxonômicas como as apresentadas nos exemplos abaixo extraídos de ontologias disponíveis na Web (GUARINO; WELTY, 2000):

1. um objeto físico é uma quantidade de matéria (Pangloss)
2. uma quantidade de matéria é um objeto físico (WordNet)

Estudos e experimentos realizados por (ABEL, 2001) demonstram que especialistas em geologia possuem seu conhecimento visual organizado através de pacotes visuais – *visual chunks* – que são abstrações dos aspectos relevantes de imagens vistas anteriormente, de modo a preservar somente as características que dão suporte a resolução de problemas. Constatou-se também que os especialistas possuem dificuldades em explicitar por completo e de forma puramente verbal seu conhecimento. Além disso, o conhecimento explicitado verbalmente não expressa plenamente o significado desejado e necessita de representação pictórica complementar para sua total compreensão.

Sistemas de software baseados em conhecimento são criados para simplificar ou automatizar a execução de tarefas em domínios altamente especializados. Dessa forma, torna-se necessária a formalização do conhecimento empregado. Os principais problemas enfrentados na formalização do conhecimento visual utilizado no domínio da Estratigrafia Sedimentar são apontados abaixo:

- O vocabulário do domínio é controverso e ambíguo;
- As definições propostas pela literatura não são padronizadas;
- O conhecimento visual reside na mente dos especialistas e esses têm dificuldades em explicitá-lo;
- Os geólogos **têm a necessidade de desenhar** para expressar seu conhecimento visual;
- O conhecimento visual necessita de representações pictóricas complementares para explicitar por completo seu significado;
- Os modelos de representação de conhecimento existentes não abordam formalmente a porção visual do conhecimento.

A hipótese de pesquisa dessa dissertação é que representações de conhecimento que permitam capturar o conteúdo visual de ontologias em domínios imagísticos oferecem melhor suporte à comunicação, documentação e construção de sistemas de conhecimento.

O objetivo desta dissertação é a definição de metaconstrutos híbridos que possuam primitivas de representação proposicionais e pictóricas para a modelagem de conhecimento visual utilizado em domínios imagísticos. Os metaconstrutos híbridos propostos foram utilizados para construir uma ontologia de domínio para a análise faciológica em Estratigrafia Sedimentar, demonstrando portando a viabilidade de sua utilização.

A construção da ontologia de domínio é realizada através de um processo de aquisição de conhecimento. Nesse processo, são eliciados os conceitos do domínio juntamente com

as representações pictóricas necessárias. Com o objetivo de construir modelos de representação de conhecimento visual coerentes e que não possuam inconsistências, nesta dissertação utilizam-se metapropriedades ontológicas selecionadas por Guarino e metaconceitos definidos pela ontologia de fundamentação unificada – UFO - *Unified Foundation Ontology* proposta por Guizzardi. A utilização dessas ferramentas permite maior precisão na definição e transmissão do significado dos conceitos. A validação da ontologia de domínio criada é realizada por meio de experimento empírico onde avalia-se o conjunto de conceitos eliciados e o grau de expressividade das representações pictóricas propostas para sua representação.

As contribuições específicas desta dissertação são:

- Metaconstrutos para representar o conhecimento visual. Esses metaconstrutos permitem a representação do conhecimento visual através da associação das representações proposicionais e pictóricas de conceitos;
- Formalização do conhecimento visual dos especialistas através de uma ontologia de domínio com conteúdo pictórico agregado.

A seção seguinte apresenta a organização dos capítulos.

1.1 Organização dos capítulos

Este volume encontra-se organizado da seguinte forma. O capítulo 2 descreve o estado da arte em modelagem conceitual e, especificamente, modelagem de conhecimento visual. São apresentadas primitivas e abordagens de modelagem, metodologias aplicadas a construção de ontologias, conceitos que abordam representações visuais de conhecimento e modelos de representação de conhecimento visual.

O capítulo 3 apresenta uma visão compreensiva do domínio da Estratigrafia Sedimentar, domínio utilizado como estudo de caso deste trabalho.

O processo de aquisição de conhecimento realizado neste trabalho é descrito no capítulo 4. São descritas as técnicas aplicadas, etapas e resultados.

O capítulo 5 descreve os requisitos do domínio que devem ser atendidos para a construção do modelo. Esse capítulo também descreve os metaconstrutos utilizados na criação do modelo de representação de conhecimento visual.

O modelo de representação de conhecimento visual é apresentado no capítulo 6. O capítulo também apresenta a aplicação do modelo no domínio da Estratigrafia Sedimentar e o experimento realizado para validá-lo.

O capítulo 7 apresenta as conclusões finais, as limitações e os possíveis trabalhos futuros a fim de expandir o estudo apresentado.

2 MODELAGEM CONCEITUAL E ONTOLOGIAS

Este capítulo apresenta uma revisão sobre modelagem de conhecimento onde aborda-se uma metodologia utilizada na análise de propriedades e relações taxonômicas a fim de avaliar as decisões tomadas no processo de construção de modelos de representação de conhecimento (seção 2.1). A seguir, na seção 2.2, apresentam-se conceitos utilizados na fundamentação e criação das representações pictóricas para representar o conhecimento visual. A seção 2.3 apresenta metodologias para a construção de ontologias. Ao final deste capítulo, a seção 2.4 apresenta uma revisão de modelos de representação de conhecimento visual encontrados na literatura.

2.1 Modelagem Conceitual

A modelagem conceitual é encarregada de identificar, analisar e descrever os conceitos essenciais assim como as restrições de um domínio. Essa tarefa é realizada com o auxílio de uma linguagem (diagramática) baseada em um conjunto de metaconceitos (GUIZZARDI et al., 2004).

A modelagem ontológica, no entanto, é encarregada de capturar conceitos relevantes de um domínio em uma ontologia de domínio utilizando uma linguagem de especificação de ontologias. Essa linguagem é baseada em um pequeno conjunto básico, independente de domínio, de categorias ontológicas (GUIZZARDI et al., 2004).

A relação entre conceito, representação e entidade real é definida pelo triângulo de Ullmann *apud* (GUIZZARDI, 2005). Ao longo deste trabalho, o objeto da conceitualização referenciado é chamado de **conceito**, **relação**, **propriedade** ou **domínio de valor** e a expressão de uma linguagem que remete-se a um objeto de conceitualização será chamada **representação**.

2.1.1 Ontologia e Conceitualização

A definição de ontologia modificou-se ao longo do tempo. Uma das primeiras definições de ontologia utilizada pela Engenharia de Conhecimento, proposta por Neches (NECHES et al., 1991), define ontologia como o vocabulário de um domínio (termos e relações entre termos) associado ao conhecimento existente por trás desse vocabulário. Uma definição muito citada é a de Gruber (GRUBER, 1993) onde uma ontologia é a especificação explícita de uma conceitualização. Studer (STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998) uniu as definições propostas por Gruber e Borst (BORST, 1997) definindo ontologia como uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada (GÓMES-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; CORCHO, 2004).

Na filosofia, ontologia é definida como um sistema de categorias que representam uma

determinada visão do mundo independente da linguagem empregada para representá-la (GUARINO, 1998). Na comunidade de Inteligência Artificial - IA, ontologia é comumente definida como um artefato de engenharia construído com um vocabulário específico, utilizado na descrição de uma certa realidade, e um conjunto de suposições que definem o significado intensional dos vocábulos. De forma simplificada, uma ontologia descreve uma hierarquia de conceitos e em casos mais específicos apresenta axiomas que expressam a relação entre eles assim como restringem sua interpretação (GUARINO, 1998).

Segundo Guarino (GUARINO, 1998), as duas definições (filosófica e computacional) estão relacionadas. No entanto, ele propõem uma diferenciação terminológica. Assim, o artefato de engenharia é definido como *ontologia* enquanto que a visão filosófica é definida como *conceitualização*. Dessa forma, duas ontologias podem possuir vocabulários diferentes e compartilhar uma mesma conceitualização.

Nesse mesmo trabalho, Guarino sustenta que deve-se focar na representação do significado das relações, ou seja, as relações intensionais, chamadas de relações conceituais. Para tal, Guarino define conceitualização formalmente.

As relações conceituais são definidas sobre um espaço de domínio (*domain space*), representado pela estrutura 2.1, onde D é um domínio e W é o conjunto de estados possíveis do domínio (mundos possíveis).

$$\langle D, W \rangle \quad (2.1)$$

Conceitualização é um conjunto de relações conceituais definidas sobre um espaço de domínio. Uma conceitualização é representada pela tripla 2.2, onde \mathfrak{R} é o conjunto de relações conceituais para o espaço de domínio $\langle D, W \rangle$.

$$C = \langle D, W, \mathfrak{R} \rangle \quad (2.2)$$

Seja $\langle D, R \rangle$ uma estrutura de mundo onde D é um domínio e R o conjunto de relações em D . Uma conceitualização contém várias dessas estruturas. Elas são chamadas de estruturas pretendidas de mundo (*intended world structures*) onde para cada mundo possível $w \in W$ a estrutura pretendida de w de acordo com C é a estrutura 2.3 onde R_{w_C} é o conjunto de relações da estrutura pretendida no mundo w da conceitualização C . O conjunto de todas as estruturas intensionais de C é denotado por 2.4.

$$S_{w_C} = \langle D, R_{w_C} \rangle \quad (2.3)$$

$$S_C = \{S_{w_C} | w \in W\} \quad (2.4)$$

Considerando-se uma linguagem lógica L com um vocabulário V , pode-se definir um modelo para L através da estrutura $\langle S, I \rangle$ onde $S = \langle D, R \rangle$ é uma estrutura de mundo e $I : V \rightarrow D \cup R$ é uma função de interpretação que atribui elementos de D a símbolos constantes de V e elementos de R a símbolos de predicados de V . De forma análoga, uma interpretação intensional é representada pela estrutura 2.5, onde $C = \langle D, W, \mathfrak{R} \rangle$ é uma conceitualização e $\mathfrak{S} : V \rightarrow D \cup \mathfrak{R}$ é uma função que atribui elementos de D para símbolos constantes de V e elementos de \mathfrak{R} para símbolos de predicados de V . Essa interpretação intensional é chamada por Guarino de compromisso ontológico (*ontological commitment*) para L .

$$\langle C, \mathfrak{S} \rangle \quad (2.5)$$

Sendo $K = \langle C, \mathfrak{S} \rangle$ um compromisso ontológico para L , afirma-se que L compromete-se com C por meio de K enquanto que C é a conceitualização subjacente de K .

Dada uma linguagem L com vocabulário V e compromisso ontológico $K = \langle C, \mathfrak{S} \rangle$, um modelo $\langle S, I \rangle$ será compatível com K se:

1. $S \in S_C$, ou seja, a estrutura de mundo S pertence ao conjunto de estruturas de mundo da conceitualização C ;
2. para cada constante c , $I(c) = \mathfrak{S}(c)$;
3. existe um mundo w tal que para cada símbolo de predicado p , I mapeia tal predicado a uma extensão admissível $\mathfrak{S}(p)$, isto é, existe uma relação conceitual \mathcal{X} tal que $\mathfrak{S}(p) = \mathcal{X} \wedge \mathcal{X}(w) = I(p)$.

O conjunto $I_K(L)$ de todos os modelos de L que são compatíveis com K é chamado de o conjunto de modelos intensionais de L concordando com K .

Uma ontologia O para uma linguagem L se aproxima de uma conceitualização C se existe um compromisso ontológico $K = \langle C, \mathfrak{S} \rangle$ de tal forma que os modelos intensionais de L de acordo com K estão incluídos nos modelos de O . Uma ontologia compromete-se com C se:

1. ela foi criada com a proposta de caracterizar C ;
2. ela aproxima-se de C .

Uma linguagem L compromete-se com uma ontologia O se ela compromete-se com uma conceitualização C , tal que O concorda com C .

Por fim, Guarino define ontologia como uma teoria lógica reponsável pelos modelos intensionais de um vocabulário formal, isto é, seu compromisso ontológico à uma conceitualização particular do mundo. Assim, os modelos intensionais de uma linguagem lógica usando tal vocabulário são restringidos por seu compromisso ontológico. Uma ontologia reflete indiretamente seu compromisso (e sua conceitualização subjacente) aproximando-se de seus modelos intensionais (GUARINO, 1998).

Neste trabalho, busca-se propor modelos de representação de conhecimento visual que mantenham o compromisso ontológico com o objeto da representação que somente pode ser descrito com a combinação de representações conceituais e pictóricas.

2.1.2 Níveis de Formalismo para a Representação de Conhecimento

A atividade de modelagem de conhecimento tem como responsabilidade e objetivo a elaboração de modelos que correspondam aos domínios representados. Essa correspondência facilita os processos de interação e comunicação entre agentes (sejam eles de software ou pessoas) (GUARINO, 1995).

A análise ontológica dos modelos de representação de conhecimento permite que se evite a criação de modelos conceitualmente errôneos. A lógica de primeira ordem é neutra em relação às escolhas ontológicas. Isso é um ponto forte e demonstra o poder de expressão de idéias genéricas. No entanto, essa neutralidade não é uma vantagem no campo das teorias ou linguagens de representação de conhecimento, pois tais formalismos e as escolhas ontológicas feitas pelos usuários devem corresponder ao domínio modelado (GUARINO, 1995).

Dessa forma, torna-se necessário uma maneira de restringir e tornar explícitos os modelos intensionais de uma linguagem de representação de conhecimento, e por consequência o significado de suas primitivas, a fim de facilitar sua integração em larga escala e limitar a possibilidade de se criar algo processável por sistemas computacionais mas não tão útil e intuitivo para pessoas. O trabalho (GUARINO, 1995) apresenta níveis classificatórios de formalismos, utilizados na representação de conhecimento, de acordo com os tipos de primitivas utilizadas. A tabela 2.1 (extraída de (GUARINO, 1995)) apresenta de forma sucinta os níveis de formalismos que são descritos na seqüência.

Tabela 2.1: Níveis de classificação de formalismos de acordo com os tipos de primitivas em que se baseiam.

Nível	Primitivas	Interpretação	Principal característica
Lógico	Predicados e funções	Arbitrária	Formalização
Epistemológico	Relações estruturais	Arbitrária	Estrutura
Ontológico	Relações ontológicas	Restrita	Significado
Conceitual	Relações conceituais	Subjetiva	Conceitualização
Linguístico	Termos linguísticos	Subjetiva	Dependência de linguagem

No *nível lógico*, as primitivas básicas são predicados e funções, as quais oferecem uma semântica formal em termos de relações entre objetos do domínio. Nenhuma suposição é feita em relação à natureza das relações, as quais são genéricas e independentes de conteúdo. Este nível é o da formalização, ou seja, permite a interpretação formal das primitivas. Porém, suas interpretações são arbitrárias.

Epistemologia é definida como o campo da filosofia que lida com a natureza e as fontes de conhecimento. O estudo da natureza do conhecimento é limitado a sua forma e significado superficial. O nível lógico possui primitivas extremamente gerais enquanto que no nível conceitual as primitivas adquirem significado como um todo e sem quaisquer preocupações em relação a sua estrutura interna. O *nível epistemológico*, introduzido por Brachman (BRACHMAN, 1979), tem o objetivo de aproximar o nível lógico do nível conceitual. O significado dos conceitos estabelecidos no nível conceitual são independentes de linguagem e as primitivas desse nível adquirem significado como um todo. Esse significado é definido no nível epistemológico através da definição da estrutura interna do conceito, ou seja, pela utilização de primitivas que permitem descrever os atributos inerentes àquele conceito. Uma teoria construída neste nível é diferente de uma construída no nível lógico, pois ela assume **implicitamente** algumas escolhas que possuem relevância cognitiva e computacional, refletindo certos compromissos ontológicos.

A linguagem de representação de Entidades e Relacionamentos (ER) utilizada na modelagem de bancos de dados é um exemplo de linguagem construída no nível epistemológico, pois suas primitivas possuem semântica definida implicitamente. A figura 2.1 apresenta um exemplo onde diferentes conceitos (no sentido ontológico) são modelados através da mesma primitiva assim como suas relações. A relação entre as entidades *Departamento* e *Funcionário* (no domínio de recursos humanos) é de **membro** enquanto que a relação entre as entidades *Carro* e *Peça* (no domínio de linhas de produção) é de **componente funcional**. Da mesma forma que as relações, as entidades são representadas através das mesmas primitivas onde seus respectivos significados permanecem implícitos e suas interpretações ficam ao encargo dos que utilizam os diagramas.

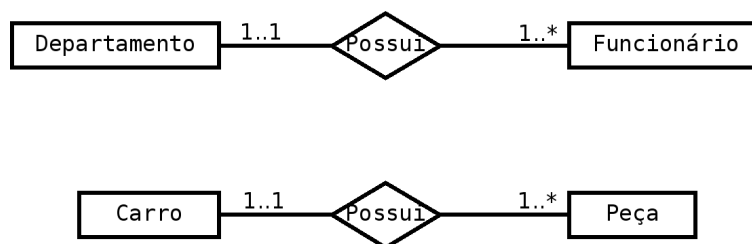


Figura 2.1: Conceitos e relações com significados diferentes representados por única primitiva respectivamente.

Diferentemente do nível epistemológico, os compromissos ontológicos associados às primitivas são **explicitamente** definidos no *nível ontológico*. Tal definição pode ser feita de duas maneiras:

- restringindo a semântica das primitivas;
- introduzindo postulados expressos na própria linguagem.

A aplicação de metapropriedades (vide seção 2.1.3) às primitivas é um exemplo onde restringe-se sua semântica a fim de reduzir o conjunto de interpretações possíveis. Definir que uma primitiva não possui *rigidez ontológica* implica saber que os conceitos representados por ela não são necessariamente constantes no tempo.

O trabalho de (GUARINO, 1991) apresenta uma linguagem terminológica intensional (ITL - *Intensional Terminological Language*) derivada da linguagem Prolog. Sua diferença encontra-se na definição intensional da semântica dos construtos como por exemplo o construto *is*, utilizado na qualificação de objetos específicos (um indivíduo) e objetos genéricos (uma classe de indivíduos).

Tanto na definição de objetos específicos como na de objetos genéricos, o objetivo é restringir as possíveis interpretações definindo o significado das categorias ontológicas utilizadas na descrição de domínios. O nível ontológico é o nível dos significados. No entanto, deve-se observar que a definição do significado é geralmente incompleta resultando em uma aproximação do conjunto de modelos intensionais expressos em um formalismo deste nível.

No *nível conceitual*, as primitivas possuem uma interpretação cognitiva definitiva e correspondente a conceitos independentes de linguagens. A estrutura básica do domínio é fornecida independentemente da explicitação do compromisso ontológico. Dessa forma, o usuário é forçado a representar o conhecimento através da especialização da estrutura básica fornecida. Ontologias de topo definem primitivas no nível conceitual, como as primitivas objeto, processo, razão, intenção definidas por Sowa (SOWA, 1999).

O *nível lingüístico* relaciona diretamente suas primitivas com verbos e substantivos. As linguagens de programação são exemplos deste nível (GUARINO, 1995).

Neste trabalho, busca-se definir primitivas de representação no nível ontológico que expressam o significado dos conceitos modelados de forma independente da linguagem e do raciocínio. Essas primitivas são construídas tomando como base o conjunto de primitivas ontológicas selecionadas pela Ontologia de Fundamentação de Base proposta por Guizzardi em (GUIZZARDI, 2005).

2.1.3 Metapropriedades Ontológicas

A construção de modelos de representação de conhecimento e ontologias é uma prática realizada de acordo com as demandas de cada projeto ou instituição o que implica em deficiências na eficácia dos processos. No entanto, devido à construção de sistemas de informação baseados em conhecimento, representado através de ontologias, torna-se necessário que o processo de construção dessas ontologias seja efetuado de forma ágil, coerente e sistemática (GUARINO; WELTY, 2002).

Criada na década de 1990 ((GUARINO, 1992), (GUARINO et al., 1994)) e estendida com o trabalho (GUARINO; WELTY, 2000) OntoClean é uma metodologia independente de domínio utilizada na análise do significado de propriedades e suas relações taxonômicas a fim de verificar suas adequações ontológicas (GUARINO; WELTY, 2004).

A análise é realizada através do emprego de metapropriedades baseadas em noções ontológicas gerais, oriundas da filosofia, tais como *essência*, *identidade*, *unidade* e *dependência*. As metapropriedades representam diferentes aspectos e impõem restrições sobre as relações taxonômicas.

A modelagem conceitual da realidade inicia sempre com a seleção dos objetos a serem modelados e seu alinhamento a primitivas de representação. A correta escolha dos objetos e dos construtos que melhor os representam é questão chave na construção de modelos operacionais, extensíveis e interoperáveis. A análise das metapropriedades tem se mostrado uma ferramenta importante na avaliação das escolhas feitas durante a construção de ontologias.

Propriedades essenciais caracterizam-se por serem sempre verdadeiras a um indivíduo em quaisquer situações. A propriedade de *POSSUIR UM CÉREBRO* é essencial para humanos. Assim, para um ser humano se caracterizar como tal ele deve possuir um cérebro em qualquer situação. *Rigidez* é uma forma especial de essencialidade. Ela possui três variações, *rígida*, *semirrígida* e *antirrígida*, representadas respectivamente por **+R**, **-R** e **~R**. Para classificar e rotular propriedades utiliza-se a notação do exemplo a seguir: uma propriedade ϕ é rotulada como ϕ^{+R} se for classificada como rígida.

Uma propriedade é classificada como rígida se ela é essencial para todos os indivíduos que a possuem, ou seja, todas as instâncias da propriedade não podem deixar sê-la. *SER UM HUMANO* é um exemplo de propriedade rígida, pois todo humano é necessariamente um. A propriedade *TER DUREZA* não é essencial para todos os martelos, por exemplo. Não é essencial que martelos de brinquedo possuam dureza, enquanto que é para martelos utilizados como ferramenta de trabalho. Propriedades que são essenciais para algumas de suas instâncias mas não para outras são classificadas como semirrígidas. Propriedades que não são essenciais para todas suas instâncias são classificadas como antirrígidas. *ESTUDANTE* é um exemplo desse tipo de propriedade, pois um indivíduo pode passar a ser e deixar de ser um estudante a qualquer momento, sem perder sua identidade. A metapropriedade rigidez impõe restrições às relações de herança, assim, propriedades antirrígidas não podem ser especializadas por propriedades rígidas. Como exemplo, caso um indivíduo que possua a propriedade *SER UM HUMANO* deixar de tê-la, esse indivíduo perderá seu critério de identidade e além disso cessará sua existência. Isso não acontece, por exemplo, com um indivíduo que possui a propriedade *ESTUDANTE*, pois esse indivíduo pode deixar de ser um estudante sem perder seu critério de identidade e sem cessar sua existência. Por esse motivo que a propriedade *SER UM HUMANO* não pode especializar a propriedade *ESTUDANTE*, pois se assim o fosse ela iria herdar tal característica gerando uma inconsistência.

Identidade refere-se ao problema de reconhecer uma instância específica entre todas

as instâncias de uma propriedade através de características intrínsecas para aquela instância e que dessa forma a tornam única. Para tal tarefa utiliza-se o conceito de *critério de identidade - CI*. O critério de identidade envolve a análise de condições e características que permitem a identificação de uma mesma pessoa em diferentes pontos no tempo, por exemplo. Em uma taxonomia, conceitos podem herdar CIs e assim são ditos que carregam algum CI. Conceitos que apenas carregam o CI herdado são rotulados com a metapropriedade **+I**. Conceitos que possuem seus próprios CIs além de carregar os herdados são rotulados com a metapropriedade **+O** (onde **O** vem do inglês “own”). A propriedade *PESSOA* é rotulada com a metapropriedade **+O** por possuir seu próprio CI. Uma pessoa pode assumir o papel de estudante em algum momento da vida. Assim, um estudante é uma pessoa e dessa forma herda suas características. No entanto, a propriedade *ESTUDANTE* apenas carrega o CI herdado de *PESSOA*, logo é rotulada com a metapropriedade **+I**. Propriedades que geralmente representam atributos como a propriedade *VERDE* não possuem CI, logo são rotuladas com **-I**. Da mesma forma que rigidez, esta metapropriedade também impõe restrições às relações de herança. Uma propriedade que carrega um CI (**+I**) não pode ser especializada em uma propriedade que não carrega um CI (**-I**). A propriedade *PESSOA* não pode ser especializada pela propriedade *VERDE*, por exemplo.

A metapropriedade unidade aborda o problema da identificação das partes e limites dos objetos. Esta metapropriedade permite analisar a composição das partes de um objeto, quando ele é unitário (proveniente do inglês *whole*) ou uma soma de objetos unitários (soma mereológica). O conjunto de condições necessárias para determinar se as propriedades possuem instâncias ou indivíduos unitários é chamado de *critério de unidade*. Propriedades em que todas instâncias são unitárias e carregam o mesmo critério de unidade são rotuladas com **+U**. Instâncias da propriedade *SER UM LAGO* são um exemplo, por possuírem seus limites bem definidos. Propriedades que possuem instâncias que são unitárias mas que carregam diferentes critérios de unidade são rotuladas com **-U** (não carrega unidade). A propriedade *SER UM AGENTE LEGAL* é um exemplo se pessoas e empresas pertencerem ao conjunto de instâncias possíveis. E por fim, propriedades cujas instâncias não necessariamente são unitárias são rotuladas com **~U** (carrega antiunidade). *SER (UMA QUANTIDADE DE) ÁGUA* é um exemplo de propriedade cujos indivíduos não são unitários. Esta metapropriedade também impõe restrições às relações de herança. Uma propriedade que carrega unidade (**+U**) não pode especializar uma que carrega antiunidade (**~U**). A propriedade, *SER UM LAGO* não pode especializar a propriedade *SER (UMA QUANTIDADE DE) ÁGUA*, por exemplo, o que parece intuitivamente correto. Na realidade, um lago é constituído por água e não é a própria água.

O conceito de dependência abordado pela metodologia é específico. Ele trata da *dependência externa* entre duas propriedades. Essa dependência existirá quando todas as instâncias x_i de uma propriedade X necessitam que exista alguma instância y_j de uma propriedade Y , de tal forma que y_j não seja parte (P) ou não constitua (C) x_i . Uma propriedade que é externamente dependente a outra é rotulada com a metapropriedade **+D**. Caso contrário, é rotulada com **-D**. A propriedade *PAI* é considerada externamente dependente da propriedade *FILHO*, pois não é possível a existência de um pai (biologicamente falando) sem que exista um filho. No entanto, a propriedade *PESSOA* não é externamente dependente da propriedade *CORPO*, pois uma pessoa é **constituída** por um corpo. Da mesma forma que as metapropriedades anteriores, esta também impõe restrições às relações de herança. Uma propriedade externamente dependente não pode ser especializada por outra propriedade que não é. A relação de dependência externa apresentada na

definição 2.6 é definida por (GUARINO; WELTY, 2000) (definição 7).

$$\forall x \square (X(x) \rightarrow \exists y Y(y) \wedge \neg P(y, x) \wedge \neg C(y, x)) \quad (2.6)$$

As metapropriedades buscam explicitar restrições ontológicas no nível do conhecimento sobre os objetos da modelagem, em oposição às linguagens de modelagem, cujas restrições se referem mais comumente ao nível sintático.

2.1.4 *Unified Foundational Ontology - UFO*

A proposta de uma ontologia de fundamentação unificada é a negociação de significado, seja pelo estabelecimento da cooperação entre agentes artificiais, seja pelo estabelecimento de um consenso numa sociedade onde agentes artificiais interagem com seres humanos (GANGEMI et al., 2002).

O trabalho de Guizzardi (GUIZZARDI, 2005) propõe uma ontologia de fundamentação unificada que possa ser utilizada para prover fundamentação ontológica à construção de modelos conceituais assim como oferecer semântica real às linguagens de modelagem conceitual. Na seqüência, alguns dos conceitos abordados por Guizzardi e utilizados neste trabalho são apresentados.

Abaixo são apresentados os conceitos estruturantes abordados por Guizzardi¹. A organização dos conceitos é apresentada na figura 2.2 (adaptada de (GUIZZARDI, 2005)).

Universais - *Universals* - representam conceitos abstratos de alto nível que caracterizam diferentes classes de indivíduos. São exemplos de Universais: *árvore, rocha, eucalipto, metalúrgico, comprimento, sentimento, assoreamento, pântano e avalanche*.

Universais Duradouros² - *Endurant Universals* - são classes de indivíduos que estão presentes por completo, isto é, suas partes os acompanham sempre, sem que sua identidade varie ao longo do tempo. *Árvore, rocha, eucalipto, metalúrgico, comprimento e sentimento* são exemplos de Universais Duradouros.

Universais Perenes³ - *Perdurant Universals* - representam classes de indivíduos cuja identidade se dá pelo acúmulo de partes temporais fixas no tempo. *Assoreamento, pântano e avalanche* são exemplos deste universal.

Universais de Substância - *Substantial Universals* - representam classes de indivíduos que não são inerentes a outros indivíduos, ou seja, sua existência não depende da existência de outros. *Árvore, rocha, eucalipto e metalúrgico* exemplificam este universal.

Universais de Momento⁴ - *Moment Universals* - são inerentes a outros indivíduos, ou seja, existirão somente durante a existência de outro indivíduo. *Comprimento e sentimento* são exemplos de Universais de Momento. Eles existirão somente durante a existência de algum indivíduo que os possuirá.

A seguir são apresentados os principais conceitos envolvidos na definição do conceito *Quality Universal*. Sua organização é apresentada na figura 2.3 (adaptada de (GUIZZARDI, 2005)).

Universais de Qualidade - *Quality Universals* - são classes de indivíduos que representam qualidades e são inerentes a um único indivíduo. *Comprimento* é exemplo de

¹Juntamente com o termo traduzido para o português, apresenta-se o termo em inglês a fim de evitar a perda de significado.

²A utilização do termo “Duradouro” está relacionada à conservação dos critérios de identidade ao longo do tempo.

³O termo “Perene” é utilizado aqui no sentido de continuidade no tempo.

⁴O termo “Momento” aqui utilizado não tem relação com intervalos curtos de tempo. Sua utilização está relacionada à teoria de acidentes individuais proposta por Aristóteles (GUIZZARDI, 2005).

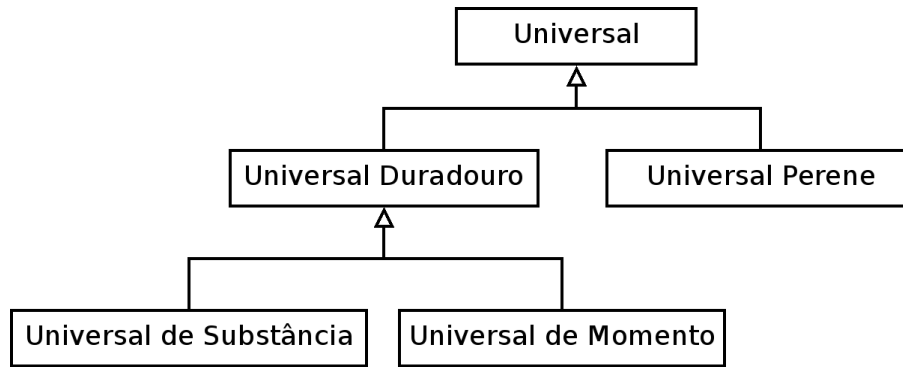


Figura 2.2: Hierarquia principal de conceitos.

Universal de Qualidade, diferentemente de *sentimento*, que é um Universal de Modo - *Mode Universal*. Universais de Modo são os universais inerentes a outros universais e representam conceitos como Sintoma, por exemplo, enquanto que Universais de Qualidade são os universais inerentes a outros universais, associados a uma dimensão de qualidade.

Dimensão de Qualidade - *Quality Dimension* - são Estruturas de Qualidade que representam um conjunto de valores (*Qualia*) ao qual um Universal de Qualidade se relaciona. Esse conjunto representa os possíveis valores que o Universal de Qualidade pode assumir. No caso do Universal de Qualidade *comprimento* a Dimensão de Qualidade a qual ele se relaciona é o conjunto dos reais positivos (\mathbb{R}^+). *Quale* descreve a posição em uma Dimensão de Qualidade onde um Universal de Qualidade se posiciona, ou seja, o valor assumido pelo Universal de Qualidade é definido pelo conceito *Quale*.

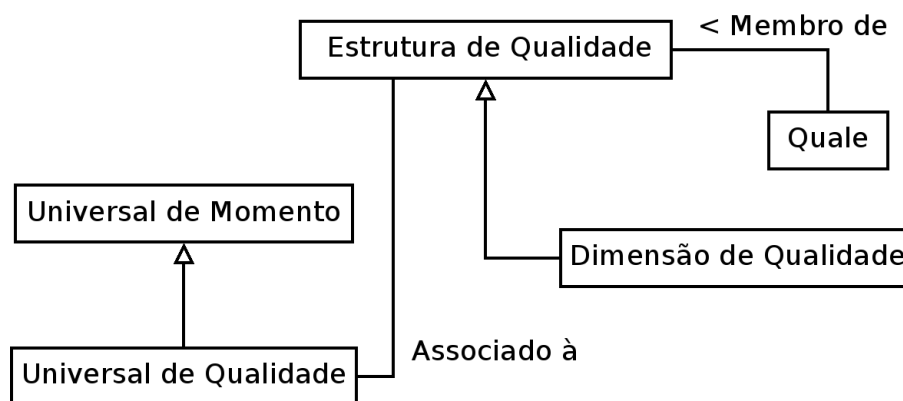


Figura 2.3: Principais conceitos envolvidos na definição do conceito *Universal de Qualidade*.

A organização dos conceitos abordados abaixo é apresentada na figura 2.4 (adaptada de (GUIZZARDI; WAGNER, 2005)).

Sortais Rígidos - *Rigid Sortals* - representam a classe de indivíduos que possuem rigidez ontológica, ou seja, em todos os mundos possíveis (no sentido modal) o indivíduo não deixa de pertencer a classe. *Árvore*, *rocha* e *eucalipto* são exemplos de Sortais Rígidos no entanto *metalúrgico* não é um Sortal Rígido pois um indivíduo pode passar ou deixar de ser um metalúrgico ao longo do tempo.

Sortal de Substância - *Substance Sortal* - é a classe de indivíduos que lhes fornece seu critério de identidade. São exemplos o conceito *árvore* e o conceito *rocha*.

Tipo - *Kind* - representa a classe de indivíduos cujas instâncias são complexos funcionais. *Árvore* é um exemplo de Tipo.

Quantidade - *Quantity* - representa indivíduos que referem-se à porções de substâncias. Essas substâncias estão relacionadas a termos incontáveis da linguagem natural tais como terra, água, sal e fermento. *Rocha* é um exemplo de Quantidade.

Subtipo - *SubKind* - representa um tipo rígido que não fornece mas herda um critério de identidade. *Eucalipto* é um exemplo de Subtipo do conceito *árvore*, do qual herda seu critério de identidade.

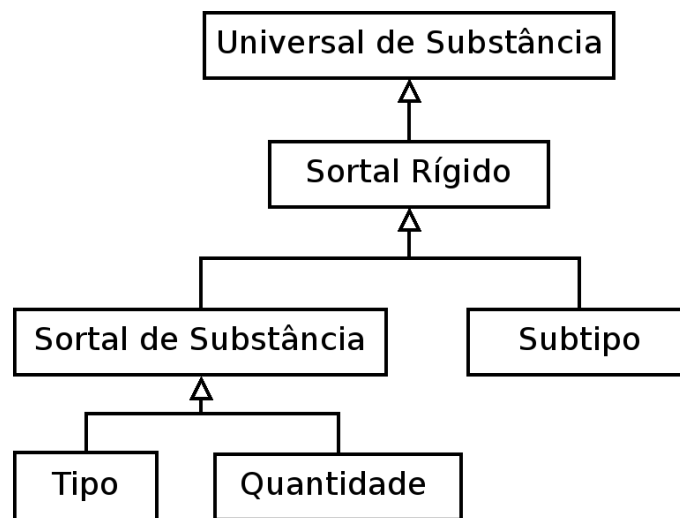


Figura 2.4: Principais conceitos envolvidos na definição dos conceitos *Tipo*, *Quantidade* e *Subtipo*.

Todos os conceitos apresentados acima compõem a Ontologia de Fundamentação Unificada-A (*Unified Foundational Ontology - UFO-A*). Os conceitos apresentados abaixo são abordados em (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008) e constituem a *UFO-B*. Sua organização é apresentada na figura 2.5 (adaptada de (GUIZZARDI; WAGNER, 2005)).

Estado - *State* - representa conceitos onde as partes temporais têm a mesma natureza que o todo, ou seja, são conceitos homeoméricos. *Pântano* é um exemplo deste universal, pois suas partes temporais podem ser descritas da mesma forma que o todo.

Evento Complexo - *Complex Event* é caracterizado pela ocorrência seqüencial ou paralela de eventos atômicos, complexos (uma avalanche, por exemplo) ou participações. O processo de *assoreamento* de um rio é um exemplo.

Os trabalhos de (GANGEMI et al., 2002, 2003) apresentam uma relação entre Universais Duradouros (*Endurants*) e Universais Perenes (*Perdurants*) que é a relação de *participação*. Um universal duradouro “vive” no tempo participando de um universal perene. A exemplo, pessoa (universal duradouro) pode participar de uma conversa (universal perene). Vida de uma pessoa também é um universal perene, do qual uma pessoa participa durante toda sua duração.

Os conceitos apresentados nesta seção serão utilizados nos capítulos 5 e 6 com o objetivo de explicitar o significado da modelagem conceitual realizada.

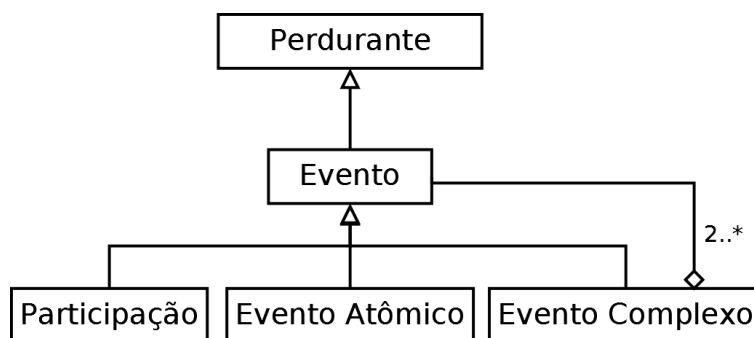


Figura 2.5: Hierarquia de conceitos Universais Perenes.

2.2 Representações Visuais para Modelagem de Conhecimento

Um conceito é uma representação mental, logo abstrata, inferido a partir da análise das propriedades essenciais e comuns observadas em um conjunto de indivíduos específicos (POSNER, 1993).

Uma representação caracteriza-se por uma entidade estar por outra, ou seja, uma entidade assume o papel de representar outra. Além disso, uma representação caracteriza-se pelo conjunto de relações entre o representante e o representado (GURR, 1999). Estabelecem-se representações para conceitos desde que os agentes (pessoas, agentes de *software*) envolvidos no processo concordem que a relação entre representação (representante) e conceito (representado) seja satisfeita (STEELS, 2007).

A representação de conhecimento por meio de linguagens sentenciais faz com que a sua interpretação ocorra através da concatenação dos símbolos utilizados. No entanto, pode-se explorar as propriedades intrínsecas dos sistemas de representação de linguagens visuais para se obter a correspondência direta entre as propriedades das representações e as propriedades dos conceitos representados (GURR, 1999).

Shimajima define formalmente as *Inferential "Free-Rides"*⁵ em seu trabalho (SHIMOJIMA, 1996) como a possibilidade de captura de informações semânticas através da correspondência direta entre as propriedades das representações visuais e as propriedades dos conceitos. Dessa forma, as representações visuais são construídas sistematicamente para capturar corretamente a informação semântica representada pelos conceitos.

A figura 2.6, extraída de (GUIZZARDI; PIRES; SINDEREN, 2002), exemplifica a exploração das *free-rides* apresentando silogismos lógicos equivalentes. A relação entre três objetos A, B e C é representada através de linguagem proposicional na figura 2.6-a, enquanto que a figura 2.6-b apresenta a mesma relação utilizando a linguagem visual dos Círculos de Euler. No entanto, a mesma conclusão (iii) (fig. 2.6-a) é extraída de imediato do diagrama que utiliza a linguagem visual de Euler. Isso nos demonstra que informações semânticas podem ser capturadas diretamente a partir de uma representação pictórica (GUIZZARDI; PIRES; SINDEREN, 2002).

Peirce *apud* (BURKS, 1949) define uma divisão para representações pictóricas de acordo com suas características, dividindo-as em *índices*, *símbolos* e *ícones*.

Símbolos não possuem relação direta ou indireta com seus significados. Esses são estabelecidos por convenção, sendo que deve ser conhecida para saber seu o significado. As letras do alfabeto e os numerais romanos são exemplos de símbolos arbitrários para os quais foram definidos significados. A figura 2.7 (extraída de (COELHO, 2009)) apresenta

⁵O termo foi mantido no original pela perda de significado criada com a tradução.



Figura 2.6: Silogismo lógico representado através de linguagem proposicional (a) e na linguagem visual dos Círculos de Euler (b).

placas de trânsito compostas por símbolos.

Índices possuem apenas uma relação indicativa ou associativa com aquilo que significam. Nuvens escuras no céu são um forte indício da ocorrência de chuva, por exemplo.



Figura 2.7: Placas de trânsito compostas por símbolos cujos significados são estabelecidos por convenção.

Ícones assemelham-se com o que significam, assim, seu significado é capturado através do mesmo processo de percepção utilizado para reconhecer o objeto ou evento originalmente representado, ou seja, o significado pode ser compreendido a partir da observação da representação (STEELS, 2007). A figura 2.8 (extraída de (COELHO, 2009)) apresenta placas de trânsito compostas por ícones.



Figura 2.8: Placas de trânsito compostas por ícones cujos significados assemelham-se a representação.

2.3 Metodologias para a Construção de Ontologias

A Engenharia de Ontologias - *Ontological Engineering* - reúne um conjunto de atividades que englobam o processo de desenvolvimento de ontologias, seu ciclo de vida, os métodos e as metodologias empregadas na construção, gerência, manutenção, integração, tradução de ontologias, entre outras tarefas, assim como ferramentas e linguagens que propiciam a execução de tais atividades (GÓMES-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; CORCHO, 2004). A seguir, são apresentadas algumas metodologias aplicadas na construção de ontologias.

2.3.1 CommonKADS

A metodologia CommonKADS não foi concebida propriamente para a construção de ontologias, mas como uma engenharia de software específica para sistemas de conhecimento. No entanto, CommonKADS oferece uma metodologia e linguagem para a construção de modelos de conhecimento que podem ser utilizadas na construção de ontologias. Sua limitação é o fato de a linguagem CML não ter compromisso ontológico, ou seja, o significado de suas primitivas não é definido explicitamente, o que não permite a construção de modelos estruturalmente robustos. Basicamente, a metodologia consiste de três fases: identificação, especificação e refinamento do conhecimento (SCHREIBER et al., 2000).

A fase de identificação do conhecimento é onde realizam-se os preparativos para a especificação do modelo de conhecimento. Nela, identificam-se fontes de conhecimento úteis (literatura, especialistas, documentos internos das organizações, manuais, etc). Além das fontes de conhecimento, identificam-se porções reutilizáveis de conhecimento e constrói-se um glossário de termos. Na segunda fase, constrói-se uma conceitualização inicial do domínio com os principais conceitos que o definem. Além disso, define-se por completo o modelo de conhecimento que representa o domínio abordado. Esse modelo é construído a partir de esquemas representativos do domínio constituídos e elaborados a partir da junção das porções reutilizáveis de conhecimento identificadas na fase anterior. Após a reutilização desses componentes, o engenheiro preenche as lacunas com o conhecimento faltante a fim de finalizar o modelo. A fase final da metodologia valida o modelo de conhecimento com a aplicação de diferentes técnicas.

A metodologia sugere que as fases não são necessariamente executadas em seqüência. Ciclos podem se repetir a fim de expandir a realização de cada fase de forma a refinar o modelo criado.

2.3.2 Guia 101

O guia 101, proposto por (NOY; MCGUINNESS, 2001), apresenta um conjunto de sete passos os quais considera úteis à construção de ontologias.

O primeiro passo consiste em determinar o domínio e escopo da ontologia a ser construída. Nesse passo, define-se qual a utilidade da ontologia, que tipo de informação ela deve fornecer (principal foco) e quem utilizará e manterá a ontologia. No passo seguinte buscam-se por ontologias já construídas. A proposta do terceiro passo é a construção de uma lista de possíveis termos integrantes da ontologia sem a preocupação com termos duplicados (dois termos referindo-se a um conceito), relações entre termos ou suas propriedades.

Com a lista de termos criada no passo três, no passo quatro criam-se classes com os termos que representam somente conceitos. Esse processo pode ser feito de três maneiras

diferentes. Uma abordagem *top-down* onde definem-se primeiramente os conceitos mais genéricos, uma abordagem *bottom-up* onde primeiramente são definidos os conceitos mais específicos ou uma abordagem mista onde definem-se os conceitos intermediários por primeiro. O passo cinco utiliza o restante dos termos para definir atributos (intrínsecos ou extrínsecos) e relações das classes criadas. O sexto passo define as cardinalidades e os tipos de valores que os atributos possuem. O sétimo e último passo consiste na criação de instâncias das classes definindo os valores de seus atributos. Depois de definir uma versão inicial da ontologia o guia recomenda sua avaliação através de sua utilização em sistemas ou através da discussão com especialistas de domínio.

A deficiência do Guia 101 é que o especialista do domínio só é consultado ao final de um ciclo de interação, quando erros fundamentais na representação do domínio podem inviabilizar a versão inicial da ontologia criada. Nesta dissertação, o contato inicial com o especialista de domínio é priorizado à qualquer versão inicial da ontologia.

2.3.3 On-to-Knowledge

A metodologia *On-to-Knowledge*, proposta por (FENSEL et al., 2000; SURE et al., 1999), dá ênfase às fases de construção e avaliação de ontologias voltadas à aplicações. Ela também estende a metodologia CommonKADS apresentando orientações específicas ao processo de desenvolvimento e manutenção de ontologias. A seguir são apresentadas as fases que compõem a metodologia.

O estudo de viabilidade de construção da ontologia é a primeira fase realizada. Nela, identificam-se e avaliam-se os problemas, assim como, a viabilidade das possíveis soluções. A fase de início (*kickoff*) produz um documento onde são especificados os requisitos da ontologia em construção. Esse documento deve conter elementos tais como o objetivo da ontologia, seu domínio e escopo, fontes de conhecimento (entrevistas com especialistas, literatura, etc), possíveis aplicações da ontologia, questionário de competências e ontologias potencialmente reutilizáveis. A fase de refinamento é dividida em subfases. Primeiramente constrói-se uma taxonomia básica com os termos relevantes levantados na etapa anterior. O passo seguinte é a aquisição de conhecimento com os especialistas guiada pela taxonomia básica onde elabora-se uma ontologia expressa no nível epistemológico. Posteriormente, realiza-se a formalização da ontologia em alguma linguagem formal de representação de conhecimento. A fase de avaliação permite verificar a utilidade da ontologia desenvolvida. Nela, o engenheiro de ontologias verifica se a ontologia construída atende aos requisitos definidos na fase de refinamento e a testa em uma aplicação. Essa fase é repetida juntamente com a fase de refinamento várias vezes até que a ontologia atinja o nível previsto na especificação. A última fase é a de manutenção, nela são executadas atualizações na ontologia de acordo com mudanças nas especificações. Novos ciclos de avaliação e refinamento são recomendados pela metodologia.

A fase de refinamento realiza a aquisição de conhecimento com o especialista guiada por uma taxonomia base elaborada pelo engenheiro de conhecimento. Isso pode levar o especialista entrevistado por uma linha de raciocínio de explicação do domínio diferente da linha correta. A aquisição de conhecimento feita nesta dissertação deixa o especialista livre para expor os conceitos do domínio.

2.3.4 METHONTOLOGY

As atividades da metodologia de construção de ontologias *METHONTOLOGY*, propostas por (GÓMES-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; CORCHO, 2004), são próximas das identificadas nos processos de desenvolvimento de software. A metodologia é basi-

camente composta por um ciclo de atividades que guiam o processo de construção da ontologia.

O ciclo evolutivo de atividades é executado paralelamente ao processo de construção de ontologias. Além disso, ele determina a ordem com a qual as fases do processo são executadas. As atividades do ciclo evolutivo são apresentadas a seguir.

A atividade de aquisição de conhecimento consiste em eliciar conhecimento a partir de especialistas de domínio onde as ontologias estão sendo construídas. A atividade de avaliação analisa de forma técnica a ontologia em criação, sua documentação e o software que a utiliza. Integração é a atividade necessária quando se constroem ontologias através da junção e do reuso de ontologias pré-existentes. A documentação da ontologia deve ser feita com o objetivo de detalhar cada atividade assim como os produtos criados ao longo do ciclo de desenvolvimento. E por fim, o gerenciamento de configurações faz o controle de todas as versões, tanto da documentação quanto da ontologia.

O processo de construção de ontologias é composto pelas seguintes fases: pré-desenvolvimento, especificação, conceitualização, formalização, implementação e manutenção. A fase de pré-desenvolvimento consiste em um estudo de ambiente onde busca-se conhecer em quais plataformas a ontologia será utilizada e com quais aplicações ela será integrada. É nessa fase também que deve existir uma análise quanto a viabilidade e possibilidade de se construir a ontologia. A fase de especificação define o porquê que a ontologia está sendo criada, quem a utilizará e com qual finalidade. Na fase de conceitualização os conceitos e suas inter-relações devem ser definidas, satisfazendo o que foi proposto na fase anterior. Grupos de conceitos que possuem maior quantidade de relacionamentos, normalmente são considerados subontologias, situação na qual o domínio pode ser decomposto. A fase de formalização compreende a transformação do modelo conceitual em um modelo formal semicomputável, sem que esse último seja uma versão final da ontologia implementada. Nessa fase especifica-se cada conceito, restringindo suas possíveis interpretações e organizando-os de forma hierárquica através de classes e subclasses. Na fase de implementação, implementa-se a ontologia formalizada em alguma linguagem de representação de conhecimento. A fase de manutenção consiste em realizar correções na ontologia implementada.

Essa metodologia está substancialmente vinculada a engenharia de software. Observa-se essa característica em decorrência da grande quantidade de artefatos documentais requeridos. Nesta dissertação, utilizou-se como artefato de documentação e aquisição de conhecimento gravações de áudio e vídeo, assim como a transcrição das entrevistas mais importantes. Também utilizou-se como artefatos de documentação da ontologia um modelo criado em uma ferramenta de construção de ontologias (apresentado em partes no capítulo 6).

2.3.5 ontoKEM

A ferramenta de engenharia de conhecimento ontoKEM baseia seu processo de construção de ontologias nos artefatos documentais definidos por três metodologias diferentes de construção de ontologias. Da metodologia *On-to-Knowledge* utiliza o questionário de competências, originalmente proposto pelo método TOVE (FOX, 1992), disponibilizando um artefato para documentá-lo. Da metodologia *METHONTOLOGY* utiliza um conjunto de artefatos de documentação como documentos-texto e quadro. E por fim, o processo iterativo de sete passos do guia 101 é utilizado (RAUTENBERG et al., 2008).

As metodologias apresentadas acima provêm diretrizes à construção de ontologias. Embora, individualmente, as metodologias não se mostraram suficientes para definir o

projeto deste trabalho em todas as suas etapas pois contemplam porções do processo realizado, essas diretrizes influenciaram na aquisição e modelagem de conhecimento e a documentação e validação de cada etapa, que são descritas no capítulo 4. Nesse mesmo capítulo, algumas das técnicas de eliciação de conhecimento revisadas por (MASTELLA, 2005) são utilizadas durante o processo de eliciação de conhecimento.

2.4 Modelos para Representação de Conhecimento Visual

As subseções a seguir apresentam diferentes modelos para a representação de conhecimento visual. Ao final desta seção apresenta-se um comparativo entre os modelos apresentados e o modelo proposto por este trabalho.

2.4.1 Abordagem 1: Representação Proposicional

Essa é a abordagem mais comumente utilizada para a representação de conhecimento em domínios imagísticos. Busca traduzir o conteúdo visual do conhecimento para modelos puramente proposicionais. Nesses modelos, busca-se traduzir evidências visuais identificadas em cenas para modelos declarativos, associando-se às interpretações. A limitação desta abordagem se refere ao fato de que evidências que dão suporte à solução de problemas correspondem a objetos abstratos do conhecimento especialista, muitas vezes reconhecidos na cena de maneira subconsciente através de mecanismos de automatização cognitiva. Esses objetos são definidos em (ABEL, 2001) como pacotes visuais. Sua tradução para objetos fisicamente identificados na cena ou em imagens, utilizando uma linguagem de descrição compatível com a ontologia do usuário médio, tem se mostrado um desafio da engenharia de conhecimento.

Em (ABEL et al., 2004) a tradução entre o nível de descrição do especialista e o nível da ontologia do usuário médio do sistema foi construída utilizando grafos de conhecimento. No primeiro nível, o mais inferior, o usuário identifica e faz a ligação entre objetos observados no domínio e conceitos atômicos. Esses conceitos estão descritos em uma ontologia de domínio e são facilmente identificados por um novato da área. O segundo nível dos grafos apresenta as agregações de termos ontológicos que foram associadas pelo especialista aos pacotes visuais e que dão suporte à interpretação. A forma como os pacotes se combinam para indicar as possíveis interpretações no domínio são representadas através dos arcos dos grafos e pelos coeficientes de influência de cada um dos pacotes para a interpretação. A figura 2.9 (extraída de (ABEL, 2001)) apresenta um grafo de conhecimento que descreve as evidências necessárias à interpretação de ambiente eodiagnóstico marinho sob clima seco. Um dos nós de evidência foi detalhado na figura para mostrar sua construção nos termos da ontologia de domínio. Os pesos das evidências foram omitidos.

2.4.2 Abordagem 2: Representação em Três Níveis Semânticos

Ancoramento Simbólico (*Symbol grounding*) é uma abordagem para resolver o problema existente no processo de interpretação e compreensão semântica de imagens. Esse problema consiste na dificuldade em se relacionar dados numéricos (de baixo nível de abstração) extraídos de imagens com dados semânticos que representam e dão significado ao conteúdo de imagens. O trabalho de (HUDELOT; MAILLOT; THONNAT, 2005) apresenta uma forma de representar o conhecimento visual utilizado nessa tarefa por meio de um conjunto de níveis com diferentes propósitos.

O baixo nível (*low level*) trata do processamento algorítmico e numérico de imagens.

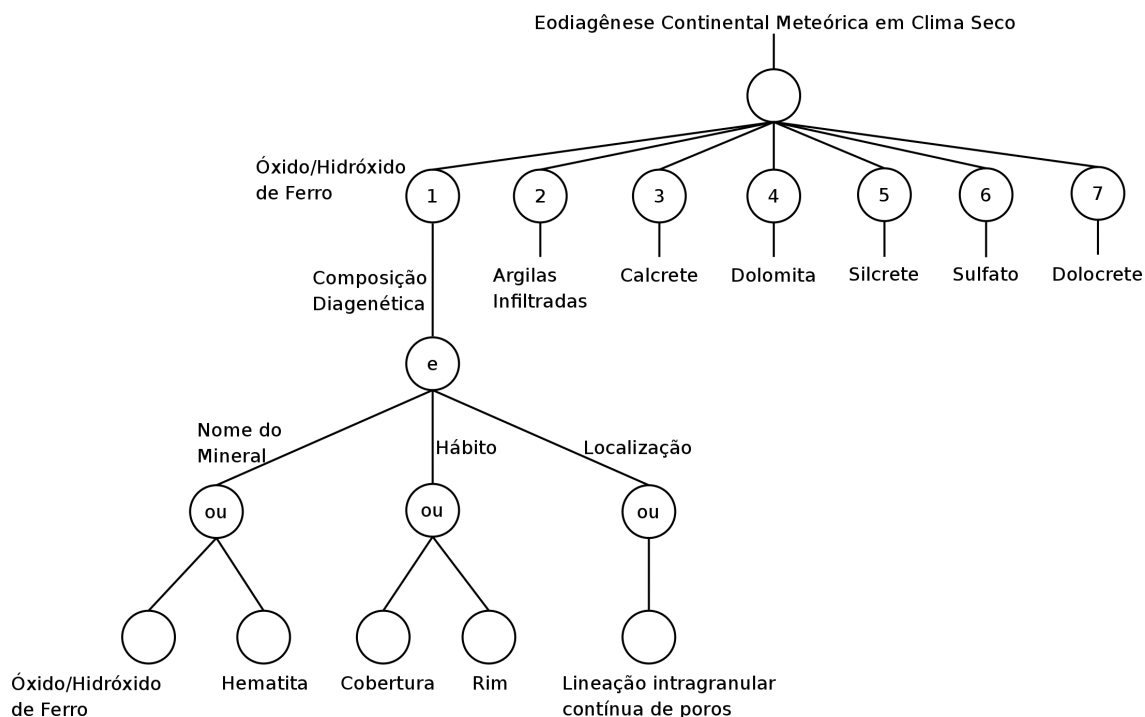


Figura 2.9: Grafo de conhecimento da interpretação de um ambiente diagenético do tipo Marinho em clima seco.

Nesse nível são extraídas informações de *pixels* e outras informações numéricas (índices de saturação, ruído, brilho e etc). Depois de extraídas das imagens, essas informações são descritas através de uma ontologia que contém conceitos básicos de imagens. O nível visual (*visual level*) descreve simbolicamente os conceitos visuais da cena e faz a ligação entre o baixo nível e o nível semântico. O maior nível de abstração está no nível semântico (*semantic level*). Ele é responsável por atribuir significado ao conteúdo da cena com o emprego de ontologias de domínio. A ligação realizada entre os níveis de descrição da imagem é feita através de duas ontologias, apresentadas na seqüência.

A ontologia de conceitos de imagem descreve os dados numéricos extraídos pelos algoritmos de processamento. Ela descreve esses dados através de conceitos como, tamanho (área, comprimento), formato (excentricidade, compacidade), cor (cor média, vetores de coerência de cor), entre outros. A descrição dos dados de processamento através dessa ontologia faz com que se reduza o “degrau” existente entre o nível da imagem e o nível visual. A ontologia que realiza a ligação entre os dados extraídos diretamente das imagens e os dados semânticos no trabalho de Hudelot foi proposta por (MAILLOT; THONNAT; BOUCHER, 2004). Ela é independente de domínio e estabelece o vocabulário comumente utilizado por humanos na descrição visual de objetos e cenas. Seu objetivo é descrever os conceitos vindos do nível inferior através de conceitos visuais elevando o nível de abstração. Os conceitos dessa ontologia estão divididos em três porções. Conceitos ligados a características de espacialidade, tais como, formato (arredondado, quadrado, retangular), localização, tamanho, entre outros. Conceitos ligados à coloração, como brilho e saturação e conceitos ligados à textura, como granulação e orientação. A figura 2.10 (traduzida de (MAILLOT; THONNAT; BOUCHER, 2004)), apresenta a porção da ontologia referente a conceitos geométricos. A figura 2.11 (adaptada de (MAILLOT; THONNAT; BOUCHER, 2004)), extraída de (HUDELLOT; MAILLOT; THONNAT, 2005), apre-

senta a localização de cada ontologia dentro do modelo e a forma com que ambas realizam a interligação dos níveis de descrição do conhecimento visual. O exemplo apresentado descreve uma laranja contida na imagem.

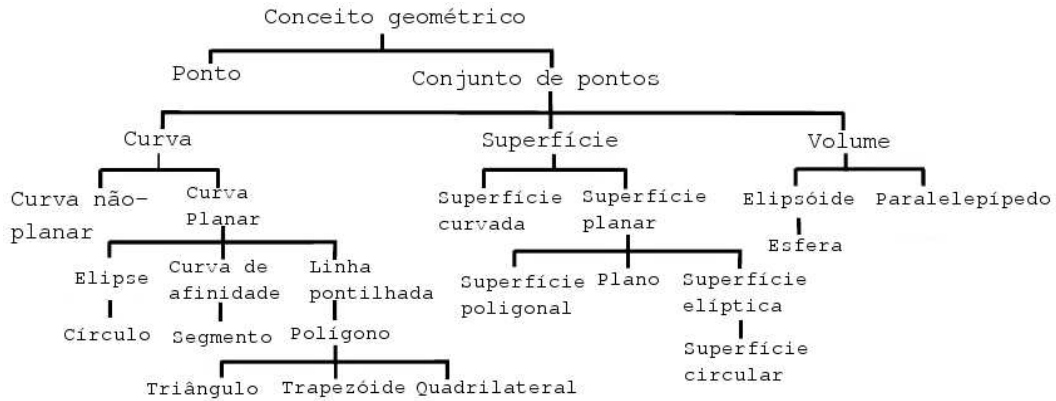


Figura 2.10: Ontologia de conceitos visuais referentes à geometria.

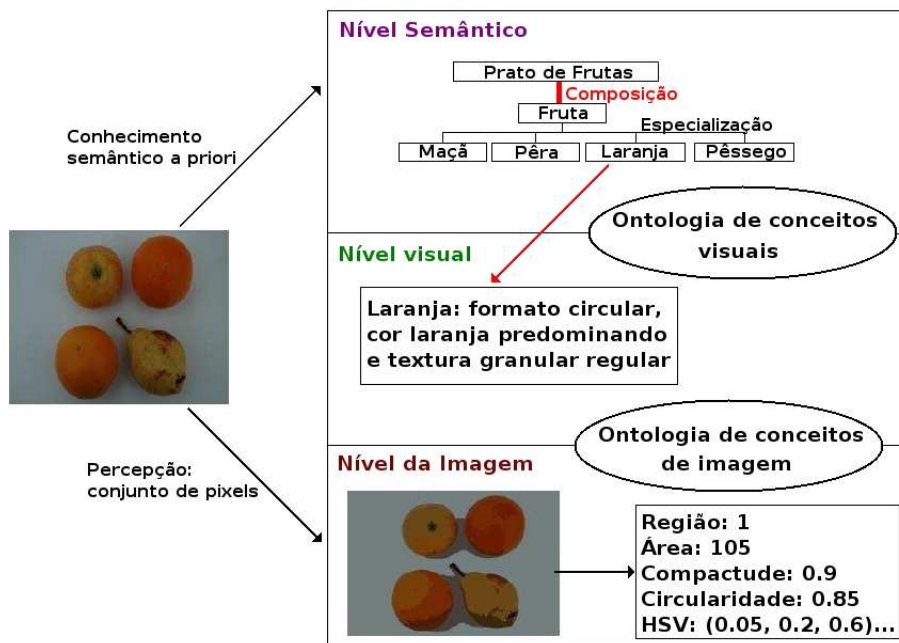


Figura 2.11: Comunicação entre níveis de descrição das imagens.

A abordagem apresentada por (SANTIN, 2008), aplicada no domínio da análise petrográfica, divide o conhecimento visual utilizado no processo de interpretação e compreensão de imagens em três níveis independentes, podendo também, ser utilizados de forma isolada. A proposta trabalho é uma forma de medir o índice de compactação das rochas reservatório sem que as medidas fossem afetadas pelas distorções óticas dos microscópios e fotografias. Para isso, foram identificados os contornos dos grãos de minerais e medidos os tipos e quantidades dos relacionamentos topológicos destes contornos. O ancoramento simbólico dos objetos que dão suporte à interpretação foi atingido pelo mapeamento entre os níveis.

O nível de processamento trata as imagens com granularidade de informação ao nível de pixel. Nesse nível, os elementos das imagens são extraídos através de algoritmos de

processamento que segmentam a imagem ou através de segmentação manual. As informações extraídas nesse nível são mapeadas para primitivas pertencentes ao nível seguinte, descrito abaixo. O nível visual realiza a distinção dos elementos que compõem as imagens entre objetos principais, fundo da imagem e contornos. Nesse nível, também são representados os relacionamentos topológicos entre os objetos. As primitivas de representação presentes nesse nível associam os elementos extraídos de imagens através da seleção feita pelo mecanismo da atenção visual. No nível semântico, atribui-se significado aos objetos identificados no nível visual. O significado provém da utilização de uma ontologia de domínio.

O mapeamento entre os níveis garante a identidade de cada um dos objetos. Dessa forma, pode-se partir de um objeto no nível semântico e encontrar seu correspondente no nível de processamento de imagem. Esse mapeamento é realizado através de tabelas que associam as primitivas de cada nível. A figura 2.12 (extraída de (SANTIN, 2008)) apresenta os níveis do modelo assim como o mapeamento entre os objetos.

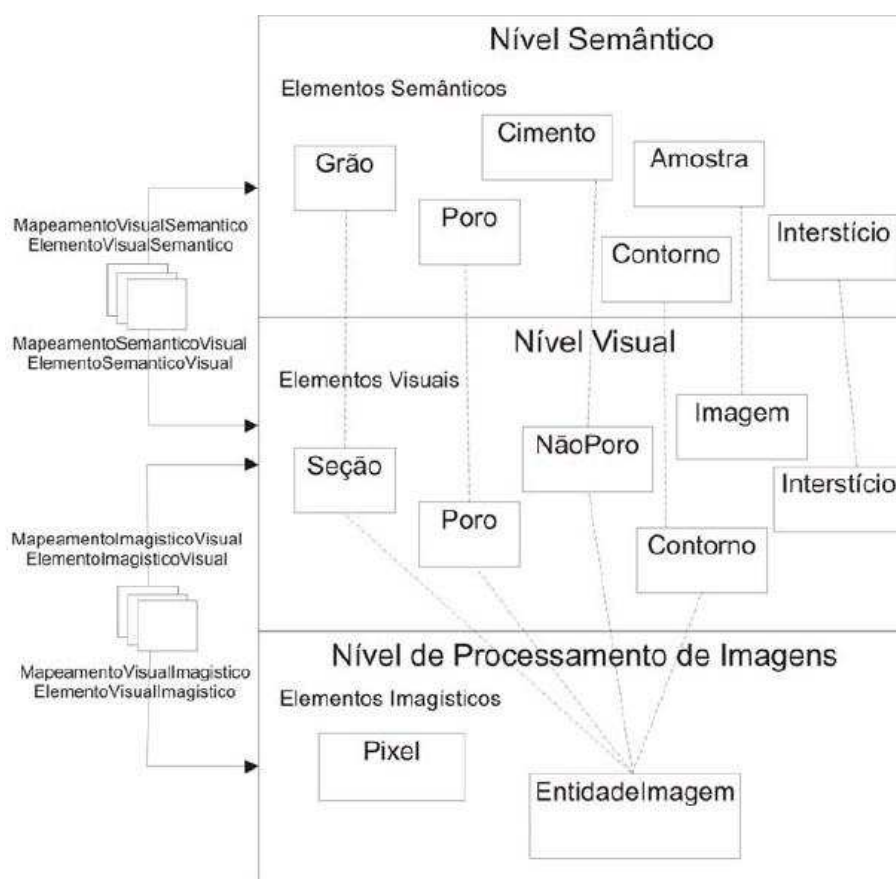


Figura 2.12: Níveis do modelo de representação de conhecimento.

O trabalho de (FIORINI, 2009) propõe um *framework* para a representação de conhecimento visual utilizado na interpretação visual de gráficos em diferentes domínios. O *framework* é constituído por três níveis análogos aos níveis apresentados pelo trabalho de (SANTIN, 2008): nível semântico, visual e analógico, que representam o conhecimento em diferentes níveis semânticos.

O nível semântico detém o conhecimento que define as conceitos do domínio. Este conhecimento é organizado através de ontologias de domínio. O nível intermediário, o visual, é independente de domínio e abriga o conjunto de primitivas que representam

feições visuais genéricas identificáveis em gráficos. Essas primitivas compreendem conceitos visuais, propriedades visuais e relações espaciais. Conceitos visuais são, por exemplo, pontos, linhas e curvas. Propriedades visuais estão vinculadas aos conceitos visuais e determinam qualidades visuais dessas (como comprimento), assim como seus possíveis valores (curto, longo, muito longo). Por fim, as relações espaciais representam os relacionamentos entre as entidades deste nível. O nível analógico representa informações visuais extraídas por algoritmos de processamento de imagens. De forma semelhante ao nível visual, as informações são representadas por entidades analógicas (ponto, conjunto de pontos) e propriedades analógicas (comprimento em centímetros ou *pixels*).

O mapeamento entre os níveis é realizado por meio de relações entre as entidades de níveis adjacentes. Esse mapeamento relaciona uma entidade de um nível superior a uma ou mais entidades do nível inferior utilizando regras semânticas.

2.4.3 Abordagem 3: Ontologia de Domínio e Ontologia Pictórica

O trabalho de (LIU et al., 2007) está inserido no domínio da Ornitologia. Ele propõe um modelo de representação de conhecimento visual aplicado à classificação de pássaros baseado em características puramente visuais. A proposta apresenta um *framework* constituído por duas ontologias, uma de domínio e outra de conteúdo visual.

A ontologia de domínio contém conhecimento obtido a partir de especialistas e de bases de informações do domínio. Assim como outras ontologias de domínio, ela contém o conhecimento consensual. Além disso, ela fornece o vocabulário juntamente com informações semânticas utilizadas no processo de classificação de pássaros. A ontologia de conteúdo visual está organizada de acordo com características visuais, tais como formato do corpo, bico e asas. Os conceitos visuais contidos nessa ontologia foram organizados através de generalizações dos formatos originais dos pássaros. Pássaros com o formato do corpo diferente representam especializações de um formato compartilhado, por exemplo. A figura 2.13 (extraída de (LIU et al., 2007)) apresenta a ontologia que organiza e representa o conhecimento visual do modelo. Os formatos presentes à direita de cada uma das colunas representam a porção visual do conhecimento e são generalizações das características observadas nos pássaros. Essas generalizações foram obtidas através do processamento de imagens de animais e da clusterização dos formatos extraídos.

Ambas ontologias apresentadas capturam diferentes aspectos do domínio. A ontologia de domínio captura o conhecimento dos especialistas da área enquanto que a ontologia de formatos captura as características visuais dos animais. No entanto, ambas ontologias compartilham conceitos em comum. Os conceitos comuns entre as ontologias são mapeados entre si, relacionando assim, o conhecimento de domínio ao conhecimento visual capturado.

O estudo de (BERTINI et al., 2007) apresenta um modelo de representação de conhecimento visual aplicado à anotação de bibliotecas digitais de vídeos futebolísticos. O modelo é composto por uma ontologia de domínio e uma ontologia de conteúdo visual.

A ontologia de domínio é definida por especialistas e expressa o vocabulário em termos lingüísticos. A ontologia de conceitos visuais detém a porção visual dos conceitos expressos na ontologia de domínio. Sua criação é realizada automaticamente. O passo inicial de sua construção consiste na associação entre amostras de vídeo e conceitos pertencentes à ontologia de domínio através de aprendizado de máquina. Os conceitos visuais, também definidos automaticamente, são resultado de um processo visual de clusterização. Esse processo seleciona o conjunto de vídeos associados a um termo lingüístico capaz de representar um conceito visual, como uma cobrança de escanteio, por exemplo.

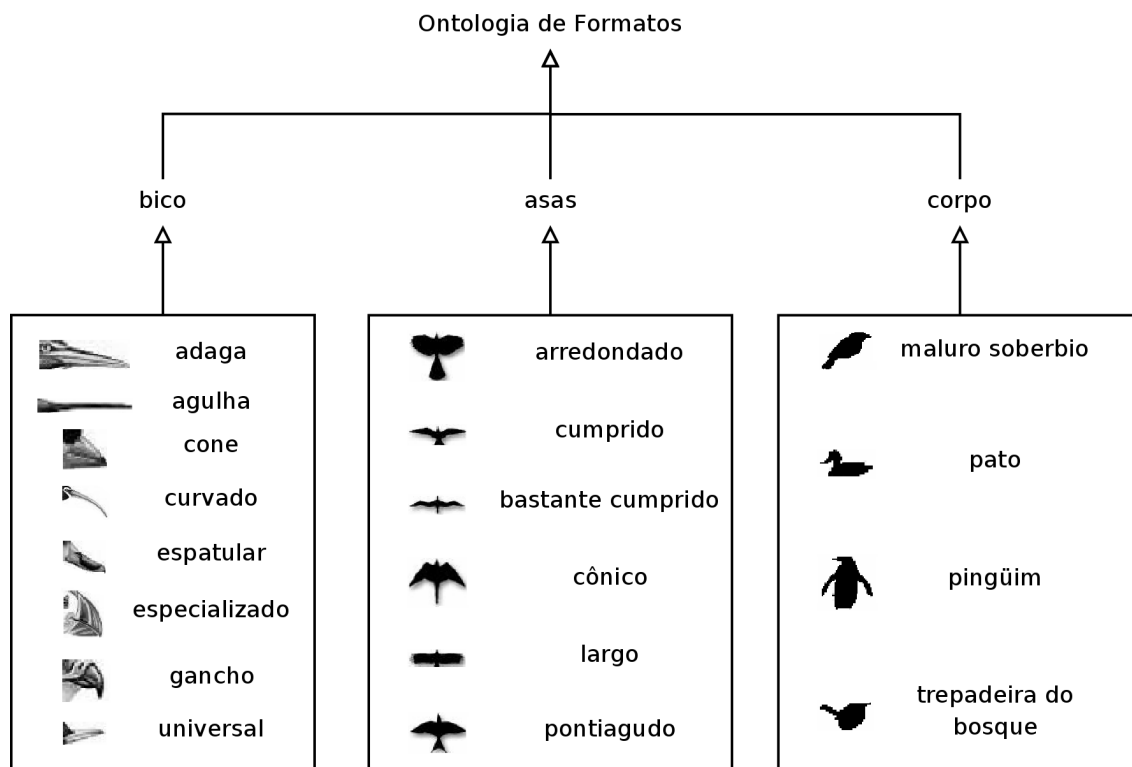


Figura 2.13: Ontologia de formatos de pássaros com elementos pictóricos.

2.4.4 Comparativo

A proposta deste estudo é semelhante aos objetivos gerais apresentados pelos trabalhos descritos acima: capturar formalmente o conhecimento visual para oferecer suporte a tarefas de interpretação em domínios imagísticos distintos. A tabela 2.2 sintetiza as características dos modelos apresentados anteriormente.

No entanto, a proposta desta dissertação difere dos trabalhos acima nos seguintes aspectos (detalhados nos próximos capítulos):

- A representação do conhecimento não é puramente proposicional como apresentado por Abel (ABEL, 2001) e Hudelot (HUDELOT; MAILLOT; THONNAT, 2005);
- O conhecimento visual não é capturado através de técnicas de processamento de imagem como nos trabalhos de Santin (SANTIN, 2008), Fiorini (FIORINI, 2009), Liu (LIU et al., 2007) e Bertini (BERTINI et al., 2007);
- Utiliza-se representação dual – proposicional e pictórica – para capturar o conhecimento através de primitivas representacionais, semelhante a Liu (LIU et al., 2007) e a Bertini (BERTINI et al., 2007);
- O conteúdo pictórico não constitui apenas uma documentação, mas define a estrutura do domínio, ou seja, os atributos visuais são utilizados como critério para organizar a hierarquia de tipos visuais;
- As representações pictóricas não são criadas automaticamente (utilizando-se processos de aprendizado de máquina) como em Liu (LIU et al., 2007) e (BERTINI et al., 2007);

Tabela 2.2: Comparação entre as abordagens

	Modelo	Representação puramente proposicional	Conhecimento extraído por processamento de imagens	Representação dual (conceitual e pictórica)	Criação automática de representações pictóricas	Conhecimento visual estrutura o domínio
<i>Abordagem 1</i>	Abel	✓				✓
<i>Abordagem 2</i>	Hudelot	✓				
	Santin		✓			✓
	Fiorini		✓			✓
<i>Abordagem 3</i>	Liu		✓	✓	✓	✓
	Bertini		✓	✓	✓	

- O conhecimento visual estrutura o domínio, diferente de (HUDELLOT; MAILLOT; THONNAT, 2005) e (BERTINI et al., 2007).
- Este trabalho utiliza metapropriedades ontológicas e uma ontologia de fundamentação unificada para definir a estrutura ontológica dos metaconstrutos propostos e do modelo de representação de conhecimento visual.

3 ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR

O presente capítulo descreve os conceitos básicos para compreender o estudo de caso desta dissertação. Estratigrafia Sedimentar, em sua visão tradicional, se refere à descrição, correlação e classificação dos estratos de rochas sedimentares (PRESS et al., 2004). Nessa visão, centrada na rocha, estudam-se as exposições rochosas (testemunhos e afloramentos) e busca-se explicar os processos de formação de sucessões sedimentares, gerados pela desagregação, transporte e deposição de sedimentos originados de outras rochas. Essas acumulações são depositadas em camadas ou estratos em depressões do terreno ao longo do tempo, podendo atingir alguns milhares de metros.

A visão mais moderna da Estratigrafia é denominada Estratigrafia de Sequências, que considera o estudo das relações entre rochas sedimentares dentro de um arcabouço cronoestratigráfico de estratos geneticamente relacionados e limitados por superfícies de erosão e não deposição, ou por suas concordâncias relativas (FÁVERA, 2001).

As seqüências correspondem ao conjunto dos sedimentos depositados no intervalo de tempo de um ciclo de oscilação do nível do mar em termos continentais. A interpretação desses episódios e seus registros envolvem a análise e interpretação integrada de dados sedimentológicos e estratigráficos obtidos na sísmica, em perfis geofísicos de poços, em testemunhos e em afloramentos. A Estratigrafia oferece importantes subsídios para compreender a distribuição espacial dos depósitos minerais, especialmente acumulações de petróleo. Seu estudo acontece em diferentes escalas que orientam e subsidiam de informações umas às outras. A figura 3.1 (extraída de (FÁVERA, 2001)) apresenta uma visão geral das diferentes escalas de estudo da Estratigrafia. Embora a Estratigrafia Sedimentar inclua a descrição de rochas siliciclásticas, químicas, biológicas e, eventualmente, vulcânicas, este trabalho restringe o estudo apenas às rochas clásticas, com a hipótese de que as contribuições de modelagem de conhecimento aqui feitas possam ser estendidas às demais classes de rochas.

Os modelos de conhecimento aqui apresentados são centrados em três conceitos principais: ambiente sedimentar, processo deposicional e fácies sedimentar. Os ambientes sedimentares são o objeto final da análise. Os processos deposicionais são diretamente indicados pelas fácies sedimentares, que são objeto de descrição formal e detalhada neste trabalho. Cada um desses conceitos será detalhado a seguir.

De forma geral um ambiente sedimentar ou de sedimentação é uma região vista em planta caracterizada pelos diferentes processos deposicionais que acontecem em um determinado instante. Um ambiente sedimentar caracteriza-se através de propriedades físicas, químicas e biológicas bem definidas e diferentes das apresentadas pelas áreas adjacentes. Os *processos físicos* englobam as variações de velocidade e sentido dos ventos, ondas ou água corrente. Além disso, está incluso o clima existente no ambiente. As *propriedades químicas* abrangem a composição da água nos ambientes subaquáticos e a geoquímica

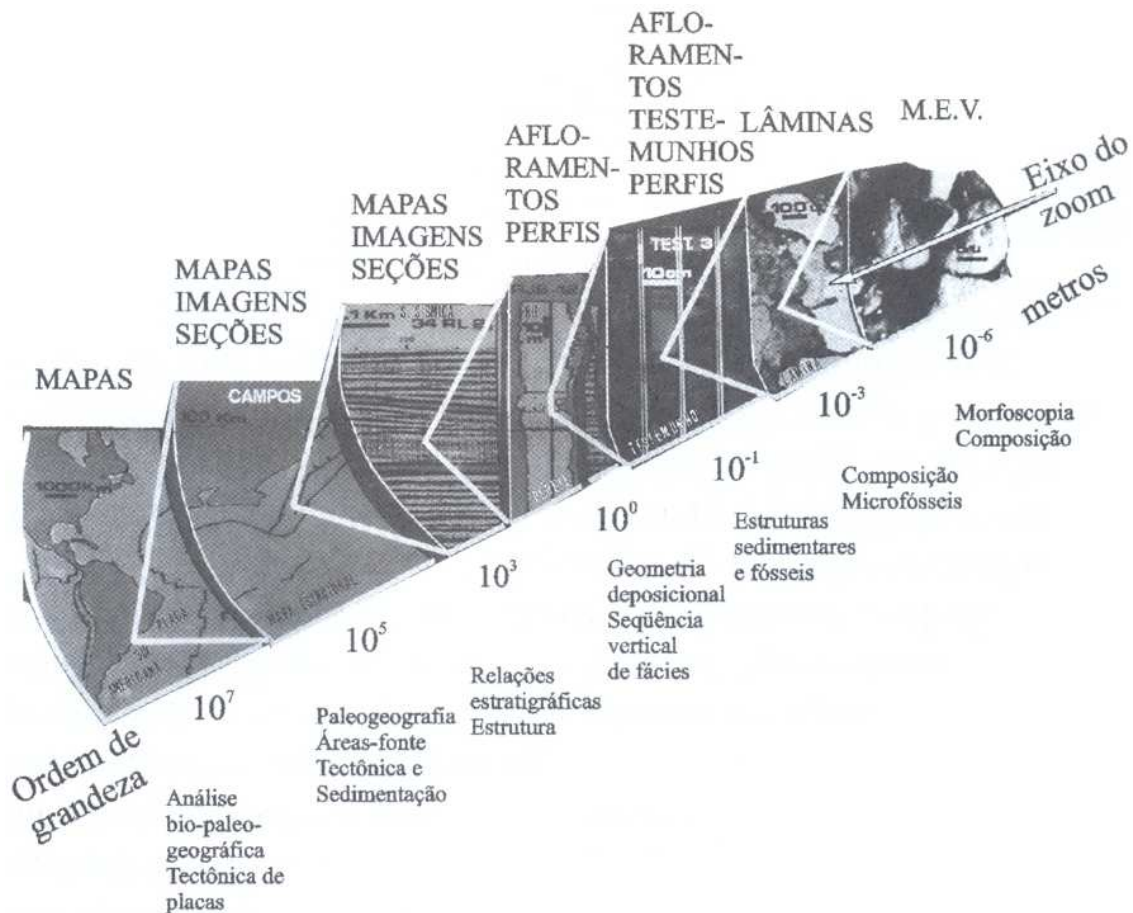


Figura 3.1: Diferentes escalas de estudo da Estratigrafia.

das rochas. As *propriedades biológicas* estão ligadas às associações de flora e fauna, pois mesmo em ambientes marinhos como continentais, animais e vegetais influenciam as taxas de erosão e deposição ou as propriedades físico-químicas dos sedimentos já depositados (SUGUIO, 2003).

Os ambientes sedimentares são geralmente agrupados de acordo com sua localização e condições ambientais. Sua localização pode ser nos continentes, nas regiões costeiras ou nos oceanos. As condições ambientais incluem o tipo e quantidade de água (oceano, lago, rio e terra árida), o relevo (terras baixas, montanhas, planícies costeiras e oceano raso ou profundo) e a atividade biológica (PRESS et al., 2004). A figura 3.2 (extraída de (PRESS et al., 2004)) apresenta as diferentes localizações de ambientes sedimentares.

A análise estratigráfica de ambientes sedimentares começa com a coleta de dados que basicamente consistem na descrição, medição e interpretação de sucessões de rochas. Os dados estratigráficos vêm de duas fontes principais. Dados de afloramentos na superfície (figura 3.3 extraída de (PRESS et al., 2004)) e dados de subsuperfície que são geralmente dados de *log* de poços, perfis sísmicos e testemunhos (porções da rocha retiradas dos poços para análise, como os apresentados na figura 3.4, extraída de (SANGSTER, 2008)).

Processos deposicionais são os processos responsáveis por transportar partículas clásticas até o local de sedimentação. A distância percorrida pelas partículas pode chegar a milhares de quilômetros. Os processos deposicionais são identificados através de duas características principais: tipo de fluido e energia. Os processos deposicionais se caracterizam pelo tipo de fluido que geralmente é água (líquida, na forma de rios e oceanos

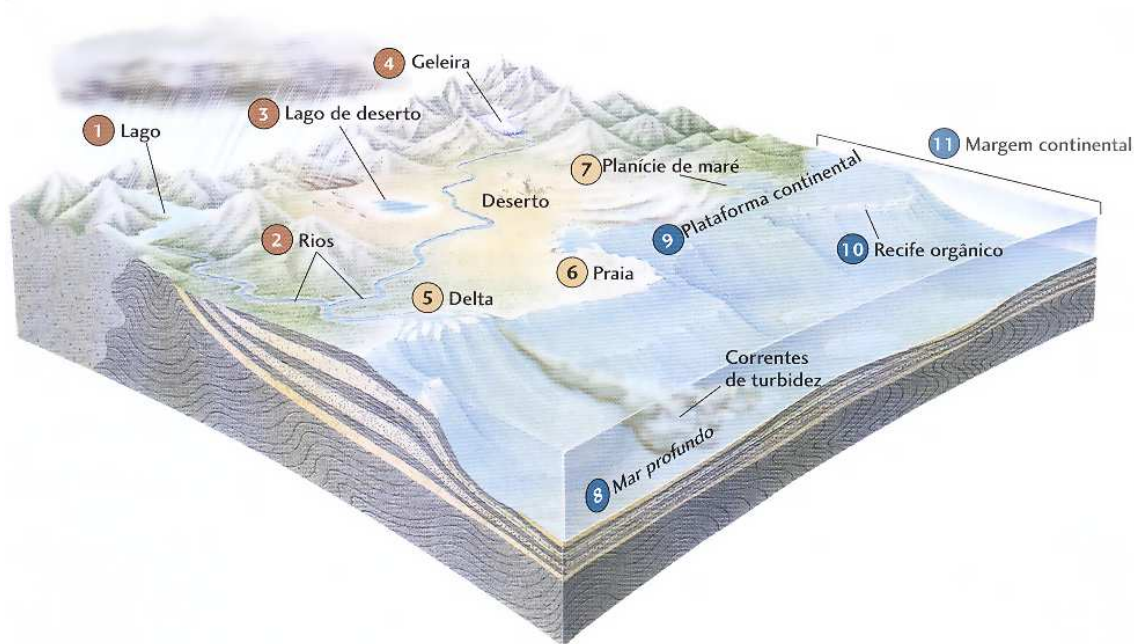


Figura 3.2: Diferentes localizações de ambientes sedimentares.



Figura 3.3: Afloramento onde rochas não alteradas por erosão estão expostas.

ou sólida, na forma de geleiras) ou vento (PRESS et al., 2004). A energia identifica a velocidade com que o fluido se desloca.

O tamanho das partículas transportadas pelos processos varia de acordo com a energia do fluxo, ou seja, varia de acordo com a velocidade com que o fluido se desloca. Quanto maior o tamanho da partícula maior deve ser a energia do fluxo para que ela seja transportada. A deposição das partículas começa no momento em que seu deslocamento termina. Para partículas clásticas, a gravidade é a força predominante que controla sua sedimentação. Assim, as partículas cessam seu deslocamento à medida que a energia do fluxo diminui. Dessa forma, partículas maiores tendem a se depositar antes que as partículas menores. Quando a energia do fluxo cessa por completo até mesmo as menores partículas se depositam (PRESS et al., 2004).

Correntes fortes (com velocidade acima de 50 cm/s) conseguem transportar detritos grossos e finos e são comuns em rios que fluem em terrenos montanhosos. Correntes moderadamente fortes (com velocidade entre 20-50 cm/s) se caracterizam pela deposição de areia e são comuns na maioria dos rios. Ondas e correntes oceânicas depositam areia em praias e oceanos. A areia também é transportada por ventos, especialmente nos desertos. E por fim, correntes fracas (com velocidade inferior à 20 cm/s) transportam as menores

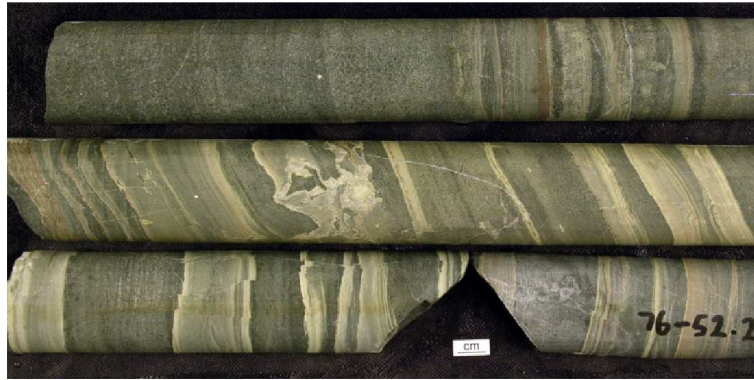


Figura 3.4: Amostras de rocha em testemunho.

partículas clásticas que são formadoras de lama. Essas correntes ocorrem geralmente em planícies fluviais quando inundações recuam vagarosamente. Elas também ocorrem nos oceanos, longe das praias e da ação das ondas, onde as correntes são lentas (PRESS et al., 2004).

Fácies Sedimentar (do latim *facies* = face, cara) é a menor unidade que compõem um pacote de rochas sedimentares. Elas são uma ferramenta bastante eficiente na interpretação dos processos deposicionais.

A primeira utilização do termo fácies foi empregada por Steno em 1669 e seu uso moderno se dá pela proposta de Gressly (1838) que caracteriza fácies como o conjunto de aspectos litológicos e paleontológicos de um depósito sedimentar (FÁVERA, 2001). Genericamente falando, uma fácies é definida como um corpo de rocha com características determinantes ou uma associação de rochas sedimentares que compartilham algum aspecto de aparência (PROTHERO, 1989). A figura 3.5 apresenta um pacote de rochas em um testemunho com fácies em destaque.

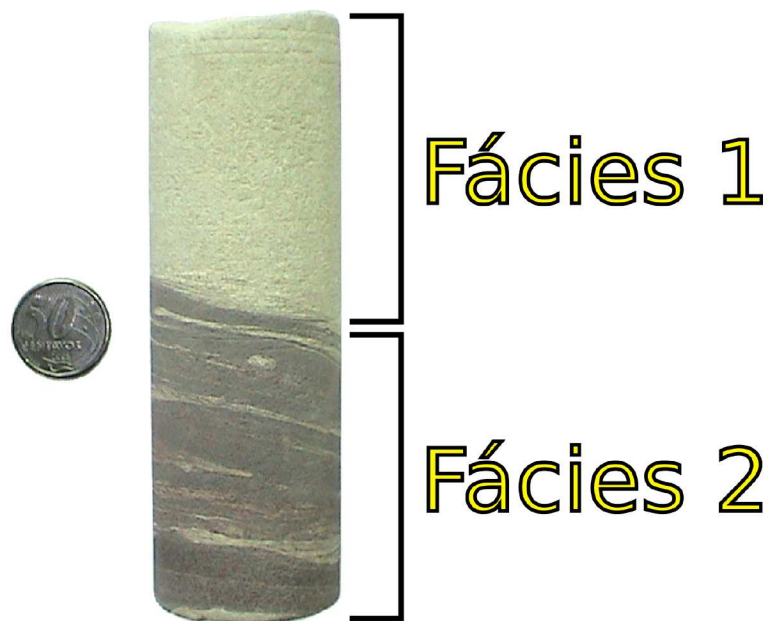


Figura 3.5: Testemunho de rocha com Fácies Sedimentares em destaque. Foto do autor.

Hoje esse termo tem uma conotação mais específica: fácies é um corpo de rocha, com características sedimentológicas que se diferenciam dos corpos adjacentes.

Uma fácies sedimentar é caracterizada através da rocha que a compõe (por meio dos atributos de granulometria, seleção, esfericidade e arredondamento), geometria, estruturas sedimentares e conteúdo fóssilífero. A seguir, apresentam-se as características individualmente.

1. *Granulometria* refere-se basicamente a medida do diâmetro médio das partículas formadoras das rochas sedimentares. Ela é uma propriedade textural de extrema importância, pois ela fornece embasamento para descrições mais precisas, caracteriza sedimentos de determinados ambientes sedimentares e fornece informações a respeito dos processos deposicionais (SUGUIO, 2003). A figura 3.6 (extraída de (JOURNAL, 2008)) apresenta diferentes tamanhos de partículas sedimentares.
2. *Seleção* refere-se à uniformidade do tamanho das partículas de rocha do sedimento depositado. O sedimento cujos grãos possuem tamanho predominantemente uniforme é classificado como bem selecionado. Já o sedimento que contém grãos com diferentes tamanhos é considerado pobremente selecionado (PRESS et al., 2004). A figura 3.7-a apresenta um conjunto de partículas bem selecionado enquanto que a figura 3.7-b apresenta um conjunto de partículas pobremente selecionado. Ambas as figuras foram extraídas de (PRESS et al., 2004).
3. *Esfericidade* indica o grau de aproximação esférica que uma partícula de sedimento pode apresentar, ou seja, este atributo indica quão próximo o formato de uma partícula se aproxima do formato de uma esfera (SUGUIO, 2003). A figura 3.8 (extraída de (PRESS et al., 2004)) ilustra diferentes níveis de esfericidade de uma partícula de sedimento.
4. *Arredondamento* é um atributo independente da esfericidade. Ele indica o grau de angulosidade dos cantos das partículas de sedimento. Dessa forma, partículas bem arredondadas comumente indicam abrasão mecânica prolongada (SUGUIO, 2003). A figura 3.9 (extraída de (PRESS et al., 2004)) ilustra diferentes níveis de arredondamento de uma partícula de sedimento.
5. *Geometria* das camadas refere-se às formas geométricas que a fácies podem assumir de acordo com a deposição dos sedimentos (FÁVERA, 2001).
6. O atributo *cor* indica principalmente a composição dos minérios de uma rocha e conseqüentemente de uma fácies. No entanto, isoladamente este atributo não é uma propriedade suficiente para a definição de diferentes fácies. Normalmente é utilizado quando se necessita de um grande nível de detalhamento nas descrições faciológicas realizadas (SUGUIO, 2003).
7. *Paleocorrente* indica o sentido com que os sedimentos fluíram durante sua deposição. Assim, consegue-se distinguir diferentes fácies pelo sentido de deposição dos sedimentos (FÁVERA, 2001).
8. A presença ou ausência de *Fósseis* auxilia a distinção entre fácies. Os fósseis de flora e fauna ainda fornecem bases para a interpretação de ambientes sedimentares (FÁVERA, 2001).
9. *Estruturas Sedimentares* são todos os tipos de superfícies e acamadamentos ou estratificações formadas durante a deposição dos sedimentos (PRESS et al., 2004).

Por se tratar de um conceito de extrema importância na identificação de fácies sedimentares ele será apresentado em maiores detalhes na seqüência.

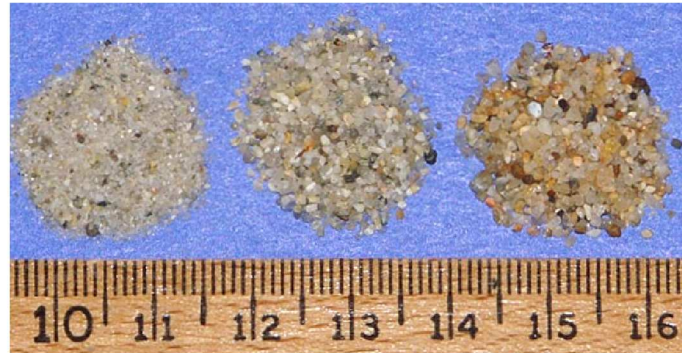


Figura 3.6: Diferentes tamanhos de partículas de sedimento.

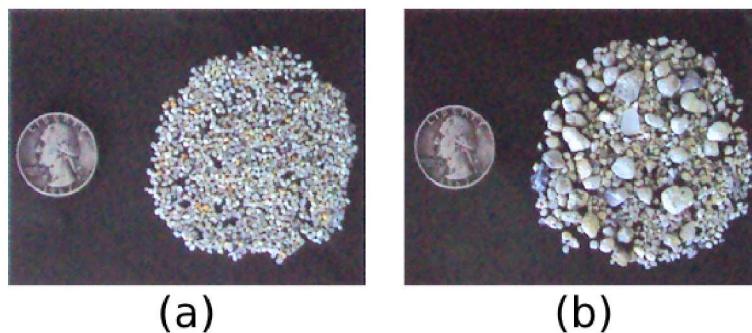


Figura 3.7: Exemplos de diferentes seleções de partículas de sedimento.

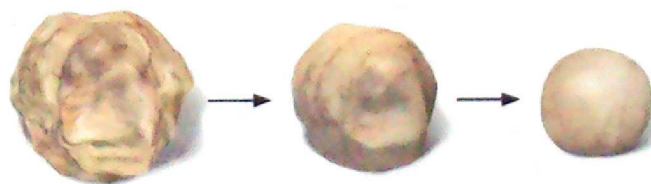


Figura 3.8: Possíveis níveis de esfericidade assumidos por uma partícula de sedimento.

Os processos deposicionais são os maiores responsáveis pela organização espacial das partículas clásticas transportadas e depositadas. Os padrões visuais formados pelos arranjos espaciais das partículas são chamados de *Estruturas Sedimentares*. Estruturas Sedimentares possuem uma relação de *um-para-um* com os processos deposicionais (SUGUIO, 2003). Não é possível classificar estruturas sedimentares apenas por seus critérios geométricos pela dificuldade de aplicá-los em decorrência da aleatoriedade da natureza. Dessa forma, classificam-se as estruturas por critérios genéticos, ou seja, as estruturas são classificadas de acordo com os processos que as criam (FÁVERA, 2001). A figura 3.10 apresenta os principais tipos de estruturas sedimentares.

Abaixo são apresentadas as principais características de cada tipo de estruturas sedimentares.

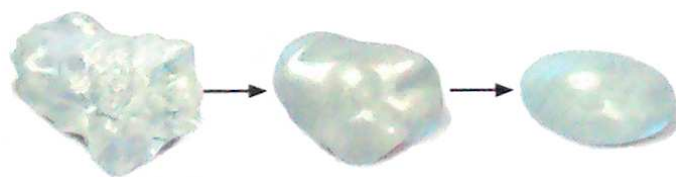


Figura 3.9: Possíveis níveis de arredondamento assumidos por uma partícula de sedimento.

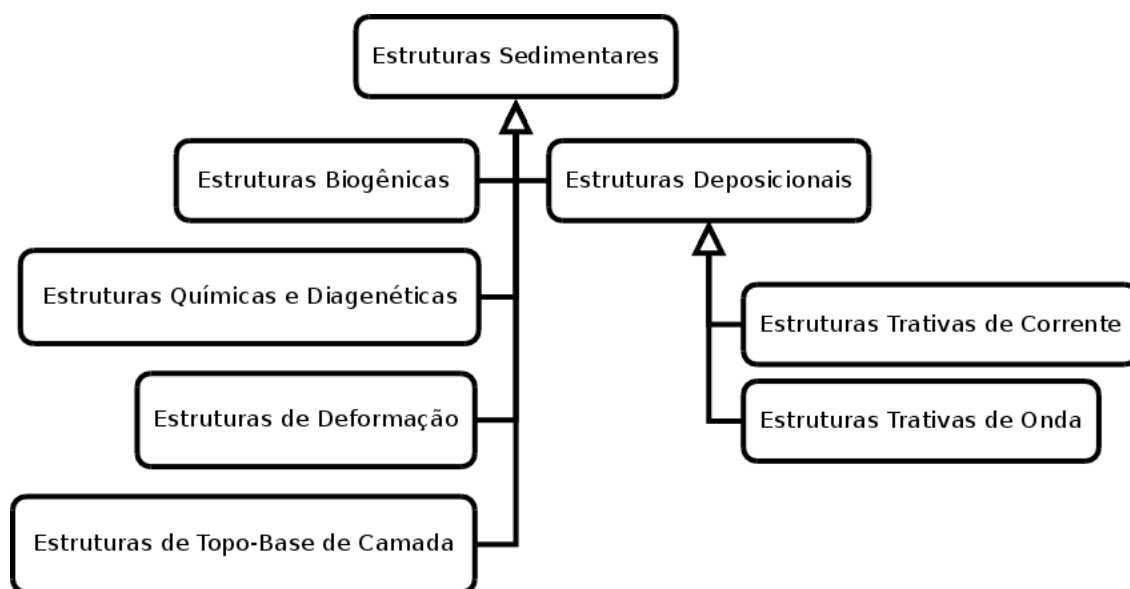


Figura 3.10: Principais classes de estruturas sedimentares.

- *Estruturas Depositionais* são estruturas formadas durante a sedimentação onde sua ocorrência se dá dentro das camadas (SUGUIO, 2003). A figura 3.11 (extraída de (PRESS et al., 2004)) apresenta um exemplo de estrutura deposicional.
- *Estruturas Biogênicas* são produzidas pela atividade de animais e plantas ainda em vida. Geralmente são caracterizadas por túneis escavados por moluscos, vermes e outros organismos através das camadas de sedimentos (SUGUIO, 2003; PRESS et al., 2004). A figura 3.12 (extraída de (SUGUIO, 2003)) apresenta um túnel preservado que foi escavado por um organismo.
- *Estruturas Químicas e Diagenéticas* são estruturas que podem afetar a composição química e mineralógica dos sedimentos onde em alguns casos há o desaparecimento das características iniciais dos sedimentos (SUGUIO, 2003). A figura 3.13 (extraída de (SUGUIO, 2003)) um exemplo de concreção.
- *Estruturas de Deformação* são estruturas criadas após a sedimentação (pós-depositionais) das partículas quando estas ainda estão embebidas em água. Elas são formadas pela ação gravitacional (SUGUIO, 2003). A figura 3.14 (extraída de (SUGUIO, 2003)) apresenta um exemplar deste tipo de estruturas.
- *Estruturas de Topo-Base de Camada* são estruturas que aparecem na superfície limítrofe entre as camadas de deposição e sua origem é principalmente erosional (SUGUIO, 2003). A figura 3.15 (extraída de (SUGUIO, 2003)) apresenta um exemplar de Estrutura de Topo-Base de Camada chamada Gretas de Contração.



Figura 3.11: Estrutura deposicional.

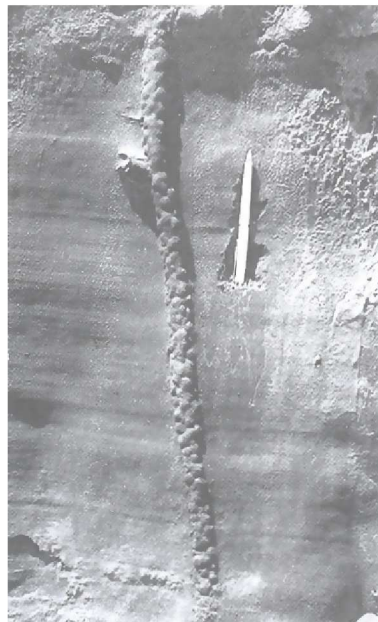


Figura 3.12: Estrutura Biogênica.

A interpretação de ambientes sedimentares é decorrente da análise da associação de fácies, já que uma fácies pode ocorrer em ambientes distintos como resultado de um mesmo processo deposicional. A associação de uma fácies com outras é que permite a interpretação do ambiente com maior segurança.

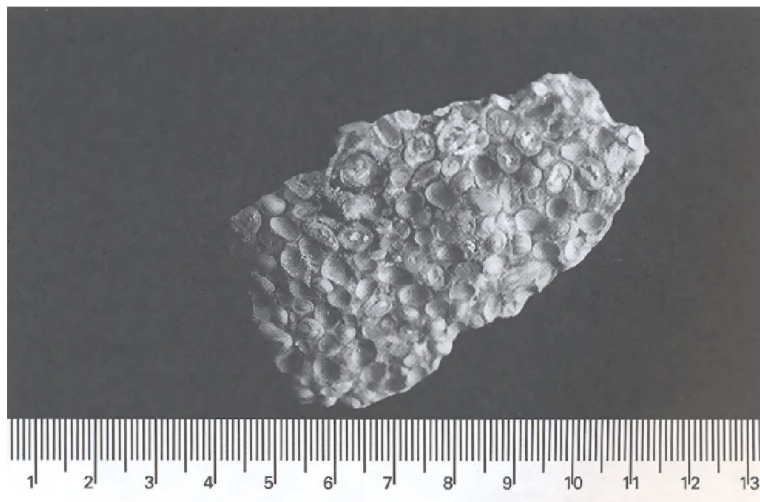


Figura 3.13: Estrutura Química e Diagenética.

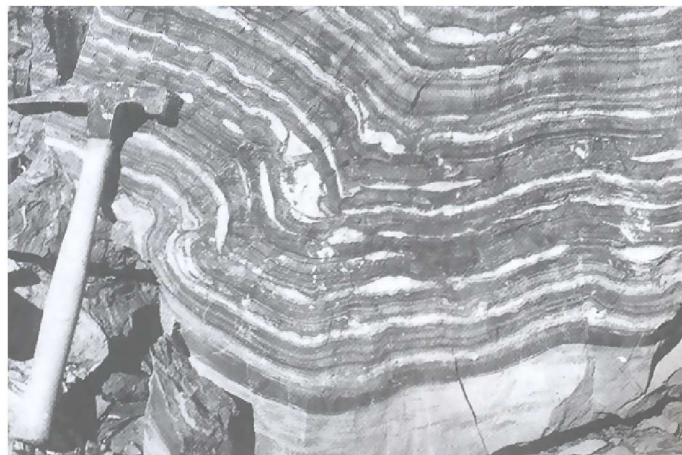


Figura 3.14: Estrutura de Deformação.



Figura 3.15: Estrutura de Topo-Base de Camadas.

4 AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

A quantidade de informações visuais utilizadas em domínios imagísticos é crescente em decorrência da disponibilidade desse tipo de informação. O conhecimento visual existente por trás dessas imagens requer tratamento adequado a fim de torná-lo processável.

O processo de aquisição de conhecimento é uma etapa essencial na construção de uma ontologia. Com a sua aplicação é possível capturar, organizar e explicitar o conhecimento envolvido no domínio (BRACHMAN; LEVESQUE, 2004).

A seguir são apresentadas as etapas de aquisição de conhecimento realizadas neste trabalho. Ao final do capítulo são apresentados os resultados e as dificuldades enfrentadas durante o processo. Os Anexos A, B e C contêm a íntegra do material coletado durante as entrevistas.

Utilizou-se o processo de aquisição de conhecimento para eliciar o modo com o qual os conceitos do domínio se relacionam e para identificar os principais termos compartilhados pela comunidade de geólogos. Dessa forma, não se criou uma nomenclatura nova, mas foi organizada e padronizada a nomenclatura existente no domínio.

As etapas seguem diretrizes propostas pelas metodologias apresentadas na seção 2.3. A etapa de planejamento é abordada por todas as metodologias em suas etapas iniciais, CommonKADS na etapa de identificação, Guia 101 e ontoKEM nos passos 1 e 2, On-to-Knowledge na etapa de estudo de viabilidade e parte da etapa de *kickoff* e METHONTOLOGY nas etapas de pré-desenvolvimento e especificação. A eliciação de conhecimento, que envolve as etapas de entrevista não-estruturada, classificação de fichas e observação, é identificada nas metodologias em diferentes fases. Na metodologia CommonKADS, identifica-se na segunda fase, onde se consultam as fontes de conhecimento apontadas na fase de identificação. Nas metodologias Guia 101 e ontoKEM, identifica-se no sétimo e último passo. Na metodologia On-to-Knowledge, identifica-se na segunda subfase da fase de refinamento, onde já existe uma taxonomia básica criada pelos engenheiros de ontologia. Na metodologia METHONTOLOGY, identifica-se na fase de conceitualização. O refinamento do conhecimento, realizado na etapa de entrevistas estruturadas deste trabalho, é identificado nas metodologias: CommonKADS em sua última fase, nas metodologias Guia 101 e ontoKEM no último passo com a consulta do especialista, na metodologia On-to-Knowledge na fase de manutenção, sua última fase. Na metodologia METHONTOLOGY o refinamento é feito juntamente a fase de conceitualização, ao mesmo tempo que se faz a aquisição de conhecimento.

1. **Planejamento:** esta etapa antecede todo o processo de aquisição do conhecimento. Nela, são identificadas as pessoas a serem entrevistadas, são coletadas informações à respeito do domínio e planejam-se as entrevistas a serem realizadas. O planejamento leva em torno de um mês para ser concluído.

- Pessoas envolvidas ao longo do projeto e seus papéis no processo de aquisição de conhecimento.
 - Geólogo estratígrafo sedimentar especialista com mais de 10 anos de experiência. Principal fonte do conhecimento eliciado e organização estrutural da literatura;
 - Aluna do sétimo semestre do curso de graduação em geologia com experiência em iniciação científica. Catalogação de Estruturas Sedimentares e organização geral da literatura indicada pelo estratígrafo especialista;
 - Conjunto de 21 pessoas, sendo, 13 alunos do sexto semestre do curso de graduação em geologia, 4 alunos do curso de graduação em geologia com experiência em iniciação científica, 3 alunos do curso de pós-graduação a nível de mestrado e 1 geólogo estratígrafo a nível de doutorado com mais de dez anos de experiência. Participantes do experimento de avaliação da nomenclatura organizada e do grau de expressividade das representações pictóricas propostas;
 - Geóloga estratígrafa especialista com mais de dez anos de experiência e geólogo petrólogo especialista com 28 anos de experiência. Foram elencados como potenciais usuários de futuro sistema que utilize o conhecimento organizado.
- Informações coletadas e seus papéis.
 - Literatura introdutória do domínio de onde se extrai conceitos básicos como o papel da Estratigrafia Sedimentar, definição de Rocha Sedimentar, definição de Fácies Sedimentar e a forma com a qual o geólogos trabalham com esses conceitos. O papel disso é fornecer ao engenheiro de conhecimento uma visão geral do domínio;
 - Material bibliográfico fornecido/publicado pelo especialista entrevistado, principalmente artigos. Esse material auxilia o engenheiro do conhecimento a se familiarizar com o vocabulário do domínio utilizado pelo entrevistado e o foco de seus trabalhos. Dessa forma, evita-se a utilização de vocabulário leigo durante o primeiro contato com o entrevistado.
- Planejamento das entrevistas: definem-se quais tipos de entrevistas serão aplicadas e organiza-se a infra-estrutura para realizá-las (gravador de voz, câmera fotográfica e/ou câmera de vídeo). A organização de um roteiro básico permite estabelecer objetivos genéricos a serem alcançados na entrevista não-estruturada. Dessa forma, evita-se que o entrevistado aborde assuntos desnecessários. Para as entrevistas estruturadas, a organização minuciosa dos questionamentos permite sanar dúvidas pontuais e eliciar o conhecimento específico do entrevistado. A utilização de gravadores de voz e câmeras permite o armazenamento de informações para posterior consulta. A entrevista não-estruturada realizada possui uma duração aproximada de uma hora e quinze minutos. As entrevistas estruturadas possuem em média cinquenta minutos de duração contabilizando um total aproximado de sete horas de gravações em áudio.
 - Entrevista não-estruturada: o roteiro básico planejado para essa entrevista contém os seguintes questionamentos, “Qual é o problema?”, “Como o problema é reconhecido?”, “Quando o problema aparece?” e “Como o problema é resolvido?”.

- Entrevistas Estruturadas: os roteiros planejados para as entrevistas estruturadas contém questionamentos como “Quais os tipos de Rocha utilizadas no domínio?”, “Como individualizar Fácies Sedimentares?”, “O que compõe uma Fácies Sedimentar?”, “Quais os atributos de uma Fácies Sedimentar?”, “Quais os tipos de Processos Depositionais?”, “O que define um Ambiente Sedimentar?”, “Quais os limites de um Ambiente Sedimentar?” e “Quais as relações entre Ambiente Sedimentar, Processo Depositional, Fácies Sedimentar e Estrutura Sedimentar?”.

2. **Entrevista Não-Estruturada:** a aplicação de entrevistas não-estruturadas é uma das técnicas mais utilizadas para a aquisição de conhecimento. Basicamente, a aplicação da técnica consiste em rodadas de perguntas e respostas entre o engenheiro de conhecimento e o especialista entrevistado. Essas entrevistas geralmente começam com perguntas como: “Como você resolve esse problema?”. No entanto, esta técnica possui deficiências em relação à aquisição do conhecimento. As pessoas não conseguem explicitar, passo-a-passo, seu processo de raciocínio. Dessa forma, o engenheiro não sabe quais partes do diálogo são importantes. Isso, torna necessária a gravação e transcrição das entrevistas para análise posterior. (MASTELLA, 2005). A etapa como um todo (entrevista não-estruturada e sua transcrição) leva em torno de cinco horas, onde 80% do tempo é utilizado na transcrição da entrevista.

- Material produzido: conjunto dos principais conceitos apresentados pelo especialista, tais como, Fácies Sedimentares, tipos de Rochas, principais tipos de Estruturas Sedimentares e Processos Depositionais e sua relação de um-para-um. No processo de descrição de Fácies Sedimentares o geólogo apresenta os atributos para identificar Fácies: granulometria, arredondamento, esfericidade, seleção, cor, geometria das camadas, fósseis e estruturas sedimentares. O geólogo aponta também que a interpretação de um Ambiente Sedimentar depende de uma correta descrição das Fácies Sedimentares e que a falta de um vocabulário padronizado afeta ainda mais a qualidade das descrições.

3. **Classificação de Fichas:** o objetivo desta técnica é elencar e organizar os conceitos e seus relacionamentos de acordo com a visão do especialista. Os conceitos a serem organizados nesta técnica são provenientes das transcrições de entrevistas. Os conceitos são escritos em cartões/fichas numeradas e apresentados ao especialista que agrupa-os segundo algum critério identificador de diferentes categorias de conceitos (figura 4.1). Esse processo é repetido algumas vezes até que os critérios de identificação se esgotem. O resultado da aplicação desta técnica é o reconhecimento da hierarquia do domínio. Nesta etapa o entrevistado classifica um conjunto de fichas, em papel, de acordo com diferentes critérios (MASTELLA, 2005). A classificação de fichas leva em torno de uma hora e meia para ser realizada.

- Critérios de classificação: os critérios de classificação utilizados pelo entrevistado indicam características do domínio, como por exemplo, a seqüência de passos executados na solução do problema.
- Material produzido: com a classificação das fichas eliciaram-se as hierarquias básicas dos conceitos da ontologia, tais como, a hierarquia dos tipos de Rocha, tipos de Estruturas Sedimentares, tipos de Processos Depositionais e tipos de

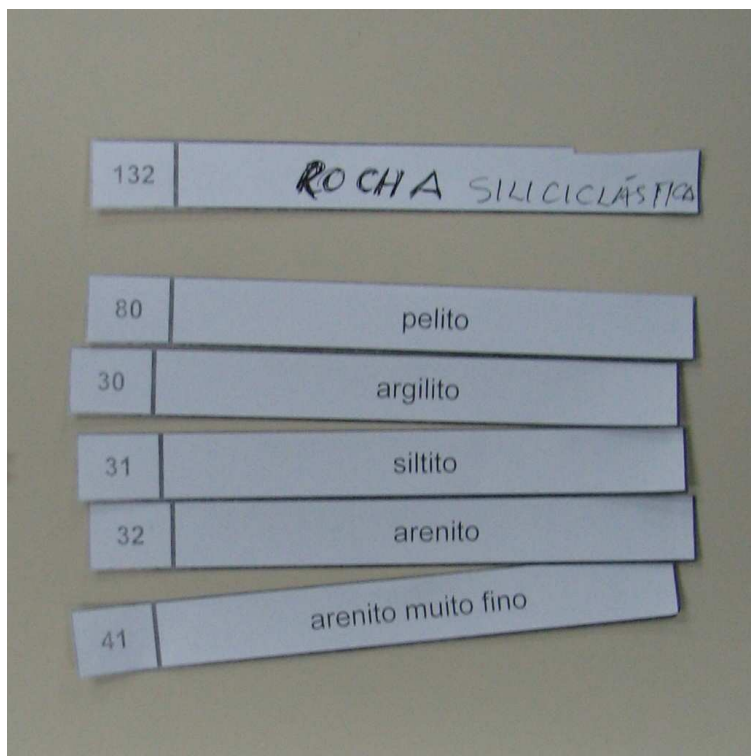


Figura 4.1: Fichas utilizadas na etapa.

Ambientes Sedimentares. Foram eliciadas as relações entre os conceitos Fácies e Processo (indica), Fácies e Rocha (associação), Fácies e Fósseis (associação), Fácies e Estrutura (parte-de), Processo e Ambiente (indica) e Fácies e Ambiente (indica). A relação *indica* estabelece que a análise e interpretação dos atributos de uma fácies sedimentar permite a identificação de um processo deposicional. Além disso, os critérios de classificação utilizados pelo especialista permitem a identificação da seqüência de passos executados na solução do problema que compreendem a descrição exhaustiva das feições geológicas e sua posterior interpretação. A relação *associação* define que as instâncias de dois tipos aparecem na natureza de forma associada. Isso também permite ao especialista realizar a interpretação geológica. A relação *parte-de* define um tipo como parte constituinte de outro. A figura 4.2 apresenta os relacionamentos básicos eliciados.

4. **Observação:** esta técnica consiste em observar o especialista em seu ambiente de trabalho usual, realizando anotações de como ele soluciona os problemas. Uma opção é filmar a atividade desempenhada pelo especialista para permitir sua análise em outro momento (MASTELLA, 2005). Esta etapa leva em torno de trinta minutos para ser realizada.
 - Material produzido: a seqüência de passos de como o geólogo identifica uma Fácies Sedimentar em uma amostra de rocha em testemunho. Além disso, identificou-se a seqüência de passos de como o geólogo raciocina sobre a sucessão vertical de Fácies Sedimentares para identificar um Ambiente Sedimentar. Juntamente com esse conhecimento eliciado produziu-se um vídeo de aproximadamente vinte minutos contendo a demonstração prática.

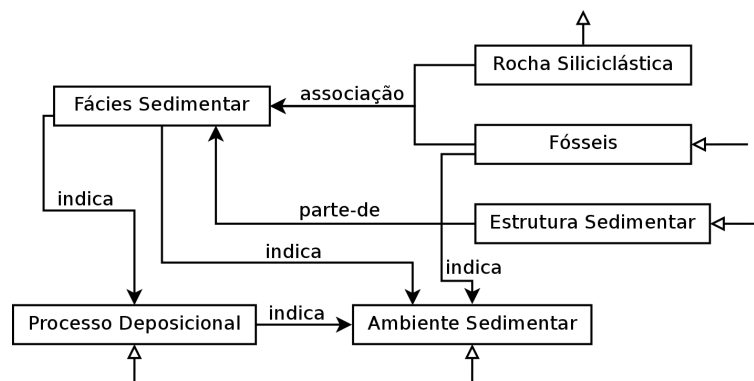


Figura 4.2: Relacionamentos básicos entre os conceitos do domínio eliciados na etapa de classificação de fichas.

5. **Entrevistas Estruturadas:** a característica principal das entrevistas estruturadas é que elas são orientadas a objetivos específicos. Dessa forma, a conversação entre engenheiro de conhecimento e entrevistado assume uma forma organizada. O entrevistado é forçado a ser sistemático em seu discurso para que os objetivos da entrevista sejam alcançados (MASTELLA, 2005). O conjunto de entrevistas estruturadas contempla a maior parte do projeto somando em torno de sete horas de entrevistas.

- **Aprofundamento:** o aprofundamento do conhecimento acontece através das entrevistas dirigidas juntamente com o especialista e também através da imersão na literatura indicada por ele.
- **Refinamento:** juntamente com o especialista realiza-se o refinamento do conhecimento organizado pelo engenheiro. O objetivo é esclarecer dúvidas que surgem ao longo do processo (a fim de preencher as lacunas que surgem), organizar o domínio e adequar o conhecimento à utilização na solução do problema do domínio. No refinamento, definiu-se precisamente os relacionamentos entre os conceitos estruturantes do domínio.
- **Material produzido:** além do refinamento do conhecimento eliciado esta etapa engloba a construção das representações pictóricas, principalmente as representações das estruturas sedimentares. O geólogo cria as representações das estruturas sedimentares de forma sintética, onde ele busca representar apenas as características intrínsecas que identificam a estrutura sedimentar. Essas características são expressas através do formato das lâminas de sedimento (figura 4.3-a) e o relacionamento entre diferentes camadas (figura 4.3-b).

Na seção seguinte apresenta-se uma análise do processo de aquisição realizado nesta dissertação.

4.1 Análise do Processo de Aquisição de Conhecimento

Como o objetivo deste trabalho é a construção de uma ontologia de domínio, o foco da aquisição de conhecimento não foi a captura dos modelos mentais que suportam a solução de problema do especialista, mas sim a compreensão de como termos comuns

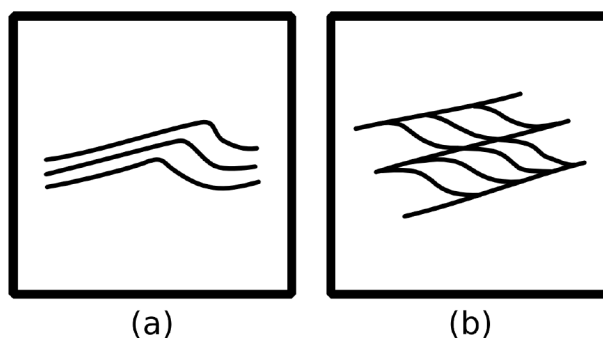


Figura 4.3: Características das representações pictóricas elaboradas pelo especialista.

da Estratigrafia, coletados da literatura, notas de aula, sites, relatórios e outras fontes se organizam no domínio. O especialista definiu a estrutura a ser adotada para organização do domínio e as hierarquias de conceitos mais relevantes a serem adotadas. Ele também teve um papel importante na seleção da terminologia nos casos de ambigüidades e na definição das traduções onde havia mais de uma opção disponível. A ontologia obtida a partir de sua orientação deverá ser refinada pela comunidade de geólogos de modo a criar de fato um conjunto de termos formais com significado compartilhado.

A entrevista não-estruturada aplicada nesta dissertação teve uma duração de uma hora e treze minutos. A partir da transcrição dessa entrevista foram confeccionadas 131 fichas com os termos considerados relevantes (em grande maioria substantivos).

A classificação de fichas gera como resultado diferentes organizações dos conceitos de acordo com critérios estabelecidos pelo entrevistado¹. Esses critérios refletem características do domínio e possíveis formas com as quais o problema identificado pode ser abordado.

A observação do especialista em seu ambiente usual de trabalho permite realizar o alinhamento entre a teoria apresentada nas etapas anteriores e como o problema é abordado e solucionado na prática.

O conhecimento eliciado a partir da imersão na literatura deve ser verificado e refinado continuamente pelo especialista em decorrência das insuficiências e discrepâncias apresentadas pela literatura. A literatura consultada neste trabalho apresentou divergências em relação à organização geral do domínio e no vocabulário empregado, tais como, diferentes termos para a escala granulométrica e diferentes nomeações para o mesmo tipo de Estrutura Sedimentar como a estrutura *Dish and Pipes* também nomeada como *Dish and Pillar* e a estrutura *Scour and Fill* também nomeada como *Rounded channel form* (LUCCHI, 1995). Esse tipo de problema foi resolvido pela seleção dos termos mais adequados e comuns na área, segundo o julgamento do especialista. O principal problema com relação à literatura consultada neste trabalho foi a catalogação de estruturas sedimentares onde observaram-se diferentes classificações para as mesmas estruturas, tal como, a estrutura Gretas de Contração classificada como uma Estrutura de Deformação (LUCCHI, 1995) onde na verdade é uma Estrutura de Topo-Base de Camada (segundo critério de organização proposto pelo especialista entrevistado).

Ao longo do processo de aquisição de conhecimento constatou-se dificuldades por parte do entrevistado em explicitar e transmitir seu conhecimento tácito. A verbalização ou registro escrito do conhecimento não foram suficientes para explicitá-lo. Assim, o especialista demonstrou a necessidade de explicitar o conhecimento (não contemplado pela

¹Das 131 fichas confeccionadas, o especialista acabou por descartar 40 delas durante a classificação.

verbalização e registro escrito) através de ilustrações. Constatou-se esse comportamento durante a explicação do especialista de conceitos como Estrutura Sedimentar identificando os diferentes padrões visuais observados, a geometria das camadas e o atributo seleção, entre outros.

Outra dificuldade presente no processo de aquisição de conhecimento é a disponibilidade do especialista. Neste trabalho realizou-se em média uma reunião por mês ao longo de dez meses. O total de horas de reuniões realizadas juntamente com o especialista é em torno de 9 horas.

O conhecimento visual eliciado a partir do especialista e representado através de ilustrações foi avaliado através de um experimento. O objetivo do experimento foi verificar o nível de expressividade das representações pictóricas propostas. O experimento realizado teve a participação de 21 geólogos com diferentes níveis de especialidade. Os participantes apresentaram níveis superiores a 60% de acerto em relação ao significado das representações pictóricas. O experimento é apresentado e discutido em maiores detalhes na seção 6.2 do capítulo 6.

A seguir são apresentados os resultados obtidos através do processo de eliciação de conhecimento.

- **Ontologia de domínio²:** composta pela hierarquia de tipos de Estruturas Sedimentares, hierarquia de tipos de Rochas, hierarquia de tipos de Ambientes Sedimentares, Fácies Sedimentar e seus atributos, Processo Depositional e seus atributos e seus relacionamentos;
- **Hierarquia de estruturas sedimentares:** criou-se uma organização geral de estruturas sedimentares de acordo com o padrão visual apresentado por cada uma delas. Existe muita discrepância na literatura em relação a como as estruturas sedimentares devem ser organizadas para busca e consulta. Nas obras que propõem algum tipo de organização, esta tende a ser pelo tipo de processo deposicional que originou a estrutura. O problema desta abordagem não-descritiva é que exige a interpretação genética da estrutura antes de sua descrição, contrariando o método científico. Este trabalho oferece uma contribuição ao estado da arte ao propor a estruturação das estruturas sedimentares de acordo com seus aspectos puramente descritivos. A hierarquia com as principais classes de estruturas criada pode ser observada na figura 3.10;
- **Representações pictóricas:** um conjunto total de 60 ícones expressa o conhecimento visual eliciado a partir do especialista. Do total de ícones, 32 descrevem valores de atributos e 28 representam tipos visuais de estruturas sedimentares;
- **Catálogo de estruturas sedimentares:** um conjunto de 100 estruturas sedimentares foi catalogado em dois idiomas (Português-Brasil e Inglês-EUA) a partir da literatura e classificado de acordo com a hierarquia proposta;
- **Nomenclatura de descrição:** organizou-se a nomenclatura utilizada na descrição dos atributos dos principais conceitos em dois idiomas (Português-Brasil e Inglês-EUA) totalizando 176 termos.

O capítulo seguinte apresenta o modelo proposto para a representação de conhecimento visual associado a ontologias.

²Apresentada no capítulo 6.

5 MODELAGEM CONCEITUAL DE CONTEÚDO VISUAL

O processo de aquisição de conhecimento permite observar a dificuldade do especialista em verbalizar e registrar por escrito seu conhecimento visual. Além disso, observa-se também a necessidade que o especialista tem em expressar seu conhecimento visual através de ilustrações pictóricas. O conhecimento visual existente por trás dessas ilustrações requer tratamento adequado.

Os modelos de representação de conhecimento visual apresentados na seção 2.4 basicamente realizam a representação de conhecimento visual através de proposições e através da aplicação de métodos de processamento de imagens. Os modelos apresentados por (LIU et al., 2007) e (BERTINI et al., 2007) se diferenciam dos demais por representarem o conhecimento de forma dual. No entanto, o conhecimento visual representado por esses modelos é extraído automaticamente por meio de técnicas de processamento de imagens.

O modelo de representação de conhecimento visual proposto neste capítulo engloba conceitos cuja representação proposicional não é suficiente para expressar por completo seu significado. Esses conceitos necessitam de representações pictóricas para explicitar por completo seu significado. Dessa forma, esses conceitos necessitam de representações pictóricas para explicitar seu significado de modo mais completo.

O conhecimento representado por este modelo não reside em imagens, mas nos modelos mentais de conhecimento pertencentes a especialistas. Della Fávera em (FÁVERA, 2001) argumenta que a interpretação estratigráfica é feita a partir do reconhecimento em campo de feições que devem ser antes aprendidas através de repetidas exposições a essa feição, de modo que o geólogo passe a “enxergá-las”. De fato, as feições geológicas passam a ser reconhecidas quando o geólogo incorpora os modelos mentais dessas feições. Esses modelos não são traduzíveis somente utilizando-se descrições textuais. Quando necessário explicitá-los em descrições e relatórios, os geólogos o fazem através de desenhos e esquemas, como o exemplo da figura 5.1.

Por outro lado, sendo as feições geológicas reconhecidas por aproximação heurística de abstrações mentais, não é possível fazer seu reconhecimento automático através de algoritmos que façam o reconhecimento de feições geométricas. Portanto, diferentemente dos modelos de representação dual de conhecimento visual que aplicam métodos de processamento de imagem, este modelo não aplica tal método. As representações pictóricas utilizadas foram construídas por meio do processo de aquisição de conhecimento, descrito no capítulo 4.

A representação dos conceitos neste modelo, no entanto, também é realizada de forma dual. Os conceitos são representados proposicionalmente e pictoricamente. A porção proposicional da representação é realizada através de símbolos, utilizados para fins de comunicação, cujo significado é definido por convenção. O diferencial do modelo proposto é a porção pictórica da representação. Para representar pictoricamente os conceitos

propriedades rígidas, conforme a definição (5.3).

$$\begin{aligned} b \in \beta \quad | \quad b : w \rightarrow \mathcal{P}(D) \\ \text{para todo } w, w' \in W \\ b(w) = b(w') \end{aligned} \quad (5.3)$$

Apresentado o conjunto de conceitos rígidos, define-se V (definição (5.4)) como o conjunto que contém o vocabulário utilizado na representação simbólica e pictórica de conceitos e valores de dimensões de qualidade. O conjunto V_S é o conjunto que contém o vocabulário simbólico e o conjunto V_P contém o vocabulário pictórico. Por definição são dois conjuntos de vocabulário diferentes.

$$\begin{aligned} V &= V_S \cup V_P \\ V_S \cap V_P &= \emptyset \end{aligned} \quad (5.4)$$

Ambos os conjuntos V_S e V_P são divididos em subconjuntos que possuem o vocabulário para representar separadamente conceitos e valores de dimensões de qualidade. Suas definições são apresentadas em (5.5) e (5.6), respectivamente.

O conjunto V_S , definido em (5.5), possui dois subconjuntos V_{S_C} e V_{S_A} . O primeiro contém o vocabulário simbólico utilizado para representar conceitos enquanto que o segundo possui o vocabulário simbólico utilizado na representação de valores de dimensões de qualidade.

$$V_S = V_{S_C} \cup V_{S_A} \quad (5.5)$$

O conjunto V_P é definido em (5.6) e estabelece-se que o conjunto V_{P_C} ² contém o vocabulário pictórico para representar conceitos e que o conjunto V_{P_A} possui o vocabulário pictórico para representar valores de dimensões de qualidade.

$$V_P = V_{P_C} \cup V_{P_A} \quad (5.6)$$

Na extensão do triângulo de Ullmann, apresentada na figura 1.1, adiciona-se a relação de ancoramento. Ela estabelece o relacionamento entre as representações simbólica e pictórica de uma conceitualização. A relação de ancoramento entre uma representação simbólica e uma pictórica é definida formalmente em (5.7) como sendo uma relação total onde cada elemento de V_S está relacionado a um único elemento de V_P .

$$A : V_S \leftrightarrow V_P \quad (5.7)$$

$$A = A_C \cup A_A \quad (5.8)$$

A relação de ancoramento definida em (5.8) é especializada em duas relações. A relação A_C , definida em (5.9), estabelece o ancoramento entre representações simbólicas e pictóricas de conceitos, enquanto que a relação A_A , definida em (5.10), define o ancoramento entre representações simbólicas e pictóricas de valores de dimensões de qualidade.

²O conjunto V_{P_C} possui uma restrição. O vocabulário nele contido não representa instâncias de conceitos. Esse vocabulário é constituído por predicados unários utilizados na representação dos conceitos contidos no conjunto β .

Dessa forma, uma representação simbólica está vinculada a somente uma representação pictórica de um conceito.

$$A_C : V_{S_C} \leftrightarrow V_{P_C} \quad (5.9)$$

$$A_A : V_{S_A} \leftrightarrow V_{P_A} \quad (5.10)$$

A seguir, em (5.11) definem-se as funções de interpretação que mapeiam elementos sintáticos e pictóricos para elementos semânticos. As funções de interpretação i_α e i_γ fazem o mapeamento de representações simbólicas e pictóricas de conceitos para o respectivo conceito pertencente ao conjunto β . Para todo par $\langle x, y \rangle$ de elementos de representação simbólica e pictórica a igualdade entre as funções i_α e i_γ garante que ambas as representações são mapeadas para e interpretadas sobre o mesmo conceito.

$$\left. \begin{array}{l} i_\alpha : V_{S_C} \rightarrow \beta \\ i_\gamma : V_{P_C} \rightarrow \beta \end{array} \right\} \begin{array}{l} x, y \mid \langle x, y \rangle \in A \\ i_\alpha(x) = i_\gamma(y) \end{array} \quad (5.11)$$

As funções de interpretação definidas em (5.12) realizam o mapeamento entre representações simbólicas e pictóricas e seus respectivos valores de dimensões de qualidade pertencentes ao conjunto D_A , que são indivíduos que representam valores de dimensões de qualidade. Todo o par $\langle x, y \rangle$ de elementos de representação simbólica e pictórica a igualdade entre as funções i_δ e i_ζ garante que ambos elementos de representação são mapeados e interpretados sobre o mesmo valor de uma dimensão de qualidade.

$$\left. \begin{array}{l} i_\delta : V_{S_A} \rightarrow D_A \\ i_\zeta : V_{P_A} \rightarrow D_A \end{array} \right\} \begin{array}{l} x, y \mid \langle x, y \rangle \in A \\ i_\delta(x) = i_\zeta(y) \end{array} \quad (5.12)$$

Na seção a seguir são definidos os metaconstrutos propostos neste trabalho, com base nas definições apresentadas nesta seção.

5.2 Metaconstrutos de Modelagem para a Representação de Conhecimento Visual

A definição dos metaconstrutos propostos para representar conceitos cujo significado só é expresso por completo através de representações simbólicas e pictóricas são apresentados na seqüência. Para isso utilizam-se as definições apresentadas na seção anterior (seção 5.1). Também apresenta-se a classificação segundo as metapropriedades de Identidade, Rigidez, Unidade e Dependência Existencial. Além disso, expõem-se suas classificações segundo a teoria de fundamentação ontológica apresentada por (GUIZZARDI, 2005).

5.2.1 Metaconstruto *Pictorial Concept*

O objetivo deste metaconstruto é representar conceitos que são tipos visuais, ou seja, conceitos que **não** são atributos ou qualidades de outros conceitos.

O metaconstruto *Pictorial Concept* é aplicado na representação de conceitos pertencentes ao subconjunto β cujas instâncias pertencem ao subconjunto D_C . O metaconstruto é composto pelos vocabulários V_{S_C} e V_{P_C} que possuem representações simbólicas e pictóricas dos conceitos, respectivamente. O metaconstruto é ainda composto pela função

de ancoramento A_C que define o ancoramento entre representações simbólicas e pictóricas dos vocabulários que o representam. E por fim, o metaconstruto é composto pelas funções de mapeamento i_α e i_γ que mapeiam o vocabulário e os conceitos. A definição do metaconstruto *Pictorial Concept* é apresentada em (5.13).

$$\mathcal{PC} = \{V_{S_C}, V_{P_C}, A_C, i_\alpha, i_\gamma\} \quad (5.13)$$

A seguir apresenta-se a classificação do metaconstruto de acordo com as metapropriedades apresentadas na seção 2.1.3. O objetivo, aqui, é explicitar o significado dos conceitos representados pelo metaconstruto.

- **Identidade:** os conceitos representados pela primitiva fornecem critérios de identidade (+O) ou carregam critérios de identidade fornecidos por seus supertipos (+I);
- **Rigidez:** possui rigidez ontológica (+R);
- **Unidade:** possui critério de unidade (+U);
- **Dependência existencial:** pode ser ou não existencialmente dependente de outro conceito (+D/-D).

Ainda com o objetivo de explicitar o significado transmitido pelo metaconstruto de representação, a seguir ele é analisado do ponto de vista da teoria de metatipos apresentada em 2.1.4. O metaconstruto proposto representa conceitos cujo supertipo mais genérico é o conceito Sortal Rígido (*Rigid Sortal*). Dessa forma, o metaconstruto representa o seguinte conjunto de conceitos³ (em destaque na figura 5.2, extraída de (GUIZZARDI, 2005)): Tipo (*Kind*), Quantidade (*Quantity*), Coletivo (*Collective*) e Subtipo (*SubKind*).

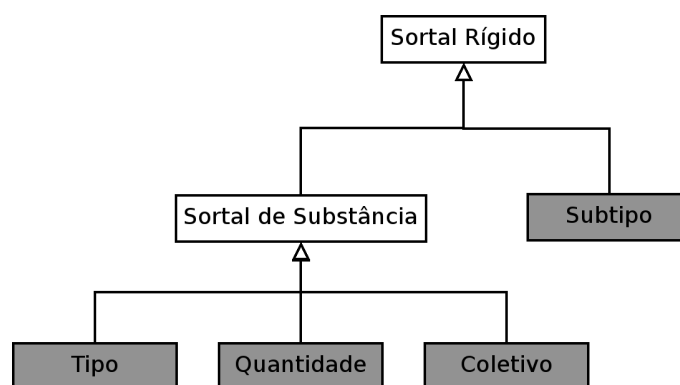


Figura 5.2: Hierarquia de Sortais Rígidos representados pelo metaconstruto *Pictorial-Concept*.

A figura 5.3 apresenta a aplicação do metaconstruto proposto na representação de uma estrutura sedimentar. À esquerda da figura observa-se a representação proposicional enquanto que à direita visualiza-se a representação icônica da estrutura sedimentar.

³Para a transmissão correta de significado deve-se observar as restrições impostas pelos tipos.

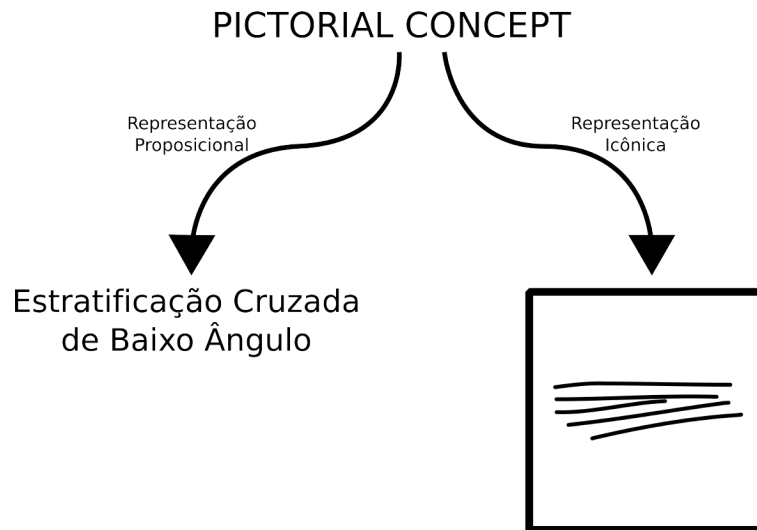


Figura 5.3: Aplicação do metaconstruto *Pictorial Concept* na representação de uma estrutura sedimentar.

5.2.2 Metaconstruto *Pictorial Attribute*

O objetivo deste metaconstruto é representar valores de dimensões de qualidade que são associadas a conceitos inerentes a outros conceitos. De forma geral, este metaconstruto representa valores de atributos de outros conceitos.

O metaconstruto *Pictorial Attribute* representa elementos pertencentes ao subconjunto D_A que são valores de dimensões de qualidade. O metaconstruto é composto pelos vocabulários V_{S_A} e V_{P_A} utilizados na representação simbólica e pictórica, respectivamente, dos valores das dimensões de qualidade. O metaconstruto é ainda composto pela função de ancoramento A_A que define a relação de ancoramento entre as representações simbólicas e pictóricas dos vocabulários que o compõem. As funções i_δ e i_ζ compõem o metaconstruto realizando o mapeamento entre os vocabulários simbólico e pictórico e os valores das dimensões de qualidade. A definição do metaconstruto é apresentada em (5.14).

$$\mathcal{PA} = \{V_{S_A}, V_{P_A}, A_A, i_\delta, i_\zeta\} \quad (5.14)$$

A seguir apresenta-se a classificação do metaconstruto de acordo com as metapropriedades de Identidade, Rigidez, Unidade e Dependência Existencial.

- **Identidade:** os elementos representados pelo metaconstruto possuem ou carregam critério de identidade (+O) ou (+I);
- **Rigidez:** possui rigidez ontológica (+R);
- **Unidade:** não possui critério de unidade (~U);
- **Dependência existencial:** por ser inerente à outros conceitos possui dependência existencial (+D).

O metaconstruto proposto *Pictorial Attribute* representa os valores de Dimensões de Qualidade (*Quality Domains*). Esses são os valores que possivelmente um conceito que representa um atributo pode assumir. Dessa forma, esse conjunto de valores, com suas representações simbólicas e pictóricas constituem uma *Qualia* de um conceito que representa um atributo.

A figura 5.4 apresenta o valor assumido pelo universal de qualidade Angularidade que descreve a estrutura sedimentar apresentada na figura 5.3. Novamente, à esquerda observa-se representação proposicional e à direita visualiza-se a representação icônica do valor assumido pelo atributo angularidade da estrutura sedimentar descrita.

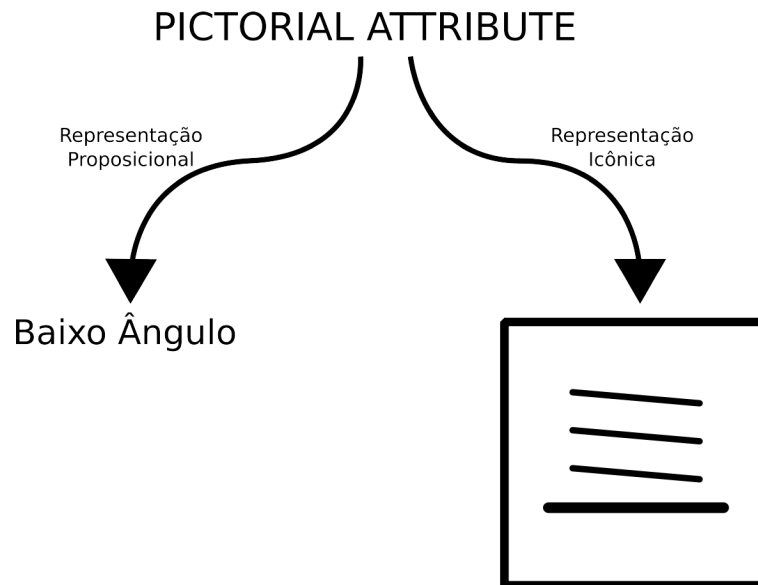


Figura 5.4: Aplicação do metaconstruto *Pictorial Attribute* na representação de um valor assumível pelo atributo angularidade.

6 UMA ONTOLOGIA DE REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO VISUAL PARA A ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR

O conhecimento visual adquirido¹ com o auxílio do especialista em Estratigrafia Sedimentar é formalizado neste capítulo por meio de uma ontologia de domínio com conteúdo visual agregado através dos metaconstrutos propostos no capítulo 5.

O conhecimento é formalizado por meio de uma ontologia que organiza os conceitos do domínio juntamente com conteúdo visual agregado. Alguns dos conceitos abordados pela ontologia transmitem seu significado através de representações puramente proposicionais. No entanto, alguns dos conceitos que os geólogos só expressam graficamente necessitam de representação pictórica para explicitar por completo seu significado. Dessa forma, a ontologia representa esses conceitos através dos metaconstrutos de representação de conhecimento visual propostos no capítulo 5.

O conhecimento organizado através desta ontologia é aplicado na construção de sistemas de software que auxiliam geólogos (novatos e especialistas) na tarefa de descrição de Fácies e Estruturas Sedimentares. O objetivo futuro é que o conhecimento visual organizado dessa forma possibilite a aplicação de métodos de raciocínio tornando possível a interpretação automática de ambientes de deposição a partir das descrições capturadas com o sistema.

6.1 Modelagem do conhecimento em Estratigrafia utilizando os metaconstrutos

Os conceitos eliciados e modelados serão descritos nas quatro próximas seções. Primeiramente, na seção 6.1.1, são apresentados conceitos que representam Universais Duradouros. Na sequência, a seção 6.1.2 apresenta os conceitos que representam Universais Perenes. Na seção 6.1.3, são apresentados os conceitos que representam Universais de Qualidade com suas respectivas Dimensões de Qualidade. E por fim, a seção 6.1.4 apresenta a aplicação dos metaconstrutos propostos no capítulo 5.

Os conceitos modelados a seguir representam as definições apresentadas no capítulo 3 e os conceitos eliciados a partir do geólogo especialista.

6.1.1 Universais Duradouros

Os principais conceitos modelados representam as definições apresentadas no capítulo 3 e o conhecimento eliciado a partir do geólogo especialista. Os conceitos modelados

¹O processo de aquisição de conhecimento é descrito no capítulo 4.

nesta seção são classificados como Universais Duradouros que são classes de indivíduos que são presentes por completo, ou seja, suas partes sempre o acompanham sem que sua identidade varie ao longo do tempo, segundo a UFO-A (apresentada na seção 2.1.4). Os conceitos são analisados de acordo com as metapropriedades Identidade que permite a identificação de indivíduos de um conceito, Rigidez que analisa a essencialidade de de uma propriedade a um indivíduo, Unidade que permite a identificação de partes e limites de indivíduos e a metapropriedade de Dependência Existencial onde identifica-se a necessidade da existência de uma instância de uma determinada propriedade para que exista uma instância de outra propriedade. Essas propriedades são apresentadas na seção 2.1.3.

- *Rocha Siliciclástica* (+O, +R, ~U, -D): suas características intrínsecas são granulometria, esfericidade, arredondamento e seleção. Essas, definem seu critério de identidade (+O). No domínio da Estratigrafia Sedimentar o conceito de Rocha Siliciclástica é tratado como uma quantidade de matéria que não possui critério de unidade (~U). Rocha Siliciclástica não é externamente dependente de nenhum outro conceito do modelo do domínio. De acordo com a teoria de metaconceitos, esse conceito é classificado como uma Quantidade de Matéria (*Amount of Matter*). A figura 6.1 apresenta a hierarquia de rochas modelada.
- *Fóssil* (+O, +R, +U, -D): a espécie de organismo (animal ou vegetal) preservado pelo processo de fossilização é que caracteriza intrinsecamente um fóssil, logo (+O). Um fóssil se trata de uma porção bem determinada de rocha que preserva as formas originais do ser vivo onde se pode determinar precisamente seus limites físicos, assim, o fóssil possui um critério de unidade (+U). O conceito Fóssil não é existencialmente dependente de outro conceito do modelo (-D). Este conceito é classificado como um Tipo (*Kind*), segundo suas metapropriedades.
- *Fácies Sedimentar* (+O, +R, +U, +D): possui como características intrínsecas a Rocha Siliciclástica que a constitui e suas Estruturas Sedimentares. Essas características definem seu critério de identidade (+O). Os limites físicos de uma fácies são precisamente identificados através de suas superfícies limítrofes, dessa forma, ela carrega um critério de unidade (+U). Fácies Sedimentar é externamente dependente do conceito Rocha Siliciclástica, logo (+D). Esse conceito é classificado como um Tipo (*Kind*) de acordo com a teoria de metatipos. A figura 6.3 apresenta o conceito de fácies sedimentar modelado juntamente com seus atributos.
- *Estrutura Sedimentar* (+O, +R, +U, +D): possui como atributo intrínseco o padrão visual formado pelo arranjo espacial dos grãos de sedimento que por consequência define seu critério de identidade (+O). Da mesma forma que uma Fácies, seus limites físicos são bem definidos, atribuindo-lhe critério de unidade (+U). O conceito Estrutura Sedimentar também é externamente dependente do conceito Rocha Siliciclástica, logo (+D). Em decorrência de suas metapropriedades este conceito classifica-se como um Tipo (*Kind*). A figura 6.2 apresenta a hierarquia de estruturas sedimentares modelada.

Todos os conceitos apresentados acima são sortais que fornecem critérios de identidade, assim, são todos classificados como rígidos (+R), em relação à metapropriedade rigidez. A tabela 6.1 sintetiza a análise dos conceitos acima segundo suas metapropriedades.

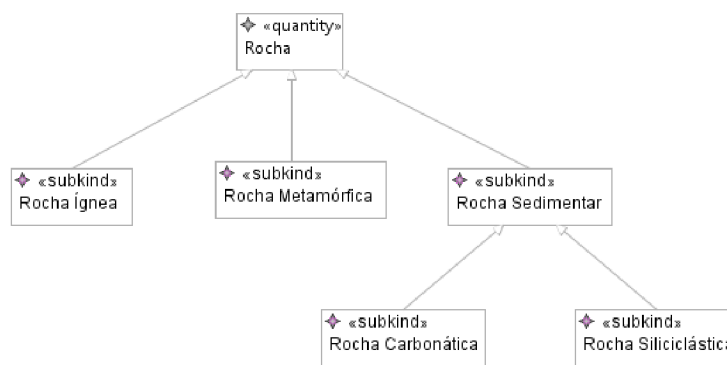


Figura 6.1: Hierarquia de tipos de rochas.

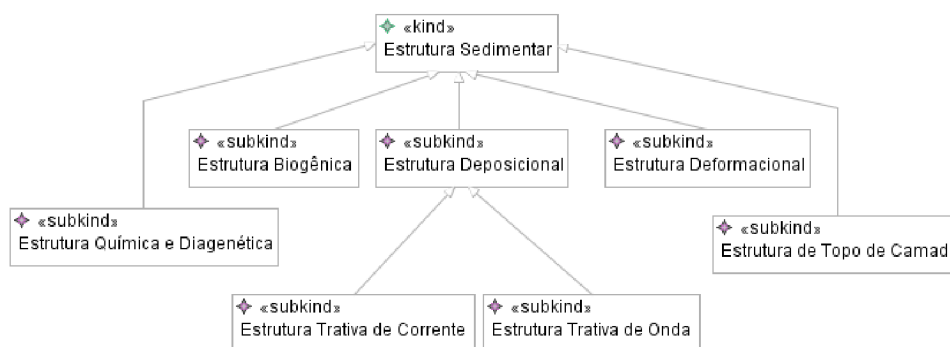


Figura 6.2: Hierarquia de estruturas sedimentares.

6.1.2 Universais Perenes

Universais Perenes representam classes de indivíduos cuja identidade se dá pelo acúmulo de partes temporais fixas no tempo. A seguir são apresentados os conceitos que representam Universais Perenes, segundo a UFO-B.

- Um *Ambiente Sedimentar* caracteriza-se pelo estado atual, observado em planta, de uma região. Esse estado é caracterizado pelas propriedades físico-químicas anteriormente atuantes na região e que foram preservadas pela litificação dos sedimentos. Este conceito é classificado como um Evento.
- *Processo Depositional* é um evento composto por outros eventos e participações, ou seja, é um evento complexo que não é analisado através das partes temporais que o compõem, mas através dos resultados que produz. Dessa forma, o conceito de Processo Depositional é classificado como um Evento Complexo pela UFO-B.

A literatura pesquisada não define relações entre Universais Duradouros e Perenes além da relação de participação (vide seção 2.1.4). No entanto, existe uma relação entre os conceitos Processo Depositional e Estrutura Sedimentar que é de criação. Assim, define-se a relação *CRIA* entre Processo Depositional e Estrutura Sedimentar.

6.1.3 Universais de Qualidade

Universais de Qualidade, definido na seção 2.1.4, representam qualidades de outros universais sendo inerentes e existencialmente dependentes desses. Universais de Qualidade estão relacionados a Dimensões de Qualidade que representam o espaço de valores

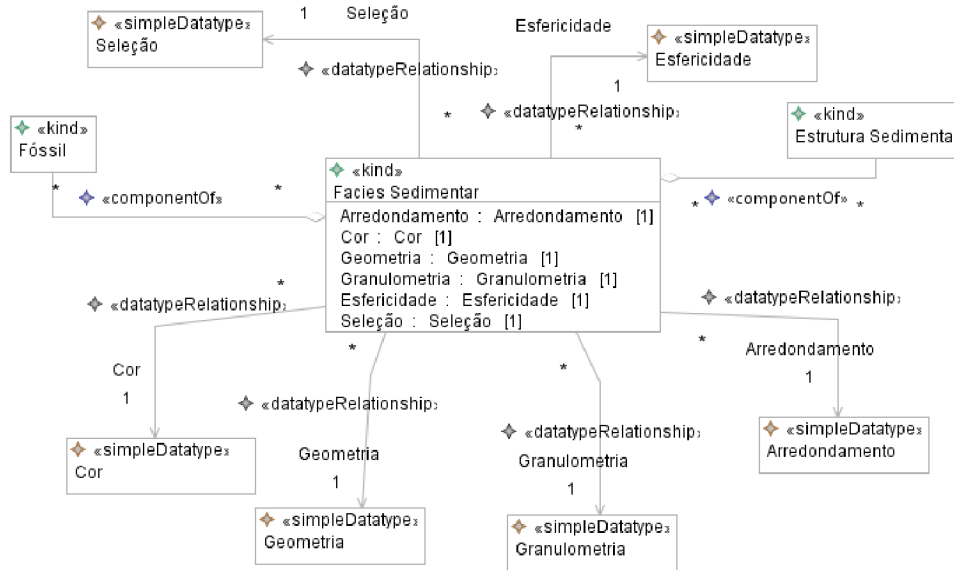


Figura 6.3: Fácies Sedimentar e seus atributos.

Tabela 6.1: Classificação dos Universais Duradouros do modelo segundo suas metapropriedades.

Conceito	Identidade	Rigidez	Unidade	Dependência	UFO-A
<i>Rocha Siliciclástica</i>	+O	+R	~U	-D	Quantidade de Matéria
<i>Fóssil</i>	+O	+R	+U	-D	Tipo
<i>Fácies Sedimentar</i>	+O	+R	+U	+D	Tipo
<i>Estrutura Sedimentar</i>	+O	+R	+U	+D	Tipo

que podem assumir. Os conceitos apresentados a seguir representam atributos e qualidades de conceitos apresentados nas seções anteriores. Dessa forma, são classificados como Universais de Qualidade (*Quality Universals*), segundo teoria de (GUIZZARDI, 2005). Associadas a esses Universais de Qualidade são apresentadas as Dimensões de Qualidade (*Quality Dimensions*) que determinam o espaço de valores que esses atributos podem assumir.

O primeiro conjunto de conceitos apresentado é inerente à Fácies Sedimentar. Abaixo, são apresentados os conceitos e seus respectivos espaços de valores.

- *Arredondamento*: indica o quão lisa é uma partícula clástica. Seu espaço de valores é: *Muito angular, Angular, Subangular, Subarredondado, Arredondado e Bem arredondado*.
- *Cor*: contém um conjunto de 119 cores definidos nominalmente de acordo com a tabela padrão para rochas NBS/ISCC RC.
- *Esfericidade*: indica o nível de semelhança do formato de uma esfera que uma partícula clástica possui. Seu espaço de valores é: *Alta, Média e Baixa*.

Tabela 6.2: Classificação dos Universais Perenes do modelo de acordo com suas características.

Conceito	Estabilidade Temporal	Partes Temporais	UFO-B
<i>Ambiente Sedimentar</i>	✓	✗	Evento Atômico
<i>Processo Depositional</i>	✗	✓	Evento Complexo

- *Geometria*: indica a forma camada à qual a Fácies está acondicionada. Seu espaço de valores é: *Tabular, Lenticular côncavo convexa, Lenticular topo convexo base plana, Lenticular topo plano base convexa, Sigmoide, Cunha e Irregular*.
- *Granulometria*: indica o tamanho médio das partículas clásticas. Seu espaço de valores é: *Silte, Argila, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa, Areia muito grossa, Cascalho, Grânulo, Seixo, Bloco e Matacão*.
- *Seleção*: indica a uniformidade dos tamanhos das partículas clásticas. Seu espaço de valores é: *Muito bem selecionado, Bem selecionado, Moderadamente selecionado, Mal selecionado e Muito mal selecionado*.

Os conceitos apresentados na seqüência, com seus respectivos espaços de valores, são inerentes ao conceito Estrutura Depositional.

- *Angularidade*: indica o ângulo entre as lâminas de sedimento e a linha base. Seu espaço de valores é: *Horizontal, Baixo ângulo e Alto ângulo*.
- *Forma das Lâminas*: indica o formato de cada lâmina de sedimento. Seu espaço de valores é: *Acanalada, Ondulada, Ondulada truncada, Paralela, Planar, Sigmoidal e Tangencial*.

E por fim, os seguintes conceitos são inerentes ao conceito Processo Depositional.

- *Energia*: indica a velocidade de deslocamento de um fluxo. Seu espaço de valores é: *Alta, Média, Baixa e Muito baixa*.
- *Nível D'água*: indica se o processo ocorre em meio aéreo ou aquoso. Seu espaço de valores é: *Subaéreo e Subaquoso*.
- *Tipo de Corrente*: indica a forma com que um processo deposicional ocorre: Seu espaço de valores é: *Ondas, Vento, Fluvial e Maré*.

6.1.4 Metaconstrutos visuais

Nesta seção aplicam-se os metaconstrutos propostos no capítulo 5.

O conceito Estrutura Sedimentar é considerado um tipo visual e é classificado como um *Pictorial Concept*. A figura 6.4 apresenta alguns tipos de Estruturas Sedimentares e suas respectivas representações pictóricas.

Os conceitos Arredondamento, Esfericidade, Geometria e Seleção são conceitos inerentes ao conceito Fácies e são classificados pelo metaconstruto *Pictorial Attribute*. As



Figura 6.4: Diferentes Estruturas Sedimentares e suas respectivas representações pictóricas.

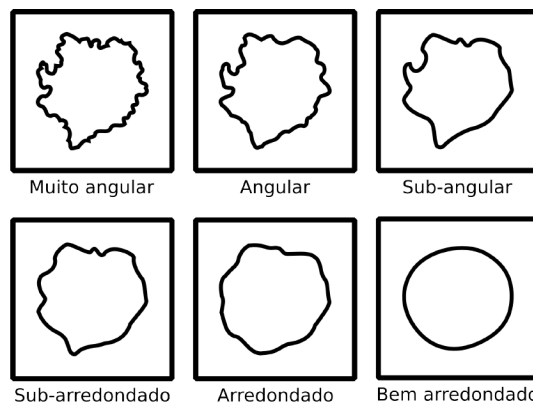


Figura 6.5: Universal de Qualidade Arredondamento e sua respectiva Dimensão de Qualidade.

figuras 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8 apresentam suas respectivas representações pictóricas para seus espaços de valores.

Os conceitos Angularidade e Forma das Lâminas, inerentes ao conceito Estrutura Depositional, são classificados pelo metaconstruto *Pictorial Attribute*. As figuras 6.9 e 6.10 apresentam as respectivas representações pictóricas para seus espaços de valores.

6.2 Validação da Expressividade dos Construtos

O experimento realizado neste trabalho buscou avaliar a expressividade e intuitividade das representações icônicas propostas (desconhecidas pelos participantes do experimento) para os conceitos geológicos cujo significado só é expresso por completo com o auxílio de representações icônicas. Mais especificamente, o experimento buscou avaliar se as representações icônicas são expressivas o suficiente ao ponto de o geólogo ser capaz de associá-la com o termo geológico adequado, sem qualquer treinamento prévio.

Para a realização do experimento foram analisadas as respostas de geólogos de dife-

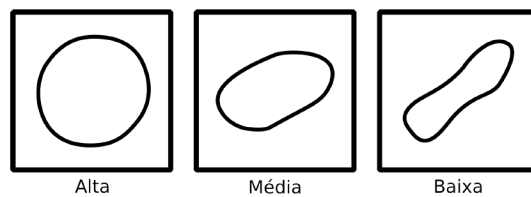


Figura 6.6: Universal de Qualidade Esfericidade e sua respectiva Dimensão de Qualidade.

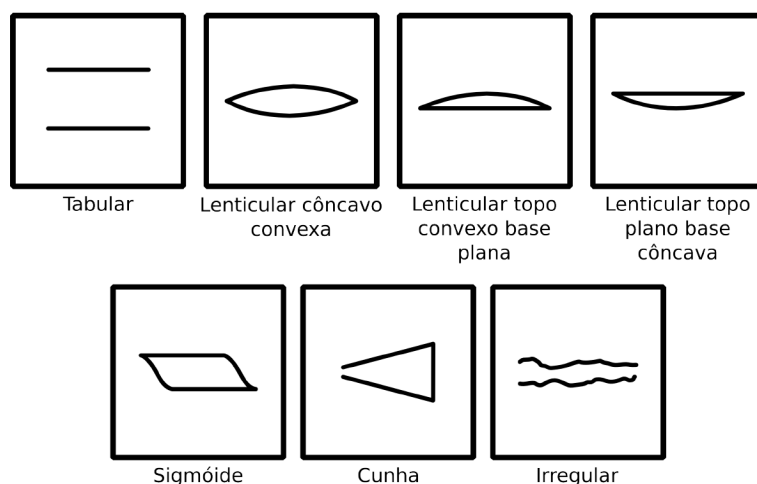


Figura 6.7: Universal de Qualidade Geometria e sua respectiva Dimensão de Qualidade.

rentes níveis de especialidade. Ao todo, 21 geólogos participaram do experimento, sendo 16 alunos com nível de graduação, 3 alunos com nível de mestrado e um doutor formado. O número de participantes não foi estatisticamente significativo mas foi o suficiente para uma avaliação preliminar.

Além de dados demográficos, foram coletados dados a respeito da formação que o participante tem no domínio da Estratigrafia Sedimentar. Também foram coletados dados a respeito da quantidade mensal de tempo (em horas) dedicada a tarefas relacionadas à Estratigrafia Sedimentar. Nessa quantia de tempo estão inclusas atividades profissionais, de iniciação científica ou apenas disciplinas nos respectivos cursos.

Para a realização do experimento, apresentou-se aos participantes um conjunto de termos geológicos que teoricamente lhes são conhecidos. Para cada um dos termos apresentados existe uma e somente uma representação icônica. Os termos conhecidos foram dispostos em uma coluna enquanto que as representações icônicas foram dispostas em outra coluna (sem qualquer legenda que auxilie a identificação de qual termo geológico a representação icônica se refere). O objetivo do participante é analisar as representações icônicas (presentes na coluna 4 e identificadas pelas respectivas letras presentes na coluna 3 da tabela 6.3) e associá-las com os termos que eles achar que representam (coluna 2 da tabela 6.3). Ao todo o experimento contém 64 termos divididos em duas partes. A primeira parte contém termos relacionados a Fácies Sedimentares e seus atributos, totalizando 34 termos, enquanto que a segunda parte do experimento contém termos relacionados a Estruturas Sedimentares, totalizando 30 termos. Representações visuais de valores de domínios de qualidade são apresentadas em grupos (representações C e D). A tabela 6.3 apresenta uma porção do experimento. O resultado correto da associação entre os termos e os ícones apresentados na tabela 6.3 é a seqüência de letras: “B”, “C”, “E”, “F”, “D” e “A” disposta de cima para baixo na coluna 2.

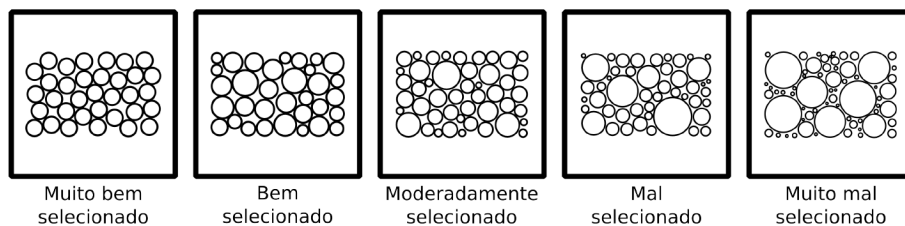


Figura 6.8: Universal de Qualidade Seleção e sua respectiva Dimensão de Qualidade.

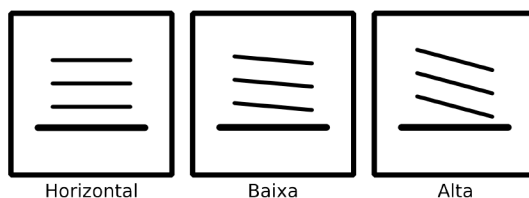


Figura 6.9: Universal de Qualidade Angularidade e sua respectiva Dimensão de Qualidade.

O gráfico apresentado na figura 6.11 mostra a quantidade de acertos contabilizados nas associações realizadas entre termos geológicos conhecidos de atributos de fácies e termos conhecidos de estruturas sedimentares e seus ícones propostos. O gráfico apresentado na figura 6.12 apresenta a quantidade de acertos contabilizados nas associações entre termos e ícones de acordo com o nível de instrução do participante. Já o gráfico da figura 6.13 apresenta a quantidade de associações corretas de acordo com a quantidade de horas de trabalho habitual dedicadas à Estratigrafia Sedimentar.

O gráfico da figura 6.11 apresenta a quantidade média de associações corretas realizadas pelos participantes em cada um dos grupos de ícones e termos geológicos (grupo relacionado a fácies sedimentos e relacionado a estruturas sedimentares). Os resultados obtidos são: termos relacionados a atributos de fácies 70,84% e termos relacionados a estruturas sedimentares 66,45%.

O gráfico ilustrado na figura 6.12 apresenta a média de acertos computados para as associações realizadas pelos participantes de acordo com seu nível de instrução. Os participantes foram agrupados em três classes de acordo com seus níveis de instrução: Graduação, Mestrado e Doutorado. Cada par adjacente de colunas representa uma classe de participantes. A coluna à esquerda representa a quantidade de acertos nas associações entre representações icônicas e termos geológicos relacionados à fácies sedimentares enquanto que a coluna à direita refere-se a termos relacionados à estruturas sedimentares. Os resultados obtidos são: Graduação 67,86% e 72%, Mestrado 70,59% e 86,36% e Doutorado 76,47% e 83,33%, respectivamente.

Da mesma forma que o gráfico 6.12, o gráfico 6.13 apresenta a média de acertos das associações realizadas entre termos relativos à fácies e estruturas sedimentares e as representações propostas. Neste gráfico os participantes foram agrupados de acordo com a quantidade mensal de horas de trabalho relacionada ao domínio da Estratigrafia Sedimentar no último ano. O primeiro conjunto é representado pelos participantes que dedicaram em média menos de 11 horas mensais. O segundo conjunto é composto por indivíduos que dedicaram entre 11 e 40 horas mensais. E por fim, o terceiro conjunto contém os participantes que dedicaram mais de 40 horas mensais a trabalhos relacionados à Estratigrafia Sedimentar. A quantidade de acertos para associações de termos relativos à fácies e estruturas sedimentares com as representações icônicas é respectivamente de 70% e

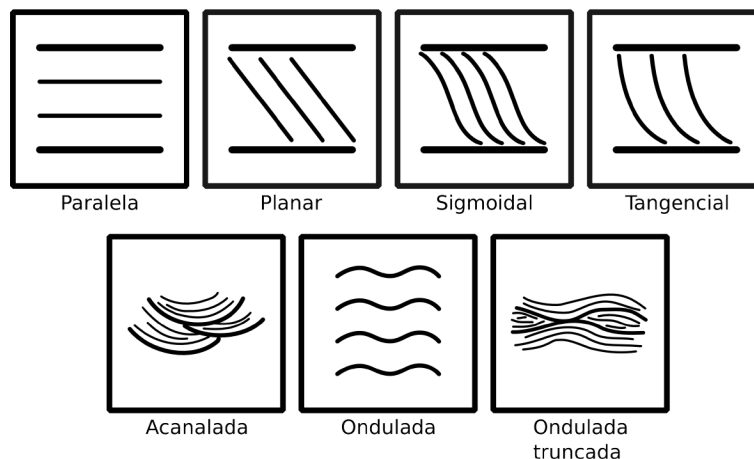


Figura 6.10: Universal de Qualidade Forma das Lâminas e sua respectiva Dimensão de Qualidade.

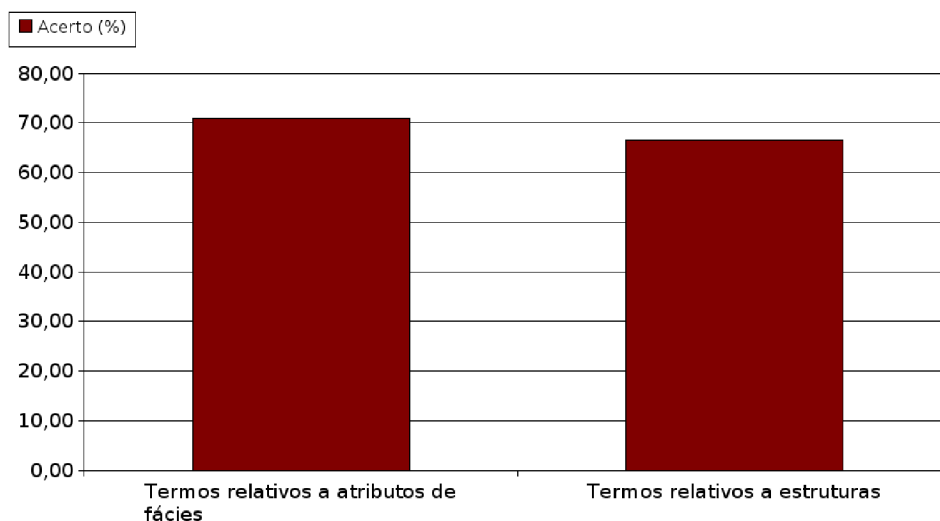


Figura 6.11: Média de acertos das associações de termos relacionados a atributos de fácies e estruturas sedimentares.

61,11% para o primeiro conjunto, 67,86% e 80% para o segundo conjunto e 85,29% e 83,33% para o terceiro conjunto.

A análise dos dados coletados no experimento nos permite afirmar que as representações icônicas propostas possuem um elevado nível de associatividade ao significado que se propõem a representar. Pode-se afirmar isso com base na quantidade de associações possíveis entre representações icônicas e termos e com base nos índices de acerto apresentados pelos participantes do experimento, pois todos os índices computados foram superiores à 60%.

Os resultados mostraram ainda a convergência dos erros associados ao uso dos mesmos termos, o que indica que algumas das representações escolhidas não foram adequadas. Em especial, o uso das representações de granulometria não foi bem compreendida pelos geólogos. Entrevistas posteriores mostraram que a granulometria é normalmente representada por uma simbologia própria não-icônica já disseminada no domínio.

Em (ABEL, 2001), experimentos comprovam que indivíduos com altos níveis de es-

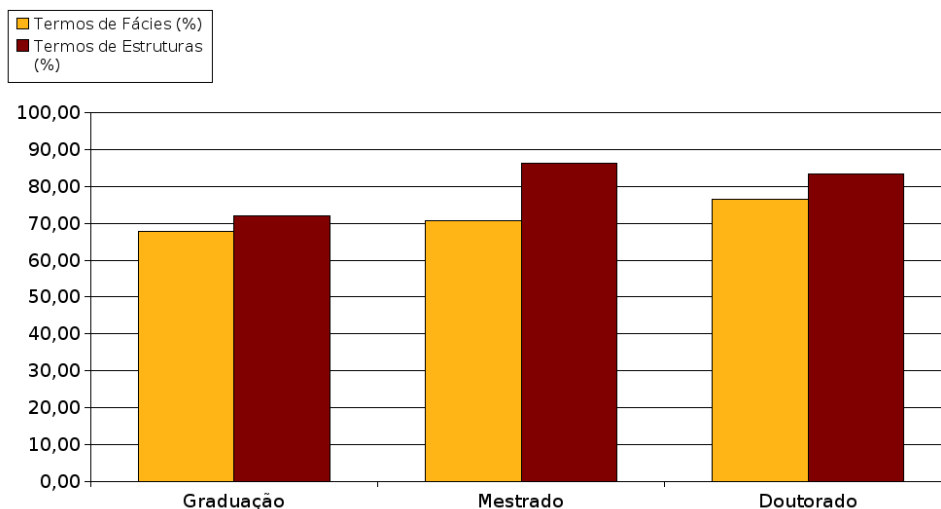


Figura 6.12: Média de acertos das associações de acordo com o nível de instrução.

pecialidade (nível de instrução e horas de prática) organizam o conhecimento adquirido ao longo da experiência acadêmica/profissional através pacotes visuais que representam seu conhecimento tácito. Os experimentos mostraram que ao observarem uma imagem os indivíduos com altos níveis de especialidade conseguem identificar mais associações do observado com seus modelos mentais e externalizar uma maior quantidade de conhecimento relacionado à imagem observada.

Os resultados obtidos através da aplicação deste experimento mostram altos índices de acerto entre as associações de termos geológicos e suas respectivas representações icônicas, pois os participantes estavam observando as representações propostas pela primeira vez.

Os resultados apresentados no gráfico da figura 6.11 se justificam pela predominância de participantes com nível de graduação. A maior quantidade de acertos nas associações de termos relacionados a fácies sedimentares acontece pois esse tipo de conhecimento é adquirido através de imersão na literatura e do aprendizado por meio de aulas expositivas. No entanto, o conhecimento relacionado a estruturas sedimentares é aprendido ao longo da experiência do indivíduo no domínio. Dessa forma, a predominância de alunos com nível de graduação (com pouca experiência no domínio) reflete a menor quantidade de acertos da associação de termos relacionados a estruturas sedimentares e as representações icônicas propostas.

Ainda em análise aos resultados obtidos neste experimento pode-se observar índices mais altos de acerto em proporção ao maior nível de instrução do participante e em proporção ao número de horas trabalhadas no domínio da Estratigrafia Sedimentar. Isso acontece em decorrência da quantidade de conhecimento interiorizado pelo participante durante seu processo de aprendizado, no caso dos diferentes níveis de instrução. No caso da quantidade de horas trabalhadas a situação é análoga. O participante possui grandes quantidades de conhecimento interiorizado em decorrência da sua experiência no domínio. Dessa forma, a representação icônica remete aos pacotes visuais armazenados pelos participantes ao longo de suas experiências acadêmicas/profissionais permitindo assim sua associação correta com o termo geológico. Mesmo com uma amostragem insignificante de mestres e doutores participando do experimento os resultados se mostraram bastante satisfatórios e corroboram o trabalho realizado por Abel.

Este capítulo descreve o modelo ontológico proposicional e icônico da Estratigrafia

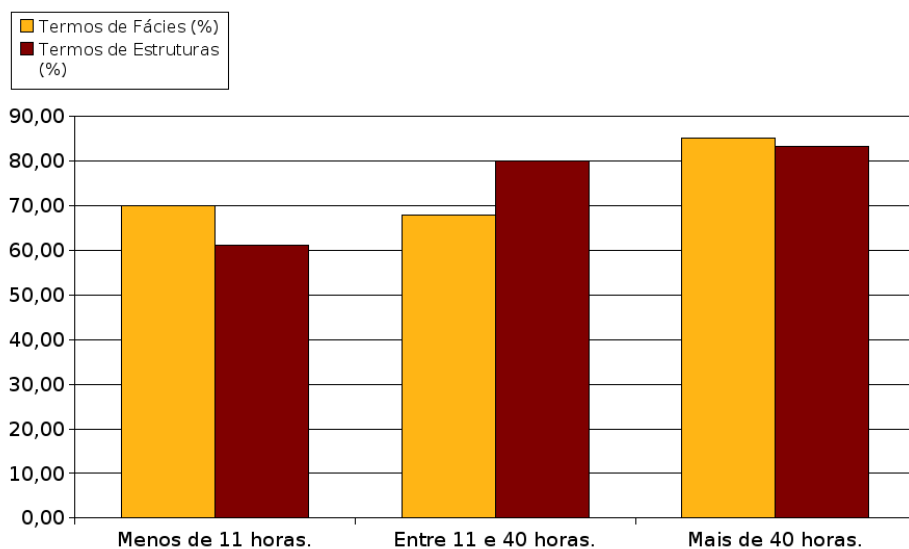
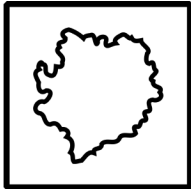
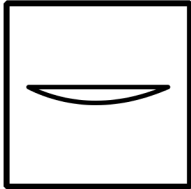
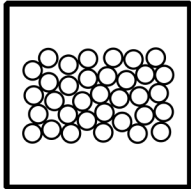
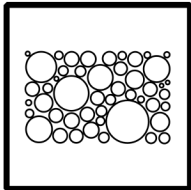
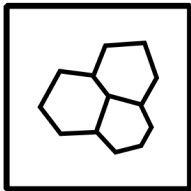
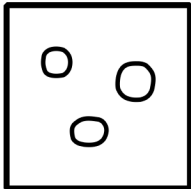


Figura 6.13: Média de acertos das associações de acordo com o tempo de trabalho mensal dedicado à Estratigrafia Sedimentar.

Sedimentar, bem como faz um estudo preliminar para validação deste modelo junto a comunidade do domínio. Os ícones foram intuitivamente reconhecidos pelos usuários e utilizados da maneira correta na maioria dos casos. O reconhecimento do ícone e seu uso correto têm correlação positiva com o maior qualificação do geólogo no domínio, medida por sua formação. Esses resultados sugerem que a incorporação e compartilhamento de modelos mentais visuais aumentam com a especialização no domínio, como sugerido por outros trabalhos da área da Ciência Cognitiva.

Tabela 6.3: Porção do experimento aplicado na avaliação das representações icônicas propostas.

Coluna 1	Coluna 2		Coluna 3	Coluna 4
Lenticular topo plano base côncava - <i>Lenticular flat-top concave base</i>	—		A	
Muito bem selecionado - <i>Very well sorted</i>	—		B	
Gretas de contração - <i>Mud cracks</i>	—		C	
Pingos de chuva - <i>Rain-drop imprints</i>	—		D	
Mal selecionado - <i>Poorly sorted</i>	—		E	
Muito angular - <i>Very angular</i>	—		F	

7 CONCLUSÃO

Profissionais atuantes em domínios imagísticos como a Medicina e Geologia lidam diariamente com informações visuais transformando-as em conhecimento e empregando-o na solução de tarefas. A disseminação de dispositivos capazes de capturar e armazenar imagens faz com que a quantidade de informações visuais armazenadas e disponíveis cresça em altas taxas. Por outro lado, a imensa quantidade de imagens digitais disponíveis não pode ser buscada por sistemas, exceto se possuírem legendas associadas que as descrevam e possam ser utilizadas pelos mecanismos de busca. Em paralelo, cresce também, o interesse em processar computacionalmente esse tipo de informação com o objetivo empregá-la na forma de conhecimento. Para que isso seja possível, é necessária a criação de primitivas de representação de conteúdo visual que possam ser incorporadas a dispositivos de captura, permitindo ao usuário explicitar de modo simples o conteúdo semântico da cena ou imagem capturada. Este trabalho dá o primeiro passo para alcançar esse objetivo.

Nos capítulos 1 e 2 deste volume, foram apresentadas técnicas que utilizam aprendizado de máquina na busca por padrões em conjuntos de imagens. No entanto, a aplicação dessas abordagens tem mostrado baixos índices de eficiência na extração de conhecimento e conteúdo semântico de imagens. Isso, acontece, pois as imagens contêm informações visuais que abstraídas por profissionais ou especialistas de domínios são transformadas em modelos mentais que compõem seu conhecimento visual. Ou seja, o conteúdo visual relevante muitas vezes não está diretamente capturado nas imagens, mas sim na forma como as pessoas as enxergam, que é condicionada pelos seus modelos mentais.

Os modelos mentais que representam o conhecimento visual são compostos por um conjunto de abstrações de informações. Através da análise de informações visuais ao longo do tempo, o cérebro cria essas abstrações e as incorpora ao modelo mental de conhecimento visual associando-as às informações visuais. Ao analisar novamente uma informação visual o cérebro a utiliza para acessar a porção do modelo mental que contém o conhecimento visual associado (CHARNESS, 1991). De uma forma geral, a proposta desta dissertação considera essas características com a criação de um modelo de representação de conhecimento visual, onde os conceitos que o compõem possuem representação proposicional associada a uma representação icônica por meio de primitivas ontológicas. A principal motivação para criação de modelos alternativos é oferecer suporte a futuros métodos de solução de problemas que utilizem esse tipo de conhecimento e a mecanismos de busca que recuperem imagens e fotos por seu conteúdo semântico.

A representação proposicional dos conceitos define símbolos que os representam e que são utilizados para fins de comunicação. A representação icônica também representa os conceitos, porém é capaz de capturar conteúdo que normalmente as pessoas não são capazes de expressar apenas verbalmente e se valem de desenhos e esquemas para se fazer

compreender no processo de comunicação. As representações proposicionais e icônicas de um conceito possuem superposição mas são complementares. Com a criação dos metaconstrutos é possível vincular as representações proposicionais às representações icônicas. A classificação de conceitos através dos metaconstrutos permite seu tratamento de forma diferenciada em métodos de solução de problemas e mecanismos de busca. Além disso, com a definição de metaconstrutos a abordagem apresentada nesta dissertação pode ser aplicada em outros domínios imagísticos.

Os metaconstrutos foram definidos de forma híbrida a fim de proporcionar meios para que sejam realizadas buscas textuais sobre os conceitos visuais, caso contrário, a busca textual por conceitos visuais representados puramente por ícones seria impossível.

Um dos grandes problemas na aquisição de conhecimento é a seleção dos objetos a serem modelados e a identificação dos construtos adequados para sua representação. Esse problema foi solucionado nesta dissertação através da utilização de metapropriedades (propostas por Guarino (GUARINO; WELTY, 2004)) e através da utilização de metaconceitos definidos pela ontologia de fundamentação unificada – UFO (proposta por Guizzardi em (GUIZZARDI, 2005)). A utilização das metapropriedades e metaconceitos permite a seleção e definição precisa dos conceitos e suas representações. Dessa forma, o significado do conhecimento representado torna-se mais preciso e próximo do que se realmente deseja representar e transmitir. A aplicação das metapropriedades e metaconceitos é difícil em decorrência de suas complexidades teóricas. Em casos isolados como a representação do conceito de Rocha Siliciclástica a teoria de metaconceitos ainda não possui um tratamento completo.

Os metaconstrutos foram definidos apenas para Universais Duradouros (*Endurant Universals*) e Universais de Qualidade (*Quality Universals*) pois somente conceitos sortais e algumas de suas qualidades constituem modelos mentais pictóricos. Acredita-se que conceitos representados por Universais Perenes (*Perdurant Universals*) são representados por modelos mentais diferentes e que suas representações pictóricas podem ser construídas através da combinação de representações pictóricas de Universais Duradouros. Isso, é apenas uma hipótese levantada e um assunto para pesquisas futuras.

Para construir as representações pictóricas dos conceitos utilizaram-se ícones. Segundo (STEELS, 2007) ícones assemelham-se com o que significam, diferentemente de símbolos onde o significado é definido por convenção. Dessa forma, seu significado é capturado através dos mesmos processos de percepção utilizados para reconhecer os objetos ou eventos originalmente representados. Além disso, os ícones representam o conhecimento visual dos especialistas de forma sintética, pois eles permitem que se enfatize informações de interesse e se oculte outras informações, o que não acontece com a utilização de fotografias originais.

A representação do conhecimento visual de especialistas realizada de forma sintética utilizando-se ícones permite a construção de sistemas de software que sejam puramente descritivos. Com isso, novatos em um domínio imagístico podem descrever de forma puramente visual o que observam, sem que seja necessária a experiência de um especialista. Com a descrição visual precisa realizada pelo novato o especialista pode posteriormente interpretá-la a fim de realizar a tomada de decisões.

O experimento realizado para avaliar o nível de expressividade e adequação das representações icônicas propostas apresentou altos índices de acertos. Pode-se afirmar isso pois os participantes estavam vendo as representações icônicas dos termos geológicos pela primeira vez e mesmo assim os índices de acerto mínimo foram em torno de 60% chegando até a níveis de 85% de acerto.

As representações icônicas utilizadas na ontologia de domínio foram selecionadas de acordo com os resultados do experimento realizado. Granulometria é um exemplo de conceito onde não se aplicou as representações pictóricas em decorrência da incompreensão por parte dos usuários e pela existência de uma representação não icônica largamente utilizada no domínio. A definição das representações pictóricas realizadas através de formas geométricas genéricas inviabilizaria a captura do conhecimento do especialista e transformaria essas representações em símbolos. Em decorrência disso, optou-se por definir as representações elaborada pelo geólogo especialista através de sua livre expressão visual.

O conhecimento eliciado a partir do especialista e adquirido pela imersão e organização da literatura é utilizado consensualmente no domínio. Com isso, tornou-se possível a construção de uma ontologia de domínio.

A contribuição deste trabalho é a definição de uma abordagem para a representação de uma conceitualização com conotação visual onde o significado dos conceitos visuais somente é expressa por completo com a adição do elemento pictórico. A representação dos conceitos visuais através de ícones elaborados por especialistas permite que a representação conecte informações visuais importantes aos modelos mentais de conhecimento visual, diferentemente das abordagens que buscam o conhecimento visual nas imagens através da extração de padrões geométricos.

O modelo de representação de conhecimento visual apresentado neste trabalho difere dos modelos apresentados na seção 2.4 por representar o conhecimento visual de forma híbrida e principalmente por explicitá-lo através de representações pictóricas familiares às pessoas, o que permite a construção de sistemas baseados em conhecimento. A hipótese inicial deste estudo é que esse modelo híbrido captura mais naturalmente a conceitualização dos geólogos e proporciona uma maior aproximação da realidade do que modelos puramente proposicionais. O experimento descrito no Capítulo 6 mostra que a utilização de ícones para descrição pode ser utilizada por geólogos de forma correta mesmo sem treinamento. Embora seja de difícil prova, esses resultados parecem indicar que a expressão do conhecimento através de ícones é uma forma natural de aproximação com a realidade.

7.1 Trabalhos Futuros

A combinação de primitivas proposicionais e pictóricas permite representar o conhecimento visual dos especialistas de domínios imagísticos. A ontologia de domínio criada agrega o conhecimento visual de um especialista em Estratigrafia Sedimentar. No momento da escrita deste volume a ontologia está sendo validada através da construção de um sistema de software utilizado para a descrição de fácies sedimentares está em construção e contém um modelo de conhecimento instanciado a partir da ontologia. No entanto, é necessária a aplicação do processo de aquisição de conhecimento e dos metaconstrutos de representação de conhecimento visual em outros domínios, a fim de validar sua eficácia na construção de outras ontologias para domínios imagísticos.

As primitivas propostas neste trabalho abordam apenas alguns metaconceitos da ontologia de base proposta por (GUIZZARDI, 2005). O próximo passo a ser realizado é uma análise completa buscando relações entre metaconceitos, suas metapropriedades e os diferentes tipos de metaconstrutos para a representação de conhecimento visual. Além disso, verifica-se a necessidade de um estudo aprofundado a fim de analisar criteriosamente o sistema de representação visual para o conteúdo icônico utilizando-se teorias de construção de sistemas de representação como o trabalho de (MOODY, 2009).

O próximo passo necessário à pesquisa é o estudo de como empregar modelos de representação de conhecimento visual na criação de métodos de solução de problemas aplicados ao raciocínio. No momento da escrita deste trabalho o assunto está sendo pesquisado, neste mesmo programa de pós-graduação, pelo mestrando Joel Luis Carbonera. Os resultados são previstos para o final do ano de 2010.

REFERÊNCIAS

- ABEL, M. **Estudo da Perícia em Petrografia Sedimentar e sua Importância para a Engenharia do Conhecimento**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ABEL, M.; MASTELLA, L. S.; SILVA, L. A. L.; CAMPBELL, J. A.; ROS, L. F. D. How to Model Visual Knowledge: a study of expertise in oil-reservoir evaluation. In: DEXA, 2004. **Anais...** Springer Berlin / Heidelberg, 2004. v.3180, p.455–464.
- BERTINI, M.; BIMBO, A. D.; TORNIAI, C.; GRANA, C.; CUCCHIARA, R. Dynamic pictorial ontologies for video digital libraries annotation. In: MS '07: WORKSHOP ON MULTIMEDIA INFORMATION RETRIEVAL ON THE MANY FACES OF MULTIMEDIA SEMANTICS, 2007, New York, NY, USA. **Anais...** ACM, 2007. p.47–56.
- BORST, W. N. **Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse**. 1997. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Centre of Telematics and Information Technology, University of Twente, The Netherlands.
- BRACHMAN, R. J. On the Epistemological Status of Semantic Networks. **Associative Networks: Representation and Use of Knowledge by Computers**, [S.l.], p.3–50, 1979.
- BRACHMAN, R. J.; LEVESQUE, H. J. **Knowledge Representation and Reasoning**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2004. 381p.
- BURKS, A. W. Icon, Index, and Symbol. **Philosophy and Phenomenological Research**, [S.l.], v.9, n.4, p.673–689, 1949.
- CHARNESS, N. (Ed.). **Expertise in chess: the balance between knowledge and search**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1991. p.39–63.
- COELHO, A. **As Placas de Trânsito Utilizadas no Brasil**. 2009.
- EGMONT-PETERSEN, M.; RIDDER, D. de; HANDELS, H. Image processing with neural networks—a review. **Pattern Recognition**, [S.l.], v.35, n.10, p.2279 – 2301, 2002.
- FÁVERA, J. C. D. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. Rio de Janeiro, Brasil: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2001. 264p.
- FENSEL, D.; HARMELEN, F. V.; KLEIN, M.; AKKERMANS, H. On-To-Knowledge: ontology-based tools for knowledge management. In: IN PROCEEDINGS OF THE EBUSINESS AND EWORK 2000 (EMMSEC 2000) CONFERENCE, 2000. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2000.

FIORINI, S. R. **S-Chart**: um arcabouço para interpretação visual de gráficos. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FOX, M. S. The TOVE Project Towards a Common-Sense Model of the Enterprise. In: IEA/AIE '92: PROCEEDINGS OF THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL AND ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EXPERT SYSTEMS, 1992, London, UK. **Anais...** Springer-Verlag, 1992. p.25–34.

GANGEMI, A.; GUARINO, N.; MASOLO, C.; OLTRAMARI, A. **Sweetening Ontologies with DOLCE**. [S.l.]: Springer Berlin / Heidelberg, 2002. p.223–233.

GANGEMI, A.; GUARINO, N.; MASOLO, C.; OLTRAMARI, A. Sweetening WORDNET with DOLCE. **AI Magazine**, Menlo Park, CA, USA, v.24, n.3, p.13–24, 2003.

GÓMES-PÉREZ, A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; CORCHO, O. **Ontological Engineering**: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Londres: Springer, 2004. 403p.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition**, [S.l.], v.5, p.199–220, 1993.

GUARINO, N. A concise presentation of ITL. **SIGART Bull.**, New York, NY, USA, v.2, n.3, p.61–69, 1991.

GUARINO, N. Concepts, Attributes, and Arbitrary Relations: some linguistic and ontological criteria for structuring knowledge bases. **DATA & KNOWLEDGE ENGINEERING**, [S.l.], v.8, p.249–261, 1992.

GUARINO, N. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. **International Journal of Human and Computer Studies**, [S.l.], v.43, p.625–640, 1995. Edited by Nicola Guarino and R. Poli.

GUARINO, N. Formal Ontology and Information Systems. In: PROCS. OF FOIS, 1998. **Anais...** IOS Press, 1998.

GUARINO, N.; GUARINO, N.; CARRARA, M.; CARRARA, M.; GIARETTA, P.; GIARETTA, P. An ontology of meta-level categories. In: PRINCIPLES OF KNOWLEDGE REPRESENTATION AND REASONING: PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE (KR94, 1994. **Anais...** Morgan Kaufmann, 1994. p.270–280.

GUARINO, N.; WELTY, C. A. A Formal Ontology of Properties. In: EKAW '00: PROCEEDINGS OF THE 12TH EUROPEAN WORKSHOP ON KNOWLEDGE ACQUISITION, MODELING AND MANAGEMENT, 2000, London, UK. **Anais...** Springer-Verlag, 2000. p.97–112.

GUARINO, N.; WELTY, C. A. An overview of OntoClean. In: HANDBOOK ON ONTOLOGIES, 2004. **Anais...** Springer, 2004. p.151–172.

GUARINO, N.; WELTY, C. Evaluating Ontological Decisions with OntoClean. **Commun. ACM**, New York, NY, USA, v.45, n.2, p.61–65, 2002.

GUIZZARDI, G. **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models**. [S.l.: s.n.], 2005.

GUIZZARDI, G.; FALBO, R.; GUIZZARDI, R. S. S. Grounding Software Domain Ontologies in the Unified Foundational Ontology (UFO): the case of the ode software process ontology. In: IDEAS, 2008. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008.

GUIZZARDI, G.; PIRES, L. F.; SINDEREN, M. J. V. On the Role of Domain Ontologies in the design of Domain-Specific Visual Modeling Languages. In: SECOND WORKSHOP ON DOMAINSPECIFIC VISUAL LANGUAGES, 17TH ANNUAL ACM CONFERENCE ON OBJECTORIENTED PROGRAMMING, SYSTEMS, LANGUAGES, AND APPLICATIONS., 2002. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2002.

GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. **Some Applications of a Unified Foundational Ontology in Business Modeling**. [S.l.]: IDEA, 2005. p.345–367.

GUIZZARDI, G.; WAGNER, G.; GUARINO, N.; VAN SINDEREN, M. An Ontologically Well-Founded Profile for UML Conceptual Models. In: IN PROCEEDINGS OF THE 16 TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFORMATION SYSTEMS ENGINEERING (CAISE), 2004. **Anais...** Springer, 2004. p.112–126.

GURR, C. A. Effective Diagrammatic Communication: syntactic, semantic and pragmatic issues. **Journal of Visual Languages and Computing**, [S.l.], v.10, p.317–342, 1999.

HSU, W.; LEE, M. L.; ZHANG, J. Image Mining: trends and developments. **Journal of Intelligent Information Systems**, [S.l.], v.19, p.7–23, 2002.

HUDELOT, C.; MAILLOT, N.; THONNAT, M. Symbol Grounding for Semantic Image Interpretation: from image data to semantics. In: ICCVW '05: PROCEEDINGS OF THE TENTH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION WORKSHOPS, 2005, Washington, DC, USA. **Anais...** IEEE Computer Society, 2005. p.1875.

JOURNAL, T. C. S. **The Crab Street Journal**. Endereço: http://www.geckosetc.com/images/cs/sand_lg.jpg Acessado em: novembro de 2009., Internet.

LIU, Y.; ZHANG, J.; TJONDRONEGORO, D.; GEVE, S. A Shape Ontology Framework for Bird Classification. In: DICTA '07: PROCEEDINGS OF THE 9TH BIENNIAL CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN PATTERN RECOGNITION SOCIETY ON DIGITAL IMAGE COMPUTING TECHNIQUES AND APPLICATIONS, 2007. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2007. p.478–484.

LORENZATTI, A.; ABEL, M.; NUNES, B. R.; SCHERER, C. M. S. Ontology for Imagistic Domains: combining textual and pictorial primitives. In: THE JOINT INTERNATIONAL WORKSHOP ON METAMODELS, ONTOLOGIES, SEMANTIC TECHNOLOGIES, AND INFORMATION SYSTEMS FOR THE SEMANTIC WEB (MOSTONISW), 2009. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009.

LUCCHI, F. R. **Sedimentographica**: photographic atlas of sedimentary structures. 2.ed. [S.l.]: Columbia University, 1995. 255p.

MAILLOT, N.; THONNAT, M.; BOUCHER, A. Towards ontology-based cognitive vision. **Machine Vision and Applications**, [S.l.], v.16, n.1, p.33–40, December 2004.

MASTELLA, L. **Um Modelo de Conhecimento Baseado em Eventos para Aquisição e Representação de Sequências Temporais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MOODY, D. The "Physics" of Notations: toward a scientific basis for constructing visual notations in software engineering. **Software Engineering, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.35, n.6, p.756–779, nov.-dec. 2009.

NECHES, R.; FIKES, R.; FININ, T.; GRUBER, T.; PATIL, R.; SENATOR, T.; SWARTOUT, W. R. Enabling technology for knowledge sharing. **AI Mag.**, Menlo Park, CA, USA, v.12, n.3, p.36–56, 1991.

NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology Development 101: a guide to creating your first ontology**. [S.l.]: Stanford University, 2001.

PERNER, P.; HOLT, A.; RICHTER, M. Image processing in case-based reasoning. **The Knowledge Engineering Review**, [S.l.], v.20, n.03, p.311–314, 2006.

POSNER, M. I. **Foundations of Cognitive Science**. Londres: MIT Press, 1993. 888p.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROETZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra**. 4.ed. [S.l.]: Bookman, 2004. 656p.

PROTHERO, D. **Interpreting the Stratigraphic Record**. [S.l.: s.n.], 1989.

RAUTENBERG, S.; GAUTHIER, F. A. O.; LOTTIN, P.; DUARTE, C. E. J.; TEDESCO, J. L. ontoKEM: uma ferramenta para a construção e documentação de ontologias. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM ONTOLOGIAS NO BRASIL, 2008. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008.

SANGSTER, A. **Natural Resources Canada**. Endereço: http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/photolib/gold/nugget/index_e.php. Acessado em: novembro de 2009., Internet.

SANTIN, C. E. **Construtos ontológicos para representação simbólica de conhecimento visual**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H.; ANJEWIERDEN, A.; HOOG, R. de; SHADBOLT, N.; VELDE, W. V. de; WIELINGA, B. J. **Knowledge Engineering and Management - The CommonKADS Methodology**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000. 455p.

SHIMOJIMA, A. Operational constraints in diagrammatic reasoning. **Logical Reasoning with Diagrams**, New York, NY, USA, p.27–48, 1996.

SILVA TORRES, R. da; MEDEIROS, C. B.; GONCALVEZ, M. A.; FOX, E. A. A Digital Library Framework for Biodiversity Information Systems. **International Journal on Digital Libraries**, [S.l.], v.6, n.1, p.3–17, February 2006.

SOWA, J. F. **Knowledge Representation**: logical, philosophical, and computational foundations. [S.l.]: Brooks Cole Publishing Co., 1999.

STEELS, L. **The Symbol Grounding Problem has been solved. So what's next?** 2007.

STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. Knowledge engineering: principles and methods. **Data & Knowledge Engineering**, [S.l.], v.25, n.1-2, p.161 – 197, 1998.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. [S.l.]: Editora Edgar Bücher LTDA., 2003. v.1.

SURE, Y.; STUDER, R.; FENSEL, D.; LEBENSVERSICHERUNGSUND, S.; REIMER, U.; STUDER, R.; HEATH, M. **On-To-Knowledge Methodology - Expanded Version**. [S.l.]: University of Karlsruhe, 1999.

YIP, K.; ZHAO, F. Spatial Aggregation: theory and applications. **Journal of Artificial Intelligence Research**, [S.l.], v.5, p.1–26, 1996.

ANEXO A: NOMENCLATURA DE DESCRIÇÃO

Abaixo são apresentados os atributos cuja nomenclatura bilíngüe foi eliciada através do geólogo especialista e adquirida a partir da imersão na literatura.

Tabela 7.1: Nomenclatura do atributo Granulometria/*Grain Size*.

PT-BR	EN-US
Silte	<i>Silt</i>
Argila	<i>Clay</i>
Areia muito fina	<i>Very fine sand</i>
Areia fina	<i>Fine sand</i>
Areia média	<i>Medium sand</i>
Areia grossa	<i>Coarse sand</i>
Areia muito grossa	<i>Very coarse sand</i>
Cascalho	<i>Gravel</i>
Grânulo	<i>Granule</i>
Seixo	<i>Pebble</i>
Bloco	<i>Cobble</i>
Matacão	<i>Boulder</i>

Tabela 7.2: Nomenclatura do atributo Energia/*Energy*.

PT-BR	EN-US
Alta	<i>High</i>
Média	<i>Medium</i>
Baixa	<i>Low</i>
Muito baixa	<i>Very low</i>

Tabela 7.3: Nomenclatura do atributo Nível d'água/*Water level*.

PT-BR	EN-US
Subaéreo	<i>Subaereous</i>
Subaquoso	<i>Subaqueous</i>

Tabela 7.4: Nomenclatura do atributo Tipo de corrente/*Current type*.

PT-BR	EN-US
Onda	<i>Wave</i>
Vento	<i>Wind</i>
Fluvial	<i>Fluvial</i>
Maré	<i>Tide</i>

ANEXO B: NOMENCLATURA DE DESCRIÇÃO JUNTAMENTE COM ÍCONES

Abaixo são apresentados os atributos cuja nomenclatura bilíngüe e visual foi eliciada através do geólogo especialista e na imersão na literatura.

Tabela 7.5: Nomenclatura do atributo Esfericidade/*Sphericity*.

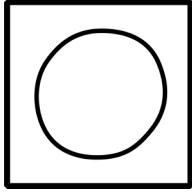
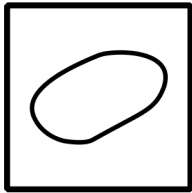
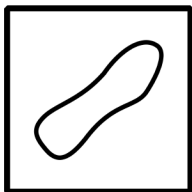
PT-BR	EN-US	ÍCONE
Alta	<i>High</i>	
Média	<i>Medium</i>	
Baixa	<i>Low</i>	

Tabela 7.6: Nomenclatura do atributo Arredondamento/*Roundness*.

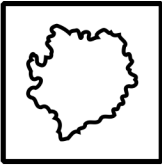
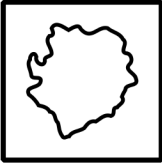

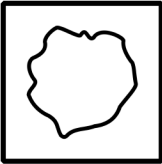
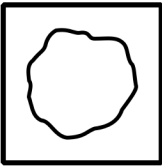
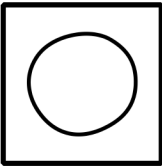
PT-BR	EN-US	ÍCONE
Muito angular	<i>Very angular</i>	
Angular	<i>Angular</i>	
Subangular	<i>Sub-angular</i>	
Subarredondado	<i>Sub-rounded</i>	
Arredondado	<i>Rounded</i>	
Bem arredondado	<i>Well rounded</i>	

Tabela 7.7: Nomenclatura do atributo Geometria/*Geometry*.

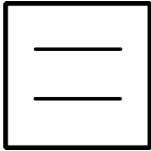
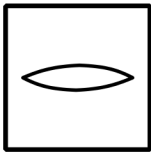
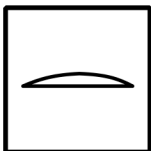
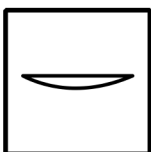
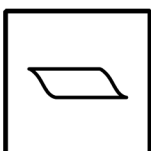
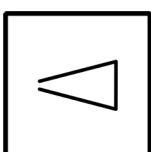
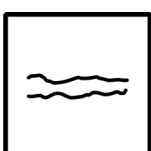
PT-BR	EN-US	ÍCONE
Tabular	<i>Tabular</i>	
Lenticular côncavo convexa	<i>Lenticular concave convex</i>	
Lenticular topo convexo base plana	<i>Lenticular convex top flatbed</i>	
Lenticular topo plano base convexa	<i>Lenticular flattop concave base</i>	
Sigmóide	<i>Sigmoidal</i>	
Cunha	<i>Wedge shape</i>	
Irregular	<i>Irregular</i>	

Tabela 7.8: Nomenclatura do atributo Seleção/*Sorting*.

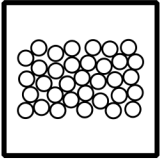
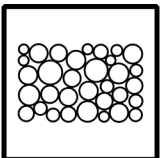
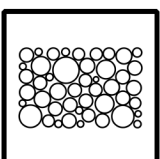
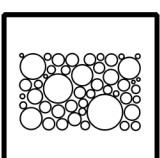
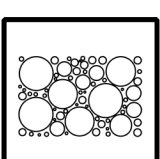
PT-BR	EN-US	ÍCONE
Muito bem selecionado	<i>Very well sorted</i>	
Bem selecionado	<i>Well sorted</i>	
Moderadamente selecionado	<i>Moderately sorted</i>	
Mal selecionado	<i>Poorly sorted</i>	
Muito mal selecionado	<i>Very poorly sorted</i>	

Tabela 7.9: Nomenclatura do atributo Angularidade/*Angularity*.


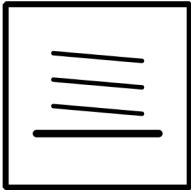


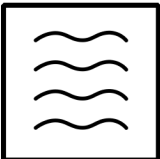




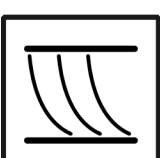
PT-BR	EN-US	ÍCONE
Horizontal	<i>Horizontal</i>	
Baixo ângulo	<i>Low angle</i>	
Alto ângulo	<i>High angle</i>	

Tabela 7.10: Nomenclatura do atributo Forma da lâmina/*Laminae shape*.

PT-BR	EN-US	ÍCONE
Acanalada	<i>Trough cross-strata</i>	
Ondulada	<i>Wavy lamination</i>	
Ondulada truncada	<i>Truncated wavy lamination</i>	
Paralela	<i>Horizontal lamination</i>	
Planar	<i>Planar</i>	
Sigmoidal	<i>Sigmoidal</i>	
Tangencial	<i>Tangential</i>	

ANEXO C: ENTREVISTA COM O ESPECIALISTA

Entrevista não-estruturada realizada com o especialista em Estratigrafia Sedimentar, Claiton Marlon do Santos Scherer, em 13 de outubro de 2008.

(Claiton) Esses são os conjuntos de atributos que permitem a interpretação de uma fácies sedimentar, se é que ocorrem. Então sempre que nós formos trabalhar com rocha sedimentar ele chega no afloramento e começa a ver quantas fácies sedimentares tem. Fácies não é só litologia, por isso a gente não diz quantos tipos de rocha tem, a gente diz fácies porque é uma combinação de diferentes atributos que são cruciais depois para interpretar o ambiente sedimentar que essas rochas se geraram, porque a análise de rochas sedimentares sempre busca o ambiente, porque essas rochas eu falei para vocês, as sedimentares, elas são geradas pela atuação de processos superficiais hoje, então o ambiente que gerou essa rocha pode ser um rio, podem ser dunas eólicas associadas a deserto, pode ser um sistema praial marinho raso, esses sedimentos são muito diferentes em contextos e a fácies ajuda a identificar quais os contextos que os formaram por isso a importância disso.

(Mara) Quantas fácies têm nessa foto aí?

(Claiton) No mínimo quantas fácies têm na foto.

(Mara) O termo fácies vêm de cara, vem do italiano. Quantas caras diferentes vocês olham e vêem na foto.

(Platéia) Diria no mínimo três.

(Claiton) Tu levaria em conta esse “basal e esse deslexário”... tu levaria em conta esse vermelho e esse amarelado, ou no mínimo duas, esse amarelado e esse avermelhado, mas três tu tá... Com base só na análise fotográfica dá para identificar no mínimo duas, ou pode até três fácies sedimentares, fácies no sentido de camada ou aparência. Agora, para nós caracterizarmos essas duas fácies ou essas três fácies nós precisamos extrair esse conjunto de informações da rocha para mostrar que são fácies distintas mesmo. É isso que o geólogo tem que fazer, a maior parte do geólogo na presa de descrever ele não presta atenção nesses sete atributos ele presta atenção em um, dois atributos e isso dificulta depois a interpretação do ambiente que se formou, do processo que gerou essa rocha. Então na verdade o que pretendemos nesse projeto, é um roteiro passo a passo de que tipo de informação que tem que extrair, que tipo de atributos nós temos que identificar na descrição. Aqui no genérico podem ser dois, pode ser três, mas vocês identificaram isso com base em um atributo, eu garanto. Qual atributo do conjunto que vocês levaram em conta? A cor. A cor, que é o pior atributo para o geólogo porque ele é o mais enganoso, porque às vezes a cor altera, ela modifica o que pode ter...(3:20) superficial hoje em dia né, uma região pode não ter tanto escoamento de água em cima, ou mais ou menos, isso vai mudando a cor que não tem nada a ver com tipo da rocha, hoje fruto da alteração dela. Então vocês levaram em conta um atributo que é importante mas que na verdade tem que

ser somado a esse conjunto de outros atributos. Então qual é o primeiro atributo que a gente tem que levar em conta, é a chamada granulometria, o que é isso, a granulometria? Eu nem vou entrar na divisão da granulometria, mas a granulometria determina o tamanho dos grãos que compõem aquela rocha, certo? Uma rocha é composta por, se a gente olhasse em detalhe eu acho que eu tenho uma amostra aqui. Deixa eu pegar para vocês.

(Mara) Nós vamos trabalhar apenas com rochas siliciclásticas, que são rochas feitas de areia. Os geólogos têm as medidas objetivas mas eles trabalham sempre trabalham com atributos simbólicos. Para tratar o tamanho dos grãos eles dão nome aos tamanhos.

(Claiton) Vocês vão passando, essa é uma rocha sedimentar, formada por ação de processos superficiais, vocês vão ver que a rocha é formada por grãosinhos que hoje estão compactados e unidos e formam a rocha. Agora tem diferentes clastos aqui que compõem essa rocha. Se vocês quebrarem com a unha e colocarem na mão vocês vão ver que são várias partículas que compõem essa rocha, que são chamados grãos. Os grãos é que definem o tamanho de grão e que define a granulometria. Olhem, se os grãos tiverem tamanho inferior a 0,62 mm, ou seja, para ti ver o grão, ou tu tens que pegar uma lupa, desagregar ela e olhar com a lupa, ou fazer uma lâmina e olhar no microscópio. Então olha só, se ela for inferior a 0,62 mm ela é a partícula tamanho silte. Entre 0,62 mm e 2 mm ela é a porção areia, que é individualizada em diferentes tamanhos, areia muito fina, fina, média, grossa e muito grossa, com diferentes intervalos aqui. Grão entre 2mm e 4 mm, seixo de 4 mm a 64 mm, ou seja, 6,4 cm daí vocês não precisariam de lupa. Aliás, acima da areia grossa 2 mm tu já consegue ver na lupa. Essa rocha aí, se vocês fossem ver, qual o tamanho de grão que compõem ela que vocês acham? Quando vocês desagregarem ela, mas vocês conseguem ver o tamanho a olho nu? Vocês conseguem ver uns brilhinhos, mas ela é inferior a 1 mm. Esse aqui é o tamanho silte da rocha. Mas normalmente tu raspa com a unha e coloca na mão. E tem grãos que são, seixo, calhau e matacão...(8:00) que tu vê a olho nu, não precisa de uma lupa. Então conforme a granulometria tenho diferentes classificações, argila a mais fina, silte, areia, grânulo, seixo, calhau e matacão e quando isso é compactado por soterramento e vira rocha a gente passa a chamar argilito, siltito, arenito e conglomerado. Arenito é uma rocha sedimentar composta por partículas tamanho areia, siltito é uma rocha sedimentar composta por partículas tamanho silte, conglomerado é uma rocha formada por clastos, grãos com tamanho maior que 2 mm, certo, essa é a classificação.

(Platéia) A classificação que vocês fazem por exemplo, essa classificação acredito que exista mistura entre o tamanho de grão, é pela predominância?

(Claiton) É pela predominância, isso aí. É pela fração predominante, se trabalha com a média, com a moda. Essas são as rochas que a gente chama fruto de alteração, de rochas ígneas, metamórficas ou de antigas rochas sedimentares que aceitam outra classificação que chamamos de rochas carbonáticas que são rochas formadas pela precipitação química no ar, quando satura de CO_2 e precipita e gera uma série de rochas carbonáticas que a gente chama, que pode ser por decantação primária ou mesmo erosão depois de trabalhamento dos carbonatos que se formam. Mas o principal é esse aqui que no projeto a gente vai trabalhar com rochas siliciclásticas. Então a primeira coisa quando está olhando a rocha é ver a granulometria dela, visto isso, a granulometria, a gente vai para outro atributo, se vocês se lembram, que é a cor, o segundo atributo é a cor. Essa rocha aí, como é que vocês, estão descrevendo ela faciologicamente, primeira coisa, é um siltito, grão do tamanho silte, que a gente viu, o segundo a cor, que cor vocês dariam para essa rocha aí? Avermelhada né, para não errar, genericamente. Então é um siltito de cor avermelhada. O terceiro atributo é a seleção. O que é a seleção? A gente viu por exemplo que

um arenito, formado por partículas tamanho areia ele pode variar desde arenito muito fino até arenito muito grosso. E aquilo que tu me perguntaste, diferentes classes granulométricas podem coexistir. Então essa é a seleção, a seleção leva em conta o desvio padrão da distribuição granulométrica. Olha só, esse é um arenito melhor selecionado do que esse ou não, as partículas aqui são de tamanho areia, ele é melhor selecionado ou não? Esse aqui é melhor selecionado que esse. Esse a gente chama de muito bem selecionado enquanto que esse é pobremente selecionado. Conforme fica do desvio padrão se classifica. Então o fato de ser um arenito não está dizendo nada. Ele pode ser um arenito com vários tamanhos de grãos misturados desde arenito fino até arenito muito grosso e ser um arenito mal selecionado ou um arenito pobremente (do inglês) selecionado. Esse aqui moderadamente e esse muito bem selecionado. Muito bem, então quando tu estás descrevendo uma rocha sedimentar, quando tu estás descrevendo as fácies que estão compondo determinado afloramento ou determinado testemunho tu estás levando em conta a granulometria, a cor, e agora o primeiro atributo da textura, a seleção. Olhem, esse é um arenito bem selecionado em uma lâmina delgada onde vocês têm o tamanho do grão. Vocês estão vendo quartzo, um mineral bastante abundante. Estão vendo que todos eles têm mais ou menos o mesmo tamanho de grão? Olha o tamanho de grão aqui, aqui, aquela seria uma classificação de arenito bem selecionado ou pobremente selecionado? Pobremente selecionado. Bem, muito bem. O outro aspecto textural importante é o arredondamento e a esfericidade dos grãos. Então o que leva em conta o arredondamento? O fato dele ter arestas ou não está determinando se ele tiver uma superfície lisa, bem arredondado, ou se for todo anguloso é angular e entre eles tem angular, super angular...(14:00) e bem arredondado. Então se observa, talvez para alguém da computação, da área das exatas, alguns desses atributos são quantitativos, se vocês se deram conta a granulometria é quantitativa e seleção é quantitativa. Agora esse atributo não é mais quantitativo, é qualitativo. Então a geologia tem isso, ela mistura dentro da caracterização das fácies tem coisas que são quantitativas e qualitativas. Se é qualitativa obviamente a decisão do intérprete pesa muito mais porque não tem um valor, isso é feito visualmente, a comparação é visual, quanto tu faz o arredondamento. E a esfericidade é quanto mais se aproxima de uma esfera perfeita, isso aqui é uma alta esfericidade e isso uma baixa esfericidade. Todo esse conjunto é baixa e todo esse conjunto é alta esfericidade e aqui nas colunas dá o grau de arredondamento, menos arredondado, mais arredondado. O outro atributo que a gente tem que levar em conta é a geometria, por exemplo, esses seriam arenitos fino a médio de coloração amarelada, a seleção teria que fazer lâmina ou olhar com lupa e aqui vocês tem condições de ver a geometria dessa camada de arenito. Que geometria essa camada teria? Uma geometria tabular ou uma geometria mais lenticular? Lenticular, tão vendo que ela vai afinando a espessura, se nós usarmos todo o afloramento como parâmetro aqui é muito mais fino e espessa para cá. Se as camadas fossem tabulares elas teriam a mesma espessura lateralmente. Então esse aspecto é chamado geometria, que também não tem uma classificação padrão. Normalmente se usa lenticular ou tabular, duas grandes...(17:10) só que a lenticular pode ser côncavo convexa, côncavo topo plano, convexa base plana, existem variações. E por último que tipo de estrutura sedimentar eu tenho dentro do pacote? Dentro do corpo de rocha que estou analisando? O que é estrutura sedimentar? Isso aqui é uma série de estruturas sedimentares identificadas nesse corpo de arenito, ele tem várias estruturas que a gente chama acanalada, canais. Aquilo que vocês estão vendo nesse pacote de rocha também essas linhas, interceptadas por planos, aquilo são estratificações cruzadas. Então, existem diferentes estruturas sedimentares que refletem muito o processo que gerou aquela rocha. Todas as estruturas que vocês estão vendo aqui, acanal-

ada, essa a chamada planar, planar porque tu vê as camadas na horizontal, aqui separadas por esses risquinhos transversais, unindo a base com o topo. Essa aqui já é tangencial, a superfície da laminação tangencia a superfície basalto. Então essas são as chamadas estruturas sedimentares que refletem o processo.

Buscando exemplo de estrutura sedimentar...

Todo mundo já andou ou já viu um leito de rio, ou já andou mesmo na praia, se vocês entrarem no mar têm aqueles buracos onde as pessoas se afogam. Aquilo ali mostra um leito, um substrato arenoso irregular, se vocês olharem um rio, no fundo do rio, principalmente um rio...(19:30) para baixo, vocês vão ver umas formas arenosas, onduladas, que a gente chama de dunas. Essa aqui é duna, estão vendo que ela tem um dorso e uma face frontal lá. Como é que se formam essas dunas? Se tu tem, vou por aqui um rio, estou vendo um corte bidimensional disso aí. A água está nesse sentido, os grãos de areia vão sendo transportados aqui, chegam aqui escorregam na face frontal dessa forma. Então essa duna arenosa ela vai migrando, pois os grãos de areia vão sendo transportados assim por tração, chegam e escorregam para cá, assim a duna vai crescendo e vai criando os extratos cruzados. Então, sempre o sentido de mergulho da formação cruzada que a gente chama é o sentido que a duna está migrando, certo?

Dá uma explicação do desenho...

Então as estruturas sedimentares são muito importantes porque elas dão informações sobre o contexto que se formou, esse tipo de estrutura novamente, se forem mal selecionadas, vários tamanhos de grão, isso indica contexto subaquoso, onde tem uma corrente que vai deslocando sedimentos que vai formando essas dunas. Se forem bem selecionadas, por isso que a seleção é importante, indicaria o processo do vento, eólico, indica que essas formas foram subaéreas. Então existe uma série de estruturas que se formam em diferentes contextos, vinculadas normalmente a isso, a formas de leito, geradas por fluxo, seja por vento ou água. Então isso aqui vai dar uma cruzada, que é o que vocês estão vendo. Estão vendo as cruzadas, são várias dunas uma em cima da outra. A duna está migrando da esquerda para a direita, então isso indica que as rochas que se formaram, isso aqui é um pacote de rochas com duzentos milhões de anos que hoje está aflorando, que está sendo erodida para formar novas rochas sedimentares transportadas para formar novas rochas. Mas isso aqui nós podemos dizer que foi gerado por rios, por correntes e essas correntes fluíam da esquerda para a direita, que com a bússula vai orientar o norte, então nesse caso aqui, para cá é o sul, então eu digo que esse pacote de rochas se formou por correntes fluviais, que fluíam de norte para sul nessa região. Então dentro de todos esses atributos, o principal, os dois principais para definir a fácies e interpretar a gênese dela é a granulometria e a estrutura. Os outros são importantes, mas esses dois são vitais pois eles que dão informação mais precisa do processo que formou a rocha, ok?E a estrutura automaticamente me dá a paleo-corrente, me dá o sentido do fluxo que gerou aquela rocha, depósito de rocha. Permite uma reconstrução mais precisa. E por último é o fóssil que se tem algum fóssil, que fóssil é, classificar ele, se tem algum fóssil de vertebrado, é um fóssil marinho, isso indica interpretar o ambiente. Se eu tiver um fóssil de vertebrado, eu vou puxar o contexto mais para um contexto continental, um contexto mais fluvial, se eu encontrar forminífero, qualquer um desses bichos marinhos eu vou ter que interpretar aquela rocha dentro do contexto marinho. Então o fóssil ajuda na interpretação da gênese também. Então esse é o conjunto de atributos que para uma correta interpretação o geólogo tem que fazer. Só que as vezes na correria ele esquece de fazer. Então qual é a idéia? É se gerar um sistema de descrição que obrigue o camarada a descrever todos esses atributos, senão trava o programa. Eu estou descrevendo lá, dou um enter e ele diz

não, tu tem que inserir a seleção senão tu não passa para o passo adiante. Seria como um tutorial para o geólogo, para que todas descrições tenham esses atributos, senão numa descrição o cara põem só a granulometria e seleção, o outro coloca dois ou três atributos enquanto que o ideal são os sete atributos, no caso oito (os fósseis). A partir disso eu consigo interpretar o processo que gerou aquela fácies e a partir dos processos que geram aquelas fácies ou conjunto de fácies eu consigo interpretar o ambiente sedimentar que aquela rocha se gerou. E esse ambiente sedimentar é fundamental para se predizer a qualidade dos reservatórios. Por exemplo, se eu digo que é fluvial, um canal fluvial, ele tem tamanho infinito? Não, se sabe, vocês já passaram uma ponte sobre um rio e um canal fluvial tem duzentos metros de largura. Então tu sabe que aquele corpo arenoso não vai seguir ao infinito. Então quando eu furar um poço, quando a Petrobrás furar um poço ela leva em conta esse modelo, por isso que é importante uma correta descrição para não gerar uma interpretação futura equivocada. Por isso esses atributos todos. É isso, ao menos o projeto inicial é esse.

(Mara) A minha pergunta é a seguinte, tu vais fazer a descrição no afloramento, tu vais fazer a descrição do testemunho e qual é a nossa situação de dado de entrada?

(Claiton) Os dois, no afloramento ou no testemunho. Qual é a diferença do testemunho? O testemunho é um furo que foi feito numa determinada região, então ao invés de ter todo esse paredão para olhar tu vai ter uma amostragem de quinze centímetros de largura, é mais ou menos como vocês viram nessa amostra. Tu vais ter aquela amostra para olhar. A testemunhagem é um furo, na verdade eles têm um broca que eles furam e vão testemunhando. Então o testemunho é circular, cilíndrico. Depois ele cerram para ficar uma face lisa que é ali que tu vais descrevendo as variações das fácies na vertical, tu vai classificando as rochas na vertical.

(Mara) Outra pergunta é a seguinte. Essa pergunta é crucial. Como é que tu define o que pertence a uma fácies e o que pertence a outra porque essa aí nós dividimos em três fácies e tu em duas.

(Claiton) É porque aqui é pelito também, é tudo siltito. Daí vem a questão, nós vamos ter que dar valor aos atributos. Quer dizer, são oito atributos, mas alguns têm valor maior que outros. Teria que dar um peso, por exemplo, uma cor é um valor menor. Se muda a cor e todos os outros atributos não, naquele caso ali ela não é fundamental.

(Platéia) Nesse caso aí a cor não teria tanta validade porque ela está na mesma camada?

(Claiton) Isso, porque ali eu tenho uma descontinuidade entre elas e mais, se tu chegar no afloramento tu vais ver que têm porções ali dentro que já começam a mudar de cor, também por um processo de hoje, mais superficial. Está percorrendo água, está tirando ferro, está lixiviando não tem nada a ver com gênese da rocha. O que a gente busca são atributos que dêem a diferença sobre a gênese. Então a cor muda muito hoje quando expõem, então ela não dá tanta informação para a gênese. Então alguns desses vão ter que ter peso maior. Eu diria que os principais são a granulometria, a estrutura, esses dois são os principais, depois as texturas depois a cor.

(Mara) Mas vamos imaginar assim. Tu tens duas fácies claras, uma eu tenho diferença de cor, que não é muito significativa mas segue a mesma granulometria mas naquele canal ali, naquela lente que estou enxergando, da base para o topo, eu não fui no afloramento, eu tenho diferentes granulometrias. Como é que eu decido se aquele canal é uma fácies ou eu divido ele também em outras fácies?

(Claiton) Aqui, esses são conglomerados, o tamanho grão é maior que 2 mm, chega a ter 6 cm, 10 cm. Estão vendo que tem uma camada de areia mais fina de arenito e que

o texturamento é mais rugoso, um monte de ovos de galinha formando o conglomerado e aqui uma textura mais fina. Então olhando aqui eu diria que tem uma litofácies, aqui outra litofácies e aqui repetindo novamente a mesma litofácies debaixo, com base na granulometria. Fica mais difícil as vezes separar quando tu tens a mesma granulometria. Aí tu tens que levar me conta o quê? Estrutura mudando, textura mudando radicalmente.

(Mara) Mas se eu fosse pensar em um sistema de descrição eu vou fazer uma entrada para cada uma das fácies?

(Claiton) Uma entrada para cada uma, mas não existe alternativa, sempre terá a subjetividade do intérprete, quantas fácies ele vai definir, isso não tem escapatória. Quer dizer, nós tentamos definir sete atributos, o cara seguir a partir da mudança daqueles atributos nós vamos definir a litofácies, mas sempre tem um grau de subjetividade.

(Mara) Porque se eu já sei que tenho três fácies já me facilita tremendamente, mas até a definição de três fácies pelo usuário ela é complicada de se resolver.

(Claiton) Normalmente a fácies é dada pela granulometria e pela estrutura, isso designa se é uma nova fácies ou não, certo? Então para existir mudança de fácies tem que mudar a estrutura. Porque é a estrutura que diz e que define o processo de transformação da rocha. Então normalmente dos oito atributos, dois são cruciais para definir a fácies, a granulometria e a estrutura. Se não varia a granulometria e não varia a estrutura dificilmente vai mudar a fácies.

(Mara) Aquela fácies conglomerada, ela tem uma linha de seixos no meio dela. Por que eu não posso definir uma nova fácies?

(Claiton) Não, é que aqui tu tens, dá para ver que os clastos estão orientados formando linhas horizontais, certo? Não sei se todos conseguem ver isso. Isso aqui, tem uma série de linhas horizontais que estão riscando esse afloramento, não tem? Aqui embaixo está muito escorregado as coisas, mas também tem linhas horizontais. Esse conglomerado é formado por laminações horizontais, esse aqui também, então tu chamaria os dois da mesma fácies porque ambos têm a mesma estrutura. Então o que define a fácies é granulometria e estrutura.

(Mara) Posso ter uma variação de granulometria ali, porque eu tenho aquelas linhas de seixo, que é uma granulometria diferente, mas a estrutura se mantém ao longo.

(Claiton) E ele sempre será conglomerado, em nenhum momento que tu olhar aqui mesmo variando o tamanho dos clastos sempre será um conglomerado. Aqui não, aqui é um arenito mais fino. Então eu diria que para mudar a fácies teria que mudar a litologia, que conseqüentemente a granulometria, silte, argila, areia e grânulos ou seixos, ou seja, argilito, siltito, arenito e conglomerado. Se muda essas grandes classes muda a fácies. O segundo atributo é a estrutura. Agora se ele varia de arenito fino a médio, mal selecionado, mas tem cruzadas por exemplo, será a mesma fácies, apesar da textura variar.

(Mara) Mas igual, a identificação da diferença de fácies está muito associada a ao modelo de ambiente que tu tens na cabeça.

(Claiton) É, teoricamente esses atributos são reais ele não deveria ser, quando tu vais descrever a fácies tu não é guiado pelo modelo, tu deve ser guiado pelos atributos e a partir disso interpretar o modelo.

(Mara) E no caso de tu trabalhar com uma amostra de mão, por exemplo, tem sentido eu pegar uma amostra de mão igual a essa e descrever uma fácies em cima de uma amostra de mão, onde eu não tenho uma seqüência.

(Claiton) Não, o que eu tenho é uma sucessão. Tenho que ter um testemunho.

(Mara) Para pegar as variações.

(Claiton) É para pegar a espessura para conseguir as variações na vertical.

(Mara) Então também tem sentido eu pensar que meu sistema sempre deveria prever mais de uma fácies.

(Claiton) Sempre.

(Mara) Então eu peço para o usuário dizer quantas fácies tem antes e depois eu ofereço para ele descrever cada uma delas.

(Claiton) Eu acho que ele vai ter que ir definindo as fácies à medida que ele vai descrevendo, ele vai descrevendo, fácies A, ele vai dar um número ou um código, ele vai descrevendo na vertical, normalmente o geólogo descreve debaixo para cima porque a rocha mais antiga está embaixo, a gente vai descrevendo da mais antiga para a mais recente. Então tu vai vendo na vertical as fácies mudando e tu vai designando elas então ele vai alimentando o sistema conforme ele vai descrevendo.

(Platéia) Faria sentido se eu fizer...(36:15) aí ele descreve todos os atributos de cada uma. Aí o sistema diz espera aí, essa aqui e essa aqui são muito parecidas.

(Claiton) Sim, vamos mesclá-las. É possível o sistema dizer “essas duas têm que virar” uma, é possível sim. É que as vezes a descrição, imaginem, ele está descrevendo 500 metros de rocha na vertical, do testemunho. Ele pode lá em cima criar uma nova fácies que já é igual a uma lá debaixo e que ele não se lembra que já descreveu. Então o sistema pode corrigir, não tu já criou uma fácies similar, tu já criou uma.

(Mara) E o similar, como é que a gente mede esse similar?

(Claiton) Textura, granulometria e estrutura mesmo. Acho que os dois atributos que têm que ser, o que rege a fácies é a granulometria e a estrutura, o restante são atributos adicionais mas tu não pode ter o valor de definir uma nova fácies por eles.

(Platéia) Mesmo quando essas fácies estão muito distantes e tem várias fácies no meio delas, são a mesma?

(Claiton) São a mesma, se repetir a textura, por isso que tem códigos universais de fácies. Por exemplo, arenitos. A combinação arenito, granulometria areia, rocha arenito e estrutura, a combinação deles vai gerar um número finito de fácies, certo? Então tem códigos universais de fácies.

(Platéia) Como eu descrevo, eu tenho sete camadas e duas são a mesma?

(Claiton) Tu vais dizer que a repetição da fácies A, tu dá um código, essa aqui é a fácies A, essa é a fácies B, essa aqui é a C. As vezes a mesma fácies pode se suceder, ele pode estar se repetindo em várias camadas.

(Mara) Para descrever denovo só utiliza a fácies anterior.

(Platéia) E isso indica que a fácies foi gerada pelo mesmo processo?

(Claiton) Sempre. Se tu diz que é a mesma fácies tu estás dizendo que é o mesmo processo está gerando a mesma fácies em tempo distinto. Uma corrente que gera uma cruzada ela ocorreu nesse momento mas pode ocorrer em momentos distintos.

(Mara) Pode ser um milhão de anos depois.

(Claiton) Agora, tem que ter uma certa liberdade. Para interpretar o ambiente são essas duas variáveis que contam, a granulometria e a estrutura. Mas se tu vais trabalhar com reservatório, Petrobrás está detalhando um campo e fez um furo. Talvez para eles têm diferença se é arenito fino ou grosso. Porque o grosso gera uma porosidade e permeabilidade menor que o fino, maior que o fino. O fino é mais fechado, tem menos espaço entre grãos, o grosso tem mais espaço. Então obviamente a permeabilidade e a porosidade é maior no grosso a tendência é ser maior. Então talvez nesse caso seja importante separar as fácies pela variação textural, as classes fino, médio, o grau de seleção também pode impactar se ele é mal selecionado ele tem grãos maiores mas tem grãos menores entre os grãos maiores que fecham e deixam menos espaço. Então também tem isso, a definição

das fácies depende muito do interesse do intérprete. Se para ele é vital se o reservatório é de arenito fino ou grosso ele vai dividir as fácies distintas, porque para ele esse é um atributo que é vital. Então vocês vejam a subjetividade que tem a geologia.

(Mara) Mas tu vais fazer a interpretação e tu tens os outros dados, tu usas os outros dados?

(Claiton) Tu podes usar, tu tens duas maneiras, tu pode. Olha a fácies A que eu criei ela tem comportamento de porosidade, permeabilidade distintos conforme a granulometria, então vamos dividi-la em duas formações, fina e grossa ou tu podes, para facilitar a comunicação dizer que ela tem duas fácies, uma de arenito fino com cruzadas e outra de arenito grosso com cruzadas, ambas têm comportamento hidráulico distintos.

(Mara) Mas assim Claiton, se a gente for definir a padronização da nomenclatura a noção de fácies é em cima desses atributos.

(Claiton) É em cima desses atributos, mas tu podes dar graus conforme teu interesse, a seleção pode ser um atributo importante e eu estou tentando tirar a última gota de óleo de um reservatório de um campo que tem trinta anos e a seleção está controlando a porosidade e a permeabilidade. Daí nesse caso eu vou designar fácies com base nesse atributo. Mas a descrição antes de tudo é fundamental, independente do número de fácies, se tu descrever corretamente depois tu podes agrupar, subdividir.

(Mara) Mas então pegar uma fácies dividir em duas fácies e elas continuam sendo fácies ou eu uso em termos de terminologia o termo subfácies.

(Claiton) Pode chamar de subfácies, alguns chamariam de subfácies outros dividiriam em duas fáceis. Sempre vai ter um grau, o número de fácies que ele der o sistema vai controlar se ele está descrevendo certo isso aqui, se ele está inserindo no sistema esses dados. Agora se ele está descrevendo em vinte ou trinta fácies ou em três ou quatro, a decisão é dele.

(Mara) Eu posso pegar por exemplo dizer assim, eu tenho fácies fluvial e aí fluvial ter de canal, de inundação que são quase diferentes e eu chamo tudo de fluvial mas eu posso descrever isso junto, com granulometrias diferentes, com estruturas diferentes.

(Claiton) Ele vai acabar levando em conta que ele tem que descrever esses atributos aqui. E daí nós podemos entrar granulometria e estrutura são vitais, mudou a granulometria no sentido de silte para argila de argila para silte de silte para areia tem que mudar fácies, muda a estrutura tem que mudar a fácies. Os outros é que tem condições de jogar. Mas sempre será uma divisão mínima, ele não pode chamar um conglomerado com cruzada da mesma fácies que um arenito com cruzada.

(Mara) Se tu pega, por exemplo, a famosa fácies de Bouman, aquela que é uma gradação que é uma variação de granulometria, mas aquilo é considerada uma fácies só.

(Claiton) Cada intervalo é uma fácies.

(Mara) Muda a estrutura e muda a granulometria.

(Claiton) Então isso a gente tem que dizer, esses dois, mudando esse e mudando esse tem que mudar.

(Mara) Isso é uma informação importante.

(Claiton) Agora os outros tu pode mudar, o sistema pode permitir que mude. A idéia seria essa.

(Platéia) E como é que tu define a estrutura quando tu tem a sonda?

(Claiton) Fica igual.

(Platéia) Mas é em múltiplos locais que tu fura?

(Claiton) Não, tu vai ver na vertical. É que isso aqui, deixa eu te mostrar.

(Mara) O nosso objeto de base é fácies mesmo.

(Claiton) Isso aqui não tem escala, mas isso aqui é um testemunho de sondagem. Isso aqui tem mais ou menos 10 cm de largura, mas tu consegue ver as estruturas nos 10 cm de largura. Então tu podes ver a litologia e as estruturas e com isso tu consegue definir...(44:40).

(Platéia) Geralmente quantas fácies tem numa descrição, independe da profundidade?

(Claiton) Independe, vai depender da tua capacidade de reconhecer a granulometria e as estruturas. Enquanto tu tiver vendo, porque chega a uma profundidade tal que começa a fundir, a metamorfozizar a pressão é tanta que começa a sofrer uma mudança mineralógica ou a fundir que é uma rocha ígnea, aí tu não reconhece mais nada, mas até lá tu reconhece as estruturas. Isso quer dizer o quê? Quer dizer que se tu pegar uma rocha que está a oito mil metros de profundidade tu ainda vê.

(Platéia) A minha pergunta é em relação a exaustão, o cansaço do cara, o cara começa a descrever cem fácies e chega um ponto que ele cansa ou quantas fácies?

(Claiton) É ele não vai porque essa combinação é finita, por isso que a gente vai criar. A idéia é criar, estruturas, o cara vai abrir, quantas estruturas existem, cem estruturas, não vai passar disso. Então a idéia é que ele tenha ali um catálogo de estruturas na hora que ele for descrever, for abrir o catálogo de estruturas sedimentares para ele reconhecer o que está vendo.

(Mara) É que tem uma questão que é um pouco de conhecimento de base que antecipa essa tua pergunta. Por que que a gente não descreve cem? Porque uma fácies é uma consequência de um ambiente de deposição e eu não tenho cem diferentes ambientes de deposição na natureza, eu acho. Tem cem? Não tem cem?

(Claiton) Não. Basicamente é o processo, eu preciso ter uma corrente, essa corrente gera duna. Essa corrente pode estar dentro de um rio ou paralela à praia. Na praia não aquelas correntes de retorno que puxam o cara e afogam, o fundo gera dunas.

(Mara) Não tem cem processos diferentes.

(Claiton) Eu acho que se nós formos computar, nós vamos ter que fazer isso, nós vamos ter umas cem estruturas sedimentares distintas, tendo cem.

(Mara) Mas não são cem estruturas de cem processos?

(Claiton) Se tu pegares, por exemplo, fluxo gravitacional...(46:45) movimento de massa ali gera umas quinze fácies. Fluxos trativos gera mais umas dez. Vento gera mais umas dez, trinta e cinco. Maré, fluxos oscilatórios gera mais, sei lá, estou chutando, por alto daria umas cem, por alto.

(Mara) Para mais ou menos quinze a vinte processos.

(Claiton) Não, cada fácies, cada estrutura é um processo particular dela. Então teriam cem processos.

(Platéia) Uma pergunta, existiriam situações proibitivas, por exemplo, o cara digitou uma granulometria X e depois ele colocou uma estrutura Y e nunca vai existir aquela situação? Sempre uma coisa e outra?

(Claiton) Tu tens razão, por exemplo, pelito é o mais fino.

(Platéia) Alguma configuração que não exista.

(Claiton) Pode, pode existir, por exemplo, argila, para depositar, imagina argila, para ela depositar tem que ser suspensão, não pode ter corrente nenhuma, tem que ser água parada para assentar por suspensão. Então um argilito, uma rocha formada por argila, nunca vai ter cruzada pois se tem corrente ela não deposita, ela vai embora, até a água parar e decantar. Eu tenho algumas combinações que não são possíveis.

(Platéia) E ocorrem muitos erros desse tipo?

(Claiton) Não, isso é um erro grosseiro mas pode acontecer, porque se a base geológica do cara for muito ruim pode ocorrer.

(Platéia) Tu falou que quer descrever todos os atributos, mas são várias fácies. Existem algumas fácies que são mais fáceis de detectar que outras?

(Claiton) Sim.

(Platéia) Conseguiria fazer a descrição do que seria uma fácies complexa, uma simples?

(Claiton) Como é que eu vou te dizer. Não deveria ser mais difícil porque visualmente ela é um composto de atributos que tu vai ver. Só que algumas são mais comuns e o olho do geólogo está mais acostumado à elas. E qual é o problema da observação. É que ela depende muito da cultura, tu não vê o que tu não sabe, isso é uma regra básica. Tanto que se eu te mostrar um monte de slides de fácies e de estruturas, eu vou ver ela mas tu não vais ver, de repente porque tu não tens a base geológica para isso. Então depende muito da cultura do indivíduo, da cultura do técnico. Se ele tem uma cultura geológica baixa ele não vai ver a estrutura. Então esse grau de subjetividade tu nunca vai conseguir controlar, a não ser os absurdos, seria uma boa né, o cara coloca um argilito com cruzada, aí o sistema bloqueia. Mas tem outras coisas que o cara diz, um arenito com cruzada, bom isso é possível mas daí não exista cruzada nenhuma, ele não viu corretamente a rocha.

(Platéia) Não, mas eu digo sobre a tua colocação que tu queres descrever todos os atributos para cada fácies. A minha pergunta é. Não existe uma fácies que é tão simples de identificar que só com um ou dois atributos já valeria a pena.

(Claiton) Por isso que eu te digo, de uma forma geral, dois atributos são base, são suficientes para ti definir a fácies, a granulometria e a estrutura. Os outros são dados adicionais que melhoram a determinação da fácies e vão servir depois para prever a qualidade do reservatório. Agora para fácies esses dois atributos.

(Mara) Aí tem uma discussão do projeto que é objetivo do projeto versus interpretação geológica. Então de novo a discussão, ontologia versus sistema de conhecimento. Quer dizer, se eu quero fazer um sistema para interpretação, para muitos casos quando eu tenho litologia e estrutura eu consigo fazer interpretação, posso ter alguns casos específicos que eu posso pedir informação adicional. Mas se eu quero fazer um sistema de descrição para uso futuro, para compartilhamento, para dar subsídios para estudos, sei lá, que podem vir a ser definidos no futuro, ele tem que ser exaustivo.

(Claiton) Ele precisa, por exemplo, vento, uma duna eólica forma extratos cruzados e arenitos, forma porque tu já viste foto da duna que ela era cruzada...(51:20). Um fluvial, uma corrente aquosa também gera as cruzadas, ambos na fração areia, o que separa se é eólico ou fluvial? É a seleção, o arredondamento, então aí passa a ser importante. Esses dois atributos são vitais, estrutura e granulometria, mas em alguns casos eles não são suficientes. Precisa somar outros. Então tu vê que nem precisa sempre ter esses dois critérios mas que as vezes eles são fundamentais. Como que tu vais saber que naquele momento ele é fundamental. Se tu pegar um geólogo experiente ele vai saber, mas se for um trainee é melhor que ele descreva para que depois tu diga, não isso aqui está bem selecionado, essas cruzadas são eólicas, permite que alguém interprete e que mude a interpretação depois.

(Mara) Esse é o espírito de fazer o sistema, forçar a ter uma descrição mais completa e tu poder fazer um cruzamento de informação depois. Claiton eu queria que tu pegasse um exemplo com começo meio e fim de como tu interpreta.

(Claiton) Eu não sei se eu vou ter foto aqui com variação...(52:43) É vai ter que ser uma outra vez porque eu tenho que conseguir a chave. A gente pode marcar outra segunda.

(Mara) Semana que vem nós não temos aula, mas na outra se tu tiveres aí nós já vamos deixar pré-agendado para fazer uma concorrente e fazer a classificação de fichas.

(Claiton) Isso aqui é um afloramento, podia ser um testemunho, mas é um afloramento. Tu estás vendo como vai mudando um pouco aqui, sempre num afloramento onde tu tens mais reentrância é grão mais fino...(53:36) quanto mais ressaltado mais os arenitos. Aqui vocês têm o domínio de, essa porção basalto são arenitos e pelitos intercalados, depois as camadas de areia vão ficando maiores, mais espessas, dá para ver aqui as camadas de areia ficando mais espessas, e vai dominando esses arenitos com as laminações onduladas que a gente chama, tudo ondulado, isso aqui é onda de processos relacionados a fluxos oscilatórios. E lá em cima...(54:13) extratos horizontais. Então aqui eu tenho três fácies se sucedendo. Então aqui eu interpretaria uma fácies...(54:25) e uma terceira fácies...(54:27) porque vai mudando a litologia e vai mudando as estruturas. Aqui são arenitos e pelitos intercalados, eu poderia chamar essa fácies, eu poderia chamar esses pelitos de uma fácies e esses arenitos de uma outra fácies...(54:40). Esses aqui são arenitos finos com laminação ondulada caracterizando uma outra fácies e lá são arenitos médios com laminações plano-paralelas e riscos horizontais. Então aqui estaria dividindo em três fácies se sucedendo que eu diagramaria dessa forma.

(Mara) E por que que são plataformas laminadas?

(Claiton) Porque todas essas fácies aqui, principalmente essa que dá essas laminações onduladas são geradas por fluxos oscilatórios.

(Mara) E a de cima não?

(Claiton) A de cima é praia. É que muitas vezes a interpretação da fácies, se tu olhares aqui o que vai acontecer tá ameaçando plano-paralela que pode ser rio, pode ser uma praia, podem ser diferentes contextos. Como é que tu sabes? A única coisa que dá para dizer a fácies é o seguinte para formar plano-paralela a velocidade da corrente tem que ser muito alta, só que a velocidade da corrente é alta pode ser em um rio ou pode ser na praia, quando dá o “suoch” ali ela vem, diminui a lâmina da água e aumenta a velocidade. Então tu consegue dizer a fácies, tu dizes o processo. Agora a sucessão de fácies e o agrupamento delas é que me dá o ambiente, mas é outra aula é outro contexto que tu estás trabalhando.

(Mara) Mas se eu pegasse individualmente, porque nós estamos pensando de fazer a descrição da fácies e de aplicar sobre essa descrição a interpretação. Individualmente para cada fácies, eu consigo fazer a interpretação de ambiente?

(Claiton) Não a fácies sempre, ela interpreta o processo...(56:26) cruzada significa na corrente de...(56:32) Se essa corrente está dentro de um rio, se essa corrente está na praia na zona de banho ali isso só o conjunto de fácies para me dizer. Porque se ela estiver no marinho lá na costa intercalada com os arenitos com cruzadas então vai ter arenitos com laminações onduladas gerados por fluxos oscilatórios. Então a fácies é sempre um processo.

(Mara) Então se eu quiser determinar o ambiente eu tenho que ter um conjunto de fácies. E como é que eu decido o que é que fica naquela minha interpretação, sei lá, eu estou lá descrevendo um testemunho em vinte fácies, onde é que eu decido que essas três devem estar interpretando o mesmo ambiente?

(Claiton) É aí nós já estamos entrando para a geologia pesada isso aí já começa a ficar difícil até para o geólogo. Mas, interpreta coisas que tem uma gradação entre elas, tu diz que elas são de um mesmo sistema, aqui eu vou desenhar uma seção, não sei se vocês vão entender. Normalmente o geólogo representa uma seção colunar, aqui fica a granulometria, argila, silte, areia fina, areia média, areia grossa e aqui fica a espessura, dez metros.

Então tu vais diagramando aqui. Primeira camada, argilito, tantos centímetros desenha o argilito aqui, ficou restrita a essa faixa granulométrica, depois começa a entrar uns arenitos finos, intercalando com os pelitos, depois cada vez vai entrando mais areia e junto com o pelito. O que eu estou mostrando aqui, estou mostrando um progressivo aumento granulométrico aqui, as camadinhas vão ficando cada vez mais com granulometria maior, eu estou aumentando para a direita, cada vez ficando com granulometria maior, indicando uma variação contínua da energia do sistema, certo? Qual é a menor energia? Aqui é a maior energia lá então isso está mostrando que tem uma variação progressiva. Então isso mostra que essas fácies estão lateralmente vinculadas. Então é isso que permite que a gente vincule elas.

(Mara e Claiton) A queda brusca de granulometria indica que isso aqui está entrando numa mudança de ambiente.

(Claiton) Agora enquanto elas são gradacionais está mostrando que as coisas estão coexistindo. Daí já é outro passo.

(Mara) Então eu vou mudar a minha pergunta e vou te pedir para pegar uma dessas três fácies e me dizer como é que tu interpreta qual é o processo delas.

(Claiton) Essa aqui está alternando, vamos começar com basalto. É que aqui não dá para ver as estruturas teria que ampliar para mostrar melhor vocês, mas a alternância de pelitos com areias, os branquinhos são areias e esses aqui são os pelitos, certo? Esses pelitos têm decantação de fino, têm segmentação, material de suspensão e essas areias têm ondulações dentro delas o que está mostrando que de vez em quando intercalado com os esses pelitos tinha a ação de ondas, isso normalmente a gente vincula a tempestades intercalando pelitos. Depois da ação de ondas aí ficariam bem maior aqui eu sei porque tenho essas ondulações, ele vai mostrando a ação exclusiva de ondas sem períodos de calmaria e decantação de fluidos. Lá em cima fluxos de alta energia vinculadas a correntes trativas. Então essa sucessão está me mostrando o quê? O ambiente mais calmo trabalhado por onda, um ambiente com muita onda, um ambiente já com correntes trativas bi-direcionais praia interpreto isso como um raseamento.

(Mara) Então quanto menor a granulometria, menor a energia.

(Claiton) Sempre.

(Mara) E segundo quando eu tenho essas estruturas de onda maior a energia mas.

(Claiton) Quanto maior as ondulações aqui dentro da...(1:01:13) mas vamos dar uma olhada, quanto maior a ondulação maior a energia. Aí tem uma série de.

(Mara) E o fato de ser um acamadamento planar ou indicativo de alta energia depende, porque por exemplo, eu posso ter um argilito absolutamente planar no fundo de lago.

(Claiton) Em areia, laminação plano-paralelo horizontal em areia é alta velocidade. Em pelito é baixa.

(Mara) Eu preciso te perguntar outra coisa. Volta naquela transparência de granulometria que é a segunda, eu acho. Aí nós já temos o primeiro problema, tu diz argilito, folheio e silito e começa a chamar de pelito, o que é pelito?

(Claiton) Há, é que pelito é mistura de silte e argila. Pelito é quando tu não sabe pelo tato, tu não tem lâmina, tu não sabe se tem mais argila ou mais silte. Para não errar tu chama de pelito.

(Mara) Ou seja, se tu tem uma rocha que não tem a possibilidade de fazer uma análise quantitativa e pelo tato eu acho que ele é mais grosso, então essa aqui é um pelito, essa rocha aqui.

(Claiton) É, é um pelito. Agora eu não descarto de ser silte, essa aí tu vê que é silte, dá para dizer que é um silito.

(Mara) E tem outros termos de granulometria assim além desses?

(Claiton) Não.

(Mara) E a diferença de folhelo para arenito? Se for maciço é argilito e se tiver laminazinhas é folhelo. Pelito é a combinação de siltito e argila.

(Claiton) Os arenitos é formação areia, os conglomerados acima da areia.

(Mara) Acho que os termos granulométricos não têm outros termos.

(Claiton) Não, a classificação mais aceita, até tem, mas essa é mais do uso do geólogo.

(Platéia) Ali naquela primeira camada que tu analisou, tu descreveu como duas regiões totalmente distintas para o conjunto de atributos, o escuro e o mais amarelo. Eu fiquei com dificuldade de, na lista dos atributos tu falou umas palavras que são de fora do que a gente...(1:03:50), por exemplo, a granulometria, esfericidade e arredondamento, não sei se tu poderia fazer um passo a passo com os atributos.

(Mara) Interpreta aquela primeira foto lá. Por isso que é bom a gente padronizar porque ele vai lá dar aula dizer, é essa terminologia e mostra todas as tabelas, explica, depois usa todo o vocabulário diferente.

(Claiton) Não mas é o vocabulário da textura, da estrutura, aquilo que eu te falei é o atributo, está dentro de um daqueles atributos. Vou te descrever com base no.

(Platéia) Ali são duas ou é uma camada só?

(Claiton) São duas camadinhas. São duas fácies semelhantes, numa é um pelito, é que pelito não tem grau de arredondamento, o pelito é só fração silte argila, tu não consegue ver o grau de arredondamento dele, aí é um problema, porque alguns atributos que tu entra...(1:04:50) areia tu não consegue ver mais. Então esse eu chamaria de pelito.

(Platéia) Tá, mas como eu começo a descrição, com uma ou duas fácies?

(Claiton) Duas fácies, pelitos, eu chamaria de pelito, cinza-escuro, com laminação horizontal, certo? Dispostos em camadas com tanto de espessura, centimétricas de espessura, lenticulares. E os arenitos, arenitos lenticulares, fino, bem selecionados.

(Platéia) Bá, desculpa denovo, está rápido para mim, por exemplo, granulometria, seleção e arredondamento tu juntou.

(Claiton) Pelito, granulometria, estou botando pelito que é a fusão de argila e silte, certo?

(Platéia) Aí tu já usou seleção também?

(Claiton) O pelito, quando tu fala de pelito tu não tem, por exemplo, atributos texturais, tu não vais conseguir ver.

(Platéia) Então aquela frase inicial de que todos os atributos devem ser descritos, tem alguns atributos que não conseguem ser descritos em alguns casos.

(Claiton) Em alguns casos não.

(Mara) No caso de granulometria pequena o arredondamento...(1:06:07).

(Claiton) Por isso que não dá para ti bloquear o sistema, o cara as vezes não vai conseguir isso aqui no caso de pelitos, arredondamento, esfericidade e seleção ele não vai conseguir.

(Mara) Mas eu acho que arredondamento, seleção e esfericidade nem lâmina...(1:06:24)

(Claiton) Não, porque pelito é grão de argila, ele é pacóide ele não vai ter essas.

(Mara) É que uma argila é um.

(Claiton) Muito bom, tu tens razão, esses oito valem para quando tu estás trabalhando de areia para cima.

(Platéia) Então tu pode dizer que algumas palavras representam praticamente todos os atributos, eu posso dizer pelito, eu já estou falando uma série de coisas e depois aquele

bloco amarelo tu descreveu em uma palavra.

(Mara) Aquela outra foto do afloramento, aquele arenito lenticular ali. Ele disse arenito bem selecionado.

(Claiton) Esse aqui se eu fosse descrever, aí tu teria que botar todos, arenito fino, bem selecionado, subarredondados, certo? Colocaria todos aqueles atributos. Dispostos em camadas com geometria lenticular de tantos centímetros internamente laminações onduladas truncadas. Fóssil não tem. Esse aqui tu já botaria um arenito fino a médio, bem selecionado com os grãos também subarredondados, arredondados, esfericidade é variável, com camadas tabulares, dá para ver mais aqui de longe, as camadas tabulares aqui desse intervalo, com laminações onduladas de médio porte digamos, o debaixo seria de pequeno porte. ...(1:08:20) e aqui já está bem maior.

(Mara) Quando tu define estrutura, além do nome da estrutura tu tem que dizer o tamanho?

(Claiton) É, que algumas estruturas só se diferencia pelo tamanho. Por exemplo, essas laminações onduladas truncadas elas podem ser de pequeno porte e de médio porte isso varia a energia.

(Mara) Alguma outra característica para definir estrutura, sei lá, a esfericidade, repetição, distância.

(Claiton) Não, a forma geométrica da lâmina e o tamanho, são os dois atributos que eu levo em conta quando defino uma estrutura. É a estrutura que define o processo.

(Mara) Me dá uma lista de processos que tu tens.

(Claiton) Vou mostrar aqui para vocês. Fluxos trativos mostrei. Agora vou mostrar os fluxos gravitacionais. Aqui várias fácies geradas por fluxos gravitacionais, uma, duas, três, quatro, cinco, seis, sete, oito, nove, nove fácies.

(Mara) Me define o trativo e o gravitacional.

(Claiton) Tratativo é quando os grãos se movimentam individualmente pela água... (1:09:45), cada grão tem um movimento individual. Gravitacional é um fluxo de concentração maior de sedimento, os grãos não se movimentam, se movimentam individualmente mas dependem bastante do movimento do grão adjacente porque tem muito mais densidade de sedimento em relação ao fluido, por isso chamam de fluxos mais densos e daí ele já gera uma série de outras estruturas, são nove, por exemplo. Se fosse colocar, quais são as fácies que geram por fluxos tratativos, vai acontecer mais nove ou dez. Fluxos oscilatórios, outra que nós vamos fazer uma tabela.

(Mara) Então é tratativo, gravitacional, oscilatório.

(Claiton) Tratativo, daí tratativo subaéreo e subaquoso. São dois mundos.

(Mara) Aéreo é vento né.

(Claiton) Tratativo, uma coisa é tu ter uma corrente sempre no mesmo lado, outra coisa é tu alternar, num momento do dia a corrente é para um lado, num outro momento do dia a corrente é para o outro, maré. Tem que pensar, essas grandes divisões elas não existem.

(Mara) Respondeu as três perguntas? A pergunta é quando que acontece. Isso eu tinha outra pergunta para fazer...(1:11:20) afloramento no momento da descrição...(1:11:25) tem uma variação gradacional...(1:11:27) para depois fazer a interpretação dos ambientes.

(Claiton) É em duas etapas...(1:11:35) as fácies...(1:11:45) marinho raso.

(Mara) Digamos que tu pegue a fácies originalmente e identifique o ambiente... (1:11:55) ou tu precisa ainda da fácies? Se eu tiver uma fluxo tratativo, subaquoso com variação de direção de corrente e depois eu tiver um oscilatório. Se eu tiver isso tu determina o ambiente ou precisa de mais informações?

(Claiton) Normalmente para a definição de um ambiente tu vais trabalhar com mais de duas fácies.

(Mara) Mas só o processo basta ou tu volta?

(Claiton) Com ...(1:12:20) fluxo oscilatório, ou é um lago ou é mar, tem muitas fácies que permitem a interpretação direta do ambiente. Fluxo trativo permite várias.

(Mara) E aí tu volta a fazer referência a questão da fácies a uma dessas sete características, não é uma coisa fácil. Mais perguntas gente? Então era isso.