



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

PETROGRAPHER: UMA APLICAÇÃO DE BANCO DE DADOS INTELIGENTE PARA A DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E INTERPRETAÇÃO PETROGENÉTICA DE ROCHAS-RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO

Luis Fernando De Ros¹, Mara Abe², Laura Mastella², Luis Álvaro de Lima Silva², Taisa Novello²

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS – Brasil, lfderos@inf.ufrgs.br

² Instituto de Informática, UFRGS; Av. Bento Gonçalves, 9500 – Bloco IV; Porto Alegre – RS – Brasil; {[marabel.mastella](mailto:marabel.mastella@inf.ufrgs.br),[llima.novello](mailto:llima.novello@inf.ufrgs.br)}@inf.ufrgs.br

Resumo – Uma das tarefas mais difíceis envolvidas na exploração de petróleo é a descrição sistemática e a extração de interpretações genéticas de rochas-reservatório. O sistema PetroGrapher, uma aplicação de bancos de dados inteligentes foi desenvolvida para dar suporte e orientação à descrição petrográfica e interpretação petrogenética de rochas-reservatório de petróleo, como também para permitir o gerenciamento otimizado de dados petrográficos usando recursos tanto de sistemas de conhecimento quanto de bancos de dados. O conhecimento visual aplicado na análise petrográfica foi explicitado através da aquisição de casos de descrição de diferentes amostras de rochas-reservatório, os quais foram usados no desenvolvimento da ontologia do domínio que suportou a modelagem do sistema. Na sua configuração atual, o sistema PetroGrapher permite que descrições completas e avançadas de arenitos reservatórios, que são produzidas convencionalmente apenas por geólogos bem treinados, possam ser desenvolvidas por estudantes e profissionais pouco experientes. A tarefa de descrição é facilitada pelo uso de menus flexíveis com parâmetros e nomenclatura normatizados. Isto reduz radicalmente a tarefa de descrição escrita, e minimiza as chances de descrição incorreta ou incompleta, padronizando formato e nomenclatura de descrição e permitindo, portanto, o gerenciamento, recuperação e o processamento estatístico e gráfico de dados petrográficos. Uma saída normatizada, nos formatos texto e XML, é produzida para cada amostra descrita. Uma interface com uma platina automatizada de microscópio, sob desenvolvimento final, irá permitir a articulação direta do módulo de quantificação do sistema com o microscópio, durante as análises modais via contagem de pontos. Além disso, o sistema é capaz de desenvolver interpretações do tipo de proveniência tectônica e dos ambientes diagenéticos envolvidos na gênese e evolução dos arenitos descritos utilizando métodos de Inteligência Artificial.

Palavras-Chave: Rochas-reservatório; arenitos; descrição petrográfica; interpretação genética; bancos de dados inteligentes; engenharia de conhecimento.

Abstract – One of the most difficult tasks involved in petroleum exploration is the description and the extraction of genetic interpretation of reservoir rocks. The PetroGrapher system, an intelligent database application, was developed to support and guide the petrographic analysis and the petrogenetic interpretation of oil reservoir rocks, as well as to allow the optimized management of petrographic data using resources both from knowledge system technology and database technology. The visual knowledge applied in petrographic analysis was made explicit through the collection of description cases of different reservoir-rocks that were used in the development of a domain ontology That has supported the modelling of the system. In its present configuration, the PetroGrapher system allows that comprehensive and advanced descriptions of reservoir sandstones, that are conventionally produced only by well-trained geologists, can be achieved by less-experienced students and professionals. The description task is facilitated by the use of flexible menus with normalized parameters and nomenclature. This radically reduces the writing task, and minimizes the chances for incorrect or incomplete description, normalizing the format and the terminology, thus allowing the management, retrieving, statistical and graphic processing of petrographic data. A normalized, text and XML format output is produced for each sample described. An interface with an automatized microscope stage under final development will allow the direct articulation of the petrographic quantification module of the system with the microscope during modal analyses through point-counting. Moreover, the system is able to develop interpretations of the tectonic provenance type and of the diagenetic environments involved in the genesis and evolution of the described sandstones, based on Artificial Intelligence techniques.

Keywords: Reservoir rocks; sandstones; petrographic description, genetic interpretation, intelligent database; knowledge engineering.

1. Introdução

Na exploração de petróleo, a distribuição e o uso de conhecimento especializado são críticos para a tomada de decisão. No Brasil, o elevado custo da exploração marinha em grandes profundidades agrega um valor ainda maior ao conhecimento que suporta as decisões a respeito da locação de áreas de perfuração. A enorme quantidade de dados e as múltiplas áreas de perícia que são essenciais para a exploração geram um volume enorme de conhecimento estratégico, que as empresas petrolíferas empenham-se em manter, administrar e utilizar da forma mais efetiva.

Contudo, a gestão de conhecimento de diversas das áreas envolvidas na exploração de petróleo ainda é extremamente incipiente e ineficiente. Uma das áreas nas quais a aquisição de dados e a gestão de conhecimento especializado são ainda seriamente ineficientes é a descrição petrográfica e interpretação genética de rochas-reservatório. A caracterização petrográfica e a interpretação petrogenética são a base para a avaliação e previsão da qualidade dos reservatórios, seja na exploração por novos campos petrolíferos, seja no desenvolvimento e produção de campos já descobertos. A petrografia de rochas-reservatório é uma atividade especializada e intensiva na qual grandes quantidades de dados são geradas, tanto em formato qualitativo, textual, quanto em formato quantitativo, numérico. Contudo, apesar da grande importância das informações petrográficas para a exploração de petróleo, o conhecimento agregado em geral é pobremente gerenciado, e muitas vezes dados e informações de enorme valor são perdidos.

Basicamente, as informações petrográficas se referem à descrição formal de aspectos visuais de amostras de rocha, do modo como eles aparecem em análises a olho nu, e principalmente, de lâminas delgadas analisadas em microscópios petrográficos sob luz polarizada. Baseado nas feições petrográficas descritas, o petrógrafo infere interpretações genéticas quanto à origem e evolução das rochas, as quais fortemente condicionam os métodos e as conclusões de avaliação dos reservatórios de petróleo. No caso de rochas-reservatório do tipo arenito, estas interpretações envolvem a origem dos grãos constituintes (proveniência), a seqüência de processos e os ambientes diagenéticos envolvidos na evolução pós-deposicional da rocha.

O maior problema no gerenciamento de informações petrográficas é a falta de padronização da nomenclatura e dos procedimentos de aquisição de dados, associado ao fato de que parte do conhecimento utilizado para interpretação é baseia-se em reconhecimento de padrões, o que caracteriza um conhecimento tácito, na definição de Nonaka e Takeuchi {Nonaka, 1994 #9}, de difícil extração e automatização. Como conseqüência, o conhecimento sobre o domínio é pobremente compreendido e transferido, e o processo de treinamento de novos especialistas ocorre predominantemente como uma experiência individual. Além disso, usualmente, cada petrógrafo ou grupo de petrógrafos desenvolvem sua própria ontologia (conceitos e seus significados que descrevem o mundo para uma determinada comunidade) e critérios, de forma que somente a informação de conteúdo muito geral vai para o banco de dados da corporação. Conseqüentemente, a maior parte da informação petrográfica não é eficientemente recuperável, o que seria essencial para seu refinamento, processamento e reutilização na produção de novos conhecimentos e no suporte á tomada de decisões vitais no processo exploratório. Como resultado dessas limitações humanas e técnicas, o uso da informação e do conhecimento petrográfico em companhias de petróleo é limitado a uma fração do potencial da petrografia como uma ferramenta de exploração e produção, ou pior, decisões erradas são tomadas baseadas em conhecimentos limitados, tendenciosos e/ou mal compreendidos.

Sistemas baseados em conhecimento aplicam modelos poderosos para representar domínios especializados de conhecimento, como o petrográfico. São construídos para permitir consultas complexas sobre informações não diretamente representadas, e que podem ser obtidas por dedução a partir daquelas representadas. Sistemas de bancos de dados, por sua vez, utilizam representações simplificadas do domínio, previstas para suportar o armazenamento de grandes volumes de dados de tipos uniformes e consultas eficientes em termos de tempo de resposta. A integração de funcionalidades de sistemas de conhecimento e de banco de dados, como proposta nesse trabalho, permite construir sistemas eficientes no gerenciamento de grandes quantidades de descrições e que também são capazes de deduzir informações por inferência utilizando heurísticas e métodos de especialistas do domínio.

Nosso objetivo com esse trabalho é apresentar as feições principais de uma aplicação de banco de dados inteligentes chamada *PetroGrapher*, que foi desenvolvida para orientar, padronizar, gerenciar, recuperar e processar informação petrográfica, assim como para produzir interpretações para os aspectos diagenéticos e de proveniência de rochas-reservatório. O sistema disponibiliza interfaces e dispositivos mecânicos que suportam todas as etapas de descrição quantitativa (através de platina eletrônica) e qualitativa. Foi concebido ainda para permitir que um usuário de nível médio descreva feições petrográficas disponibilizando a nomenclatura adequada e suporte para o reconhecimento de feições. O sistema tem o papel de aplicar conhecimento para reconhecer as feições diagnósticas para uma interpretação com o nível alcançado por um especialista, simulando uma interpretação visual (mesmo que as imagens sejam descritas simbolicamente). O conhecimento foi compreendido e eliciado com a ajuda de um especialista usando técnicas de engenharia de conhecimento da Inteligência Artificial e modelado através de modelos de dados e conhecimento, implementados em um sistema orientado a objetos.

O sistema *PetroGrapher* se mostra mais flexível e superior em funcionalidades do que sistemas similares de apoio à tarefas geológicas. O sistema *Petrog* (Conwy Valley Systems Ltd) (Conwy 2002), possibilita descrever feições de rochas sedimentares, incluindo texturas e relações paragenéticas, entretanto, o sistema não sugere interpretações para as descrições de rocha. O sistema *ADDGEO* (Garcia 2000) permite capturar imagens de lâminas delgadas e busca identificar bioclastos utilizando algoritmos baseados em redes neurais. O pouco conhecimento geológico de suporte não permitiu, até o momento que o sistema desenvolva inferências complexas como as alcançadas pelo sistema aqui descrito.

2. Sistema *PetroGrapher*: uma aplicação de bancos de dados inteligentes

A aplicação de bancos de dados inteligentes *PetroGrapher* foi concebida para suportar a entrada de dados de descrições de amostras de rochas reservatórios, que são armazenadas em um banco de dados relacional para posterior consulta, análise estatísticas ou geração de descrições em formato texto ou XML (*eXtended Modelling Language*). A aplicação (Figura 1) é composta principalmente por um conjunto de interfaces visuais e por um sistema de controle acoplado a um banco de dados, desenvolvida como uma arquitetura de três camadas (Silva, 2001):

- *Camada de interface* - suporta a descrição e análise de amostras de rocha sedimentares clásticas.
- *Camada de aplicação* - realiza as funções de gerenciamento de banco de dados Inteligentes, tais como as funções que envolvem o controle do sistema de banco de dados e de conhecimento, bem como a manipulação uniforme e integrada de dados e conhecimento de domínio utilizados durante o processo de descrição e interpretação de amostras de rocha.
- *Camada de banco de dados* - essa camada mantém um repositório de dados de descrições de amostras de rochas. A camada de BD também é usada para armazenar os dados sobre o conhecimento de domínio utilizado para orientar a descrição e interpretação dessas amostras.

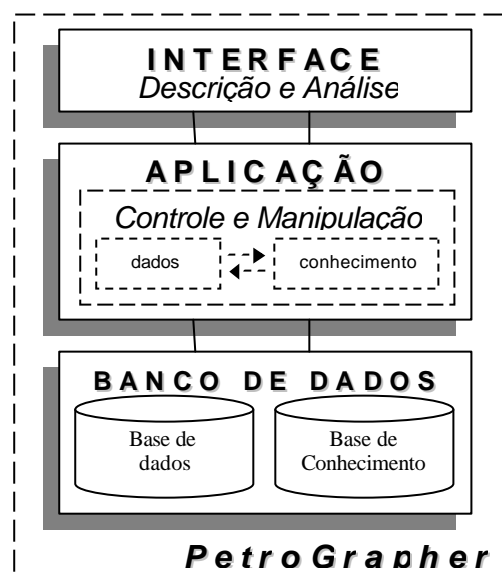


Figura 1 – Arquitetura do sistema em três camadas: interfaces, camada de aplicação e banco de dados.

As funcionalidades de entrada de dados disponibilizadas pela camada de interface incluem:

- *Interface de identificação da amostra*: permite identificar os dados da amostra, associando-a ao reservatório, campo, unidade sedimentar, assim como do petrógrafo, através de sua identificação e senha. As amostras assim identificadas possuem diversos níveis de hierarquia de acesso (alteração, somente consulta, , acesso negado);
- *Interface de descrição macroscópica*: permite detalhar os aspectos texturais e estruturais visíveis na amostra de mão;
- *Interface de descrição microscópica*: permite detalhar os aspectos texturais, estruturais e de fábrica, descritas ao microscópio;
- *Interface de descrição de constituintes*: permite selecionar constituintes detríticos, diagenéticos, bem como seus hábitos, localização e relações paragenéticas, e também tipos de macroposidade. Essa interface suporta ainda a análise petrográfica modal por meio de contagem de pontos, descrita abaixo e apresentada na figura 2, utilizando uma platina de movimento automatizado controlada pelo sistema.

As funcionalidades para saída de dados disponíveis são:

- *Interface de exportação de dados*: gera arquivos de documentos semi-estruturados com descrições completas da amostra, tanto em formato texto para ser editado em processadores de texto, como em formato XML ou HTML para troca de documentos via Internet;
- *Interface de classificação composicional*: gera e apresenta visualmente a classificação da amostra através de plotagem em diagrama triangular segundo os métodos de Folk, McBride (Folk, 1974; McBride, 1963) e além de outros definidos pelo usuário;
- *Interface de interpretação de proveniência tectônica*: plota e apresenta os diagramas triangulares de proveniência de acordo com Dickinson (Dickinson, 1970);

- *Interface de interpretação diagenética*: gera interpretações de ambientes diagenéticos onde a rocha se formou de acordo com (De Ros, 1998), identificando as feições descritas e métodos que suportam essas inferências;
- *Interface de consulta*: permite realizar consultas sobre conjuntos de amostras de acordo com quaisquer dos parâmetros que definem a descrição, utilizando os recursos do banco de dados.

The screenshot shows the 'Point Counter' software window. At the top right, there is a 'Points Amount' field set to 300. Below the window title bar is a toolbar with icons for save, delete, percentage, and help. The main area contains a table with the following columns: 'Constituent Identification', 'Poi...', 'Points ...', 'Nominal Amount', and 'Constituent Description'. The table lists various mineral and rock fragments with their respective point counts and nominal amounts. A context menu is open over the table, showing options: 'Habit', 'Diagenetic Location', 'Diagenetic Modifier', 'Paragenetic Relation', and 'Paragenetic Relation Contituents'. The 'Diagenetic Modifier' option is expanded, showing sub-options: 'Dissolved', 'Zoned', 'Fractured', and 'Recrystallized'.

Constituent Identification	Poi...	Points ...	Nominal Amount	Constituent Description
Detrital quartz monocrystalline with slightly undulose extinction - As monomineralic grain	56	18.0		plutonic
Detrital quartz polycrystalline granoblastic - As monomineralic grain	15	5.0		and monocrystalline with strongly ...
Detrital quartz undifferentiated - In plutonic rock fragment	16	5.0		
Detrital orthoclase - As monomineralic grain	7	2.0		partially dissolved and albitized
Detrital microcline - As monomineralic grain	4	1.0		relatively fresh
Detrital perthite - As monomineralic grain	4	1.0		relatively fresh
Detrital plagioclase undifferentiated - As monomineralic grain	4	1.0		pervasively albitized and illitized
Granitic/gneissic plutonic rock fragment - In plutonic rock fragment	21	7.0		dominantly quartz-feldspathic
Metamorphic rock fragment undifferentiated - In metamorphic rock fragment	6	2.0		micaceous (phyllite/schist)
Volcanic rock fragment with felsitic texture - In volcanic rock fragment	4	1.0		altered
Muscovite - As monomineralic grain	4	1.0		
Biotite - As monomineralic grain	4	1.0		
Chlorite - As monomineralic grain	4	1.0		
Non-carbonate intrabasinal grains undifferentiated - In intrabasinal fragment	0	0.0	Rare	compacted to pseudomatrix and c...
Siderite carbonate intraclast - In intrabasinal fragment	0	0.0	Rare	microcrystalline
Heavy minerals undifferentiated - As monomineralic grain	0	0.0	Trace	
Infiltrated clays undifferentiated - Coating - Intergranular discontinuous pore-lining - Covered by Diagenetic Constituent - Quartz	4	1.0		
Quartz - Overgrowth - Intergranular discontinuous pore-lining - Dissolved - Covered by Diagenetic Constituent - Calcite	4	1.0		
Calcite - Coarse mosaic - Intergranular pore-filling - Replacing grain of Detrital Constituent - Detrital K-feldspar undifferentiated	7	2.0		
Calcite - Coarse mosaic - Intergranular pore-filling - Replacing grain of Detrital Constituent - Detrital quartz undifferentiated	4	1.0		
Calcite - Coarse mosaic - Intergranular pore-filling - Replacing grain of Detrital Constituent - Siderite carbonate intraclast	4	1.0		
Calcite - Coarsely-crystalline - Intergranular pore-filling - Replacing Diagenetic Constituent - Quartz	15	5.0		
Calcite - Poikilotopic - Intergranular pore-filling - Covering Detrital Constituent - Detrital K-feldspar undifferentiated	5	1.0		
Albite - Microcrystalline - Intragranular pore-filling - Dissolved - Replacing grain of Detrital Constituent - Detrital plagioclase undifferentia...	11	3.0		
Albite - Microcrystalline - Intragranular pore-filling - Dissolved - Replacing grain of Detrital Constituent - Detrital K-feldspar undifferentiated	5	1.0		
Albite - Overgrowth - Intergranular discontinuous pore-lining - Replacing grain of Detrital Constituent - Detrital plagioclase undifferentiated	4	1.0		
Chlorite - Rim - Intergranular discontinuous pore-lining - Covering Detrital Constituent - Detrital quartz undifferentiated	9	3.0		
Chlorite - Rim - Intergranular discontinuous pore-lining - Replacing Diagenetic Constituent - Pseudomatrix clays undifferentiated	7	2.0		
Diagenetic anatase - Microcrystalline - Intergranular discrete - Replacing grain of Detrital Constituent - Heavy minerals undifferentiated	4	1.0		
Diagenetic anatase - Microcrystalline - Intergranular pore-filling - Replacing grain of Detrital Constituent - He...				
Intergranular porosity - Replaced by Diagenetic Constituent				
Intergranular porosity - Replacing Diagenetic Constituent - Pseudomatrix clays undifferentiated				
Intragranular porosity - Replacing grain of Detrital Constituent - Detrital K-feldspar undifferentiated				
Intragranular porosity - Replacing grain of Detrital Constituent - Plutonic rock fragment undifferentiated				

Figura 2. Interface de entrada de constituintes e contagem modal.

Além dessas funções descritas, o sistema disponibiliza um conjunto de interfaces de suporte à descrição que permite acessar tabelas e escalas visuais que auxiliam a visualização de texturas e fábricas de rochas e outros menus de ajuda.

A Figura 2 mostra a interface de entrada de constituintes e contagem modal (contagem de pontos) do sistema PetroGrapher. Esta interface foi desenvolvida para permitir que o usuário selecione, visualize e qualifique um grande conjunto de conceitos do domínio da Retrografia. Os constituintes são representados por conjuntos de constituintes como Sílica ou Feldspato. Cada mineral e seus atributos são disponibilizados na interface.

A atualização das inferências desenvolvidas pelo sistema é realizada através de uma interface privilegiada, acessável somente pelos geólogos especialistas, que permite atualizar a ontologia de domínio, incluindo novos termos da nomenclatura ou novas relações entre evidências e interpretações. O Módulo de Extração de Relações Causais, apresentado na Figura 3 permite definir cada uma das interpretações diagenéticas possíveis no domínio, representado graficamente os relacionamentos entre as feições geológicas da amostra e as interpretações. A interpretação é representada na figura pelo nodo raiz da árvore, ao qual estão associados os nodos que representam agrupamentos de feições identificadas pelo especialista como associadas à interpretação (nível intermediário de nodos). As feições do último nível da árvore da figura são aquelas disponibilizadas pela interface para serem selecionadas pelo usuário. A interface disponibiliza a mesma nomenclatura de conceitos utilizada para a descrição da amostra de rocha.

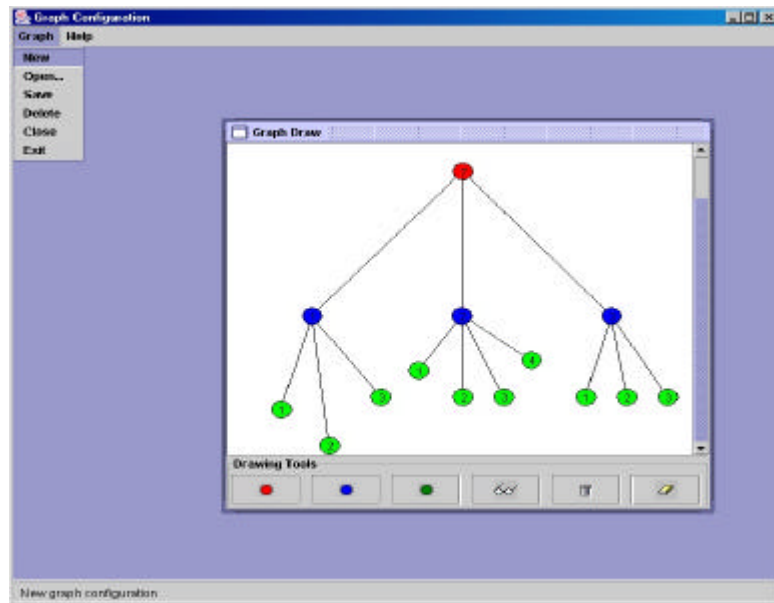


Figura 3. Módulo de extração das relações causais.

A construção de um sistema de conhecimento capaz de tratar o conhecimento especialista exigiu a aplicação de sofisticadas metodologias da engenharia de conhecimento (Schreiber et al., 1999) para a extração da ontologia de domínio a partir de suas fontes. A *ontologia* representa de maneira formal, tratável por computador, o conjunto dos conceitos compartilhados do domínio, ou seja, o vocabulário utilizado pelos petrógrafos para denominação dos objetos, seus significados e relações. Os conceitos e estrutura da ontologia definiram as interfaces e estruturas de dados que dão suporte ao sistema de descrição e interpretação de reservatórios. O desafio deste projeto, porém, foi identificar e nomear o conhecimento tácito e visual aplicado pelo especialista durante o processo de inferência (Abel, 2001) e que dirige esse processo, de modo a adicionar este conhecimento à ontologia do domínio e definir os algoritmos de inferência de permitiram sugerir a interpretação diagenética das amostras descritas com a perícia de um geólogo treinado em avaliação de reservatórios

A arquitetura fortemente acoplada do sistema *PetroGrapher* permite associar a alta expressividade das representações em SBC com a alta capacidade de armazenamento de sistemas de banco de dados, ambas características necessárias para o gerenciamento do conhecimento sobre exploração de petróleo. A aplicação permite muitos usuários, em lugares geograficamente distantes, entrarem no sistema descrições de amostras e executarem métodos que sugerem interpretações diagenéticas sobre essas descrições. A descrição da amostra de rocha é mantida na memória principal até que o usuário peça explicitamente para salvar a informação. Neste caso, o controle do sistema gera os comandos de alteração do banco de dados correspondente para armazenar a informação no banco de dados da aplicação. As descrições são armazenadas de modo seguro e compartilhadas através de um sistema de banco de dados, que permite diferentes tipos de consultas cruzadas e estatísticas sobre os dados de amostras de rocha.

3. Conclusões

O sistema *PetroGrapher* é uma aplicação de bancos de dados inteligentes desenvolvido a partir de três requisitos: (1) fornecer uma ferramenta de apoio a descrição petrográfica que padronize o formato e a nomenclatura utilizada em descrições de arenitos de reservatório, além de disponibilizar em uma plataforma uniforme, de forma ágil e integrada, o conjunto de informações disperso em livros e atlas de consulta; (2) armazenar e gerenciar as informações complexas e heterogêneas geradas pela descrição, permitindo acesso compartilhado por todo o grupo envolvido na pesquisa de um determinado campo ou unidade sedimentar, porém com as devidas garantias de segurança; (3) apoiar o petrógrafo na difícil tarefa de interpretação dos reservatórios descritos, através da classificação composicional (segundo Folk, MacBride e outros autores), subsequente sugestão de interpretação diagenética e de proveniência a partir da identificação de feições diagnósticas entre os aspectos descritos pelo usuário. A arquitetura proposta alcança todos esses objetivos através da integração de interfaces visuais amigáveis, sistemas de conhecimento e de bancos de dados, integrados a dispositivos mecânicos para análise quantitativa.

A tarefa de descrição é facilitada pelo uso de menus flexíveis com parâmetros e nomenclatura normatizados, que são selecionados com uso mouse. Isto reduz radicalmente a tarefa de descrição escrita, e minimiza as chances de descrição incorreta ou incompleta, padronizando o formato e a nomenclatura de descrição, permitindo, portanto, o gerenciamento, recuperação e o processamento estatístico e gráfico de dados petrográficos através de diversos sistemas.

Por outro lado, o conhecimento adquirido do especialista e incorporado ao sistema através de técnicas de inteligência artificial garante interpretações do tipo de proveniência tectônica e dos ambientes diagenéticos envolvidos na gênese e evolução dos arenitos obtidas a partir de descrições completas e avançadas de arenitos reservatórios, que são produzidas convencionalmente apenas por geólogos bem treinados.

O sistema preserva a modularidade e flexibilidade ao permitir ser utilizado localmente em uma estação de trabalho monousuário ou ser compartilhado por diversos usuários, que podem, inclusive acessar bancos de dados remotos. O acesso remoto não compromete o desempenho do sistema, uma vez que, mesmo caracterizando uma arquitetura fortemente acoplada, a interação entre o BD e o sistema simbólico é confinada a alguns momentos particulares da interação não comprometendo o desempenho global do sistema para entrada e consulta. A arquitetura fortemente integrada permite acoplar a alta expressividade das representações em sistemas baseados em conhecimento com a alta capacidade de armazenamento de sistemas de bancos de dados, ambas capacidades necessárias para o gestão do conhecimento altamente especializado aplicado na exploração de petróleo.

4. Referências

- ABEL, M., Estudo da perícia em petrografia sedimentar e sua importância para a engenharia de conhecimento: Tese de Doutorado thesis, UFRGS, Porto Alegre, 239 p, 2001.
- CONWY, P., Petrographic Data Collection Software, Conwy Valley Systems Ltd, 2002.
- DE ROS, L. F., Heterogeneous generation and evolution of diagenetic quartzarenites in the Siluro-Devonian Furnas Formation of the Paraná Basin, Southern Brazil, *Sedimentary Geology*, p. 99-128, 1998.
- DICKINSON, W. R., Interpreting detrital modes of graywacke and arkose.: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 40, p. 695-707, 1970.
- FOLK, R. L., *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, Hemphills, 1974.
- GARCIA, A. C. B., MACIEL, P. M., FERRAZ, I. N., ADDGEO: An intelligent agent to assist geologist finding petroleum in offshore lands: International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE 2000), p. 316-321, 2000.
- MCBRIDE, E. F., A classification of common sandstones: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 33, p. 664-669, 1963.
- NONAKA, I., The dynamic theory of organizational knowledge creation, *Organization Science*, p. 14-37, 1994.
- SCHREIBER, G., AKKERMANS, H., ANJEWIERDEN, A., HOOG, R. D., SHADBOLT, N., VELDE, W. V. D., WIELINGA, B., *Knowledge engineering and management*: Cambridge, The MIT Press, 465 p, 1999.
- SILVA, L. A. L. Aplicando métodos de solução de problemas em tarefas de interpretação de rochas: Dissertação de Mestrado thesis, UFRGS, Porto Alegre, 2001.