

### 3 Revisão bibliográfica

#### 3.1 Sistemas de gestão de transporte

À medida que um sistema logístico de transporte se torna geograficamente mais abrangente e com maior número de participantes em sua cadeia operacional, seu nível de complexidade aumenta e, conseqüentemente, a otimização de sua operação passa a requerer sistemas mais elaborados de suporte à tomada de decisão baseados em tecnologia de informação.

O SGLT adota o princípio de planejamento e gestão colaborativa, apresentado por Pires (2004), que geralmente ocorre quando duas ou mais empresas dividem a responsabilidade de trocar informações acerca do planejamento, gestão, execução e medição de desempenho.

Há uma profusão de trabalhos realizados sobre gestão logística de transportes urbanos, ferroviários, aéreos e rodoviários.

No caso do gasoduto Bolívia-Cuiabá, que deriva do Gasbol (lado boliviano), com diâmetro nominal de 18 polegadas, 640 km de extensão e com capacidade de transporte de gás natural de cerca de 2 MMm<sup>3</sup>/d, Cameron e Sugrañes (2004) apresentam a implantação de um sistema de gestão de integridade (IMP) e um sistema de gestão de registros baseado em risco (RMS) em plataforma de SIG.

Alguns softwares, a exemplo do *pipelinetransporter* da Energy Solutions Inc. (<http://www.energy-solutions.com>), *FlowDesk* da Gregg Engineering (<http://www.greggengineering.com>), incorporam simulação termohidráulica, nominação de gás e regras de corte de capacidade, porém, não incorporam programação linear, simulação Monte Carlo de falhas, avaliação econômica em ambiente de risco, e estão desenvolvidos para uma realidade do mercado americano. No caso do *gMotion* da *Openlink* (<http://www.olf.com/energy/solutions/stp-gMotion.aspx>) as atividades ligadas à nominação e comercialização, envolvendo atacadistas, E&P (produtores de gás),

Processadores de Gás, Distribuidores, Comercializadores e Instituições Financeiras, são sistematizadas.

Um ponto comum é que tais iniciativas são fortemente baseadas em tecnologia de informação face sua alta complexidade.

No caso específico do SGLT a pesquisa bibliográfica não encontrou nenhum caso similar com foco na gestão do negócio envolvendo diferentes agentes como Carregador, Produtor, Transportador e Distribuidor sob uma abordagem de otimização de comercialização do gás e de mitigação dos efeitos negativos decorrentes de restrições operacionais e/ou restrições de oferta/demanda de gás natural.

### **3.2 Simulação**

Segundo Evans e Olson (1998), simulação é o processo de construção de um modelo matemático ou lógico de um sistema ou de um problema de decisão, e experimentando o modelo para obter uma percepção do comportamento do sistema ou suporte na solução de um problema de decisão. Dois elementos chaves desta definição são modelo e experimento. Destacam que a principal vantagem da simulação recai em sua habilidade de modelar quaisquer premissas apropriadas sobre o problema ou sistema, tornando-a a mais flexível ferramenta de *management science* (Ciência da Gestão) disponível. A simulação é particularmente útil quando os problemas exibem incertezas significativas, que geralmente são muito difíceis de resolver analiticamente.

A técnica de modelagem que está sendo crescentemente empregada para resolver problemas complexos e dinâmicos, geralmente de natureza aleatória, denomina-se "simulação de eventos discretos", através de computadores digitais (Portugal, 2005 apud Young, 1984). E isso vem ocorrendo, nas mais variadas áreas de conhecimento, devido não só ao já citado incremento na dificuldade de equacionamento dos problemas, mas pela maior disponibilidade de recursos computacionais (Portugal, 2005 apud Saliby, 1989). Ela se desenvolveu a partir de uma tecnologia relativamente obscura, usada somente por poucos especialistas, para se tornar uma ferramenta amplamente utilizada pelos tomadores de decisão nos diversos níveis empresariais (Portugal, 2005 apud Harrel et al., 2000).

Toda simulação requer a construção de um modelo com o qual serão feitos os experimentos. O modelo é composto por um conjunto de relações lógico-matemáticas, descritas geralmente por um programa de computador, e pode ser definido como uma abstração de um sistema real que será utilizado com o objetivo de previsão ou controle. A proposta de um modelo de simulação é capacitar o analista a determinar como uma ou mais mudanças em componentes do sistema modelado podem afetar outros aspectos ou o sistema como um todo. Para ser útil, o modelo deve necessariamente englobar elementos de dois atributos conflitantes: realismo e simplicidade. Por um lado, o modelo deve ter uma razoável aproximação com a realidade e incorporar os aspectos mais importantes desse sistema. Por outro lado, o modelo não deve ser tão complexo, de tal maneira que seja impossível entendê-lo e manipulá-lo (Portugal, 2005 apud Ferreira, 1998; Poyares, 2000).

### **3.2.1 Simulação Monte Carlo**

A tecnologia de avaliação de projetos e processos com variáveis com comportamento voláteis segundo curvas de distribuição estatísticas passou a ser utilizada mais extensivamente nas últimas décadas. Sua origem remonta ao desenvolvimento do projeto Manhattan que desenvolveu a bomba atômica. O crédito para a invenção do método de Monte Carlo cabe a Stanislaw Ulam, um matemático polonês, que trabalhou com John Von Neumann no Projeto Manhattan dos Estados Unidos, na década de 40. Trabalhando com John Von Neumann e Nicholas Metropolis, ele desenvolveu algoritmos para implementação em computador e também maneiras de transformar problemas não-randômicos em formas randômicas que poderiam facilitar soluções através de amostragem estatística. Foi Metropolis que codinomeou o método de Monte Carlo como referência aos cassinos da capital do Principado de Mônaco. O primeiro trabalho publicado do método Monte Carlo foi em 1949. O método utiliza amostragem estatística para aproximar soluções para problemas quantitativos. Disponível em: <[http://www.riskglossary.com/link/monte\\_carlo\\_method.htm](http://www.riskglossary.com/link/monte_carlo_method.htm)>. Acesso em: 7 ago. 2007.

Segundo Evans e Olson (1998), simulação Monte Carlo é, basicamente, um experimento amostral cuja finalidade é estimar a distribuição de uma variável de resultado que depende de diversas variáveis de entrada com suas respectivas curvas de distribuição probabilísticas. A simulação Monte Carlo é freqüentemente utilizada para avaliar o impacto esperado devido às mudanças estratégicas e do risco envolvidos na tomada de decisão. O risco é normalmente definido como a probabilidade de ocorrência de um resultado indesejado.

### 3.2.2 Simulação termohidráulica

A simulação termohidráulica de uma malha de gasodutos de transporte de gás requer um modelo que caracterize os gasodutos, equipamentos e acessórios que tenham influência no escoamento de gás, bem como equações e condições de recebimento, entrega e de operação do sistema. É necessário um software especializado em escoamento termohidráulico em regime permanente (estático) e transiente (dinâmico, função do tempo) com capacidade de simular tal operação.

A tecnologia de simulação de escoamento termo hidráulico de gás natural em gasodutos teve um desenvolvimento acentuado nas últimas décadas.

Segundo Bachman e Goodreau (2006), antes da década de 60, a maioria das simulações de dutos eram feitas via cálculos manuais utilizando-se de correlações empíricas tais como Panhandle A e B e Weymouth. Na década de 60 iniciou-se a utilização de computadores e programas foram desenvolvidos para rodar simulações de dutos. Devido a restrições de hardware os programas eram muito simples e limitados quanto ao tamanho do modelo que podiam rodar (cerca de 100 equipamentos). Durante a década de 70 os computadores tornaram-se disponíveis e mais confiáveis, rápidos e iterativos e empresas de *timeshare* tornaram-se disponíveis. Os programas foram aprimorados para rodar modelos maiores e mais complexos. Durante a década de 80 novos modelos de computadores foram disponibilizados: Computadores pessoais, minicomputadores, estações de trabalho (*Workstations*) e supercomputadores. Memória e espaço em disco maiores tornaram possível rodar modelos maiores. Os computadores tornaram-se de baixo custo e empresas passaram a comprá-los juntamente com os programas. Sistemas de informação geográfica – GIS tornaram-se disponíveis e auxiliaram na

modelagem dos dutos. Na década de 90 os computadores pessoais tornaram-se mais potentes que os anteriores *mainframes* usados previamente. A modelagem dos dutos já podia considerar virtualmente todos os componentes da malha de dutos.

Essa tecnologia permite simular o comportamento da malha de gasodutos em regime permanente e transiente e, segundo Santos (1997) é de fundamental importância para o desenvolvimento de projetos de gasodutos. Sem a utilização da simulação transiente na fase de projeto de um gasoduto o empreendedor se expõe ao risco de superdimensionar o sistema podendo afetar sua viabilização, ou mesmo subdimensionar o sistema de transporte e conseqüentemente se expor a investimentos incrementais, não previstos no projeto original, para solucionar problemas devido à falta de capacidade de transporte para atender condições de perfis de demanda de gás do mercado consumidor. No caso do subdimensionamento, destruiria valor, com reflexo direto na redução da taxa de retorno do empreendimento.

### **3.3 Confiabilidade do sistema de transporte**

Conforme Mohitpour et al. (2005) a confiabilidade pode ser definida como a medida de certeza de um dado sistema atender seu propósito ou função desejada ao longo de um período designado. Na indústria de transporte por dutos, o estabelecimento da confiabilidade provê um nível de confiança (em termos percentuais) do duto para transportar o fluido determinado ao longo de um período designado de tempo, de uma fonte de suprimento até o mercado consumidor. Às vezes é também definida como uma medida de atendimento a parâmetros técnicos e econômicos determinados. Estando diretamente relacionado com a definição do nível de risco que o Transportador estaria disposto a assumir segundo seu perfil de risco, se avesso, indiferente ou propenso ao risco.

A avaliação da confiabilidade de um sistema, ou mais apropriadamente, a definição do nível de redundância a ser adotado, deve ser considerada dentro de uma análise técnica e econômica de modo a não impactar negativamente na viabilidade do projeto.

No caso da avaliação da disponibilidade de estações de compressão foi adotado o valor sugerido pelo North American Electric Reliability Council –

NERC; já para os pontos de entrega de gás e válvulas de bloqueio do gasoduto foi utilizada a análise de árvore de falhas e seus resultados foram utilizados na simulação Monte Carlo.

Segundo Lambert (2004) a análise de árvore de falha (*Fault tree analysis - FTA*) desenvolveu-se na indústria aeroespacial nos anos 60. A árvore de falha é um modelo lógico dedutivo que é gerado tendo em mente um evento principal superior. Responde a questão ‘como pode o evento ocorrer?’. É utilizada na avaliação de risco, confiabilidade e segurança. É atualmente utilizada em muitas indústrias como a nuclear, processamento químico e automotiva. É apropriada para avaliar modos de falha em sistemas e determinar a importância desses modos de falhas de várias perspectivas tais como custo, confiabilidade e segurança.

Schuyler (2004) define árvore de falha como ‘uma árvore de diagrama mostrando que eventos podem ser desencadeados de um dado componente ou subsistema’.

### **3.4 Sistema de informação geográfico - SIG**

Dentre as diferentes tecnologias de SIG disponíveis no mercado podemos destacar o Autodesk MapGuide, MapInfo da Mapping Analytics, Smallworld da General Electric, Modular GIS Environment (MGE + MicroStation) da Intergraph e ArcGis da ESRI.

Foi adotado, para o desenvolvimento deste trabalho, o ArcGIS da ESRI (<http://www.esri.com>), líder mundial dessa tecnologia. A tecnologia de SIG, baseada em banco de dados georeferenciado, é utilizada pelas maiores empresas na área de petróleo, gás e energia. Santos et al. (2003) destacam os seguintes pontos que justificam a implantação de um SIG como ferramenta de apoio a projetos de gasodutos:

- Necessidade de otimizar as atividades de novos projetos de expansão da malha de gasodutos em operação;
- Necessidade de administrar informações de instalações de transporte por gasodutos distribuídas geograficamente no território brasileiro com cerca de 8.000 Km de gasodutos;

- Atender aos requisitos de integridade, confiabilidade e segurança das informações existentes;
- Necessidades de análises espaciais e localização dos ativos patrimoniais da empresa.

Já em outros trabalhos, Santos e Cabral (2004, 2006) destacam o que se deve considerar para uma implantação segura de um sistema de informação geográfico, que envolve:

- Diagnosticar a situação corrente dos dados
- Mapear fluxo de dados relacionados aos projetos
- Padronizar dos dados de entrada e saída
- Gerenciar e publicar informações
- Conceber uma arquitetura confiável para o sistema
- Garantir escalabilidade do sistema adotado (uso local para uso corporativo)
- Adotar soluções customizáveis.

### **3.5 Modelo de dados**

Um sistema de informação, segundo Halpin (2001) é focado na modelagem da informação e num sistema relacional de base de dados. Adicionalmente, Halpin et al. (2003) destaca que a modelagem de uma base de dados transforma as estruturas de informação do domínio de uma aplicação em estruturas de dados dentro de uma base de dados física. O processo de modelagem é normalmente dividido em fases distintas, compreendendo os modelos conceitual, lógico e físico, como representado na figura 6.

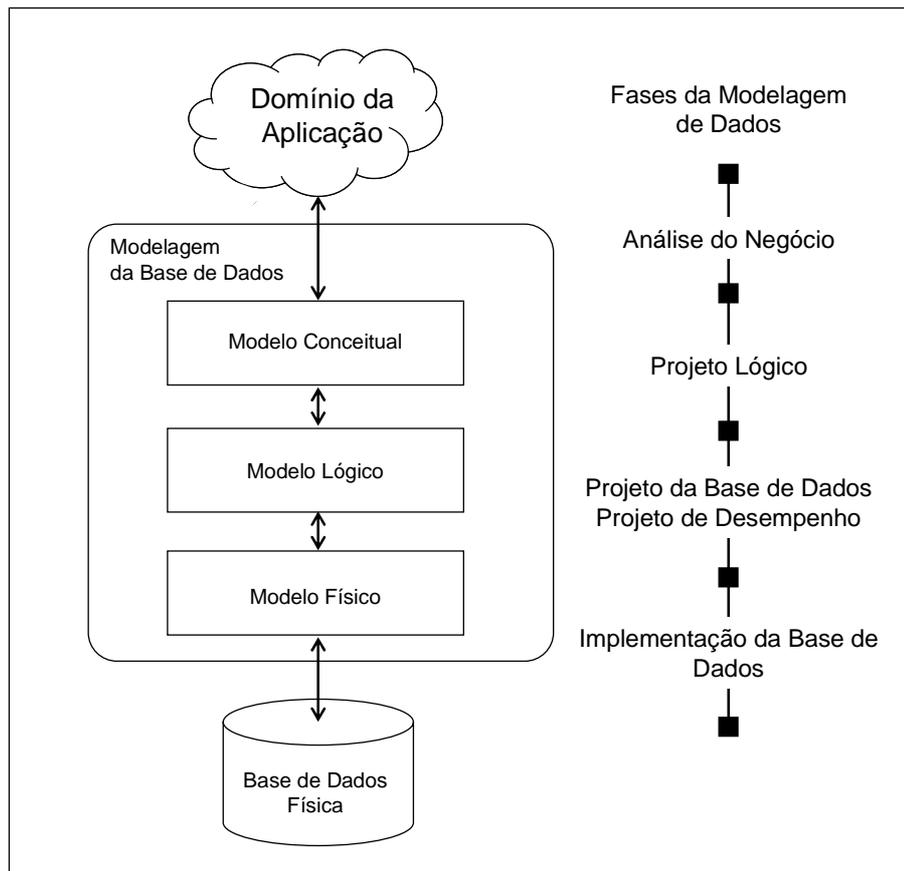


Figura 6 - Processo de Modelagem da Base de Dados

O modelo conceitual é concebido tendo como base a análise do negócio e o domínio da aplicação. Utiliza termos e linguagem facilmente entendidos por profissionais não familiarizados com modelagem de base de dados;

O modelo lógico é um modelo de dados normalizado que representa de modo preciso, o modelo conceitual com tabelas e colunas identificadas de forma única. É obtido tendo como insumo o modelo conceitual;

O modelo físico é concebido tendo como insumo o modelo lógico e é projetado para um sistema de gestão de base de dados relacionais (RDBMS), a exemplo do Microsoft SQL ou IBM DB2.

A preocupação fundamental na adoção desta arquitetura de informação para o SGLT, conforme figura 4, está relacionada com:

- confiabilidade, integridade e segurança de informação;
- modelagem de todas as facilidades da infra-estrutura de gasodutos;
- integração com o SIG.

### 3.5.1 ORM

A modelagem ORM (Object-Role Modeling), defendida por Halpin (2001) e Halpin et al. (2003) e incorporada no *Microsoft Visio*, apresenta a vantagem de permitir a elaboração de modelagem conceitual, sua automática conversão para o modelo lógico e desse para o modelo físico. Utilizou-se o *Microsoft Visio 2003 for Enterprise Architect 2005* como ferramenta CASE (*Computer-Aided Software Engineering*) para a elaboração do modelo conceitual e, conseqüentemente sua conversão para o modelo lógico e desse foi feita a exportação para o modelo físico. Foi adotado o Microsoft Access (.mdb) como modelo físico.

### 3.5.2 APDM

O APDM, modelo de dados relacional georeferenciado de propriedade intelectual da Environmental System Research Institute – ESRI (<http://www.esri.com>). Incorpora em seu projeto a modelagem da atividade de transporte e distribuição de petróleo, derivados de petróleo, líquidos em geral e gás natural. Esse modelo é mantido por um Comitê de Gestão constituído pela ESRI, BP, GE, El Paso, Columbia Gás Transmission, Great Lake Gas Transmission Company, Colonial Pipeline Company, Panhandle Energy, Advantica, Questar, Eagle Information Mapping, Photo Science Geospatial Solutions. O modelo APDM é disponibilizado gratuitamente no site <http://www.apdm.net>. Santos e Cabral (2005) destacam a utilização desse modelo de dados, através da aplicação *Scenario Builder*. Tal aplicação é utilizada como ferramenta de gestão e planejamento de gasodutos.

## 3.6 Programação linear

Segundo Ragsdale (2006) decidir como melhor usar recursos limitados de um indivíduo ou de um negócio é um problema universal. No atual ambiente competitivo de negócio é de importância crescente se certificar de que os recursos limitados da companhia sejam usados da maneira mais eficiente possível.

A programação linear atende essa demanda básica por otimização, requerendo que se equacione o problema em análise e se incorpore todas as restrições relevantes e aplicáveis ao caso. O conjunto de equações lineares que passam a representar a função objetivo e as restrições de capacidade (decorrentes de contingências operacionais ou restrições de oferta ou demanda) pode ser resolvido pelo algoritmo simplex de solução de equações lineares ou mesmo utilizando-se o Solver do Microsoft Excel, dependendo da complexidade do modelo.

Segundo Goldbarg e Luna (2005) o algoritmo simplex descreve uma seqüência de passos para a solução de sistemas de equações lineares sujeitos a uma função objetivo. Basicamente, se dispõe sobre três situações: (i) inversão da matriz básica  $m \times m$  deduzida a partir de A, uma matriz de restrições  $m \times n$ ; (ii) as condições de troca de variáveis dentro da matriz básica, para que exista garantia de melhoria da solução ao longo do desenvolvimento dos passos do algoritmo; e (iii) regras de parada do algoritmo e a interpretação dessa situação final. Esse método foi criado pelo matemático americano George Dantzig em 1947 e é uma técnica popular para solução numérica de problema de programação linear ([http://en.wikipedia.org/wiki/Simplex\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Simplex_algorithm)). Acesso em: 7 de ago. 2007.

### 3.7 Avaliação econômica

Segundo Santos (2003), a avaliação de projetos para tomada de decisão tem sido objeto de muita atenção no meio acadêmico e empresarial. A utilização do método do fluxo de caixa descontado - FCD e a adoção do valor presente líquido - VPL associado à taxa interna de retorno - TIR esperada para o projeto para tomada de decisão de investimento e comparação entre diferentes projetos, tem sido defendida e recomendada por muitos autores como Ross et al. (2002) e Copeland (2000). Sua utilização tem sido disseminada no meio empresarial e tem contado com cada vez mais adeptos e defensores. Mas a utilização isolada do método do FCD, mesmo quando associada a estudos de sensibilidade (*what if scenarios*), não é suficiente para uma tomada de decisão eficaz, pois não constitui uma análise quantitativa de risco e atribui um mesmo peso probabilístico para todos os cenários incluindo aqueles em que todas as variáveis estão com seus valores máximos ou mínimos (VOSE, 1996).

Segundo Hertz (1984), um projeto está sujeito a incertezas relacionadas ao comportamento volátil (variabilidade decorrente de condições de mercado, recursos humanos, prazos de execução de obras, etc.) de diversos de seus componentes que podem apresentar elevado grau de incerteza. Tais incertezas incluem custos de materiais e serviços, prazos de execução, obtenção de licenças ambientais e inúmeros outros fatores cuja ocorrência probabilística e correlações entre as incertezas devem ser consideradas se houvermos de identificar com clareza os riscos associados ao projeto para, então, eliminá-los ou mitigá-los apropriadamente. Incertezas combinadas podem multiplicar-se, gerando uma incerteza total de proporções críticas, alerta Hertz (1984).

Com a disponibilidade crescente de computadores mais rápidos e potentes, e um melhor entendimento da modelagem quantitativa decorrente da utilização extensiva de planilhas de cálculo, a simulação tornou-se uma abordagem muito popular nos anos recentes entre gerentes ativos nessa área análise de problemas de negócios, segundo Evans e Olson (1998).

Essa capacidade de processamento cada vez maior dos computadores permitiu o desenvolvimento e a utilização de *softwares* de simulação de risco que têm sido utilizados cada vez mais na análise de risco de projetos por grandes empresas em todo o mundo. A simulação Monte Carlo tem sido usada para a avaliação probabilística de riscos em projetos que utilizam o método do FCD. Dessa forma o empreendedor pode mensurar o risco de seu projeto e identificar ações para mitigá-los ou mesmo definir taxas de desconto que absorvam o risco identificado de modo a diminuir ou até eliminar sua exposição ao risco.

Conseqüentemente, se as incertezas não forem adequadamente tratadas na avaliação de um projeto, podem gerar resultados futuros adversos, podendo não somente apresentar VPL negativo como também ser um completo desastre econômico com reflexos adversos dentro de uma corporação e ainda comprometer a imagem da companhia diante de seus acionistas e da sociedade.