

PS-958

## **FAULT ANALYSIS INTELLIGENCE: RESOURCE TO SUPPORT THE KNOWLEDGE MANAGEMENT IN HIGH RELIABILITY ENGINEERING AREAS**

Adilson de Oliveira (Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais) - [adoliveira@usp.br](mailto:adoliveira@usp.br)  
Jorge Rady Almeida Jr. (Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais) - [jorge.almeida@poli.usp.br](mailto:jorge.almeida@poli.usp.br)

The objective of this paper is to present the Fault Analysis Intelligence (FAI) model as a specific computational resource to analyze large amounts of data and to support the knowledge management in high reliability engineering areas. The idealization of this model began in 2007 in a metrorailway company of São Paulo State, in which was observed a trend of development of business intelligence (BI) systems to support decisions in the administrative areas. On the other hand, the engineering areas, in spite of its volume, criticality and maturity in the rendering of services related to the security and reliability of the transport system, did not make use of a dedicated computational environment to collect data related to the occurrences of faults registered in the operational systems or to transform these data into information in order to collaborate with the project teams on the construction of the knowledge.

Keywords: fault analysis intelligence; knowledge management; business intelligence; engineering area

## **FAULT ANALYSIS INTELLIGENCE: RECURSO DE APOIO À GESTÃO DO CONHECIMENTO EM ÁREAS DE ENGENHARIA**

O objetivo deste artigo é apresentar o modelo Fault Analysis Intelligence (FAI) como um recurso computacional específico para analisar grandes volumes de dados e apoiar a gestão do conhecimento em áreas de engenharia de alta confiabilidade. A idealização deste modelo teve início em 2007 em uma empresa de transporte metroferroviário do Estado de São Paulo, na qual foi observada uma tendência de desenvolvimento de sistemas de business intelligence (BI) para apoiar decisões estratégicas nas áreas administrativas. Por outro lado, as áreas de engenharia, apesar de seu volume, da criticidade e da maturidade na prestação de serviços relacionados com a segurança e confiabilidade do sistema de transporte, não utilizavam um ambiente computacional dedicado para a coleta de dados sobre as ocorrências de falhas registradas nos sistemas operacionais nem para a transformação dos dados em informação a fim de auxiliar a construção do conhecimento das equipes de projeto.

Palavras-chave: fault analysis intelligence; business intelligence; gestão do conhecimento; áreas de engenharia

## 1 Introdução

A falha, ou *fault*, segundo Leveson (1995), está associada à perda da capacidade de funcionamento de um determinado sistema ou componente, podendo se desdobrar em defeitos perceptíveis no ambiente. Segundo Weber (2005), enquanto as falhas são toleradas, defeitos não são admitidos. Para Avizienis (2004), as falhas ocorrem principalmente por erros humanos, sobretudo na fase de especificação do sistema.

Weber (2006) afirma ainda que as falhas são inevitáveis e perceptíveis apenas na manifestação do defeito. Desse modo, uma análise minuciosa das falhas manifestadas torna-se imprescindível para o desenvolvimento de sistemas tolerantes a elas.

Este artigo apresentará os primeiros ensaios do modelo analítico denominado *Fault Analysis Intelligence* (FAI), o que em português significa Inteligência na Análise de Falhas. O modelo é desenvolvido com recursos computacionais, tendo como base os métodos aplicados em sistemas de *business intelligence* (BI), proposto por de Inmon et al. (1997) e Kimball et al. (1998), e fundamenta-se nos princípios da gestão do conhecimento explícito introduzidos em Nonaka e Takeuchi (1997).

Para Watson e Wixom (2007), o termo *business intelligence* faz alusão a uma prática inteligente de trabalho consolidada no universo dos negócios. Já no modelo FAI, a inteligência participa de forma intrínseca do ciclo de vida dos processos de análise de falhas.

Inteligência é a capacidade de apreender e organizar os dados de uma situação, em circunstâncias para as quais de nada servem o instinto, aprendizagem e o hábito; capacidade de resolver problemas e empenhar-se em processos de pensamento abstrato (HOUAISS, 2007).

Sem exprimir aqui qualquer juízo de valor ou questionar a qualidade dos serviços prestados pelas áreas de engenharia da empresa objeto do estudo, observamos a inexistência de recursos computacionais dinâmicos para apoiar as equipes técnicas nos processos de coleta, armazenamento, recuperação e análise das falhas registradas nos sistemas operacionais.

O subsídio às análises técnicas em termos de informação para as áreas de engenharia era proveniente de processos não estruturados e dependentes de profissionais de computação. Por outro lado, identificamos um crescimento acentuado de soluções de

*business intelligence* (BI) para apoiar decisões nas áreas de recursos humanos, serviços de infra-estrutura, gestão de contratos, gestão financeira, gestão de compras, entre outras.

Com a disponibilidade dos recursos tecnológicos empregados nos sistemas de BI das áreas administrativas, em maio de 2007, foi desenvolvido um protótipo do modelo FAI, o qual foi disponibilizado para testes com equipes de projeto. Os resultados obtidos, ainda que parciais, serão apresentados neste artigo.

Na seção 2, apresentamos um breve referencial teórico sobre a gestão do conhecimento e *business intelligence*. Na seção 3, apresentamos a metodologia da pesquisa, e apresentamos um protótipo do modelo FAI seguido pelas etapas que orientaram o seu desenvolvimento. Na seção 4, apresentamos os primeiros resultados observados com o uso das tecnologias aplicadas na transformação de dados em informação. Na seção 5, apresentamos as considerações finais e propostas futuras.

## **2 Referencial Teórico**

Como referencial teórico, partimos da revisão da literatura sobre gestão do conhecimento e *business intelligence*, por entendermos que são conceitos correlacionados.

### **2.1 Gestão do conhecimento**

O principal objetivo de revisar conceitos da gestão do conhecimento neste artigo é legitimar a proposta de ser o modelo FAI um recurso provedor de informações e conhecimento explícito proposto por Nonaka e Takeuchi (1997).

Conforme Nonaka e Takeuchi (1997) há dois tipos de conhecimento: o tácito, referente à experiência, ao poder de inovação e à habilidade dos empregados de uma companhia para realizar as tarefas do dia-a-dia, e o explícito, ligado aos procedimentos, aos bancos de dados, às patentes e aos relacionamentos com os clientes. Segundo Silva (2004, p.146), os recursos de tecnologia da informação (TI) podem aperfeiçoar ainda mais a socialização, externalização, combinação e internalização do modelo SECI de Nonaka e Takeuchi.

Para Dalkir (2005, p.7), a principal diferença entre a gestão da informação e a gestão do conhecimento está na habilidade do ser humano em transformar informação ou conhecimento explícito em conhecimento tácito. Murray (2006) defende a importância dos sistemas de informação para uma organização no processo de transformação de conhecimento tácito dos empregados em conhecimento explícito.

A distinção entre conhecimento e informação está associada à intencionalidade. O conhecimento como a informação consiste em declarações verdadeiras, mas o conhecimento pode ser considerado informação com um propósito ou uma utilidade. Segundo Choo (2003), as três dimensões psíquicas do ser humano que devem permear os processos nas organizações são o conhecimento, as emoções e as sensações.

Sveiby (1999) interpreta a gestão do conhecimento de duas formas. A primeira forma trata conhecimento como objetos que podem ser identificados e tratados por meio de sistemas de informação. A segunda vertente identifica gestão do conhecimento com gestão de pessoas, sendo o conhecimento entendido como processo que leva ao aprendizado organizacional e à criação de competências.

Para Alvesson e Kärreman (2001), a idéia de gestão do conhecimento está difundida na peculiaridade do entendimento da natureza do conhecimento. Sob essa perspectiva, o conhecimento é algo natural e deve ser interpretado como um fenômeno natural que está relacionado com os processos de negócios, envolvendo assim muito mais do que tecnologia.

Segundo Hung e Chou (2005, p.4), a gestão do conhecimento é consequência dos processos de criação, armazenamento, compartilhamento e aplicação do conhecimento. Para Grant (1996), o conhecimento é o recurso mais valioso e difícil de imitar, sendo imprescindível para as organizações alcançarem vantagens competitivas. Hung e Chou (2005) apresentam ainda um modelo de maturidade para promover a gestão do conhecimento nas organizações.

Conforme Ou e Peng (2006), o advento da economia do conhecimento fez do conhecimento o recurso mais importante das empresas no século XXI, e recursos de *business intelligence* podem contribuir para a captura, o refinamento, a disseminação e a criação do conhecimento nas organizações. Para Bals, et al. (2007) é fundamental desenvolver sistemas para apoiar a gestão do conhecimento. Segundo Earl (2001), a gestão do conhecimento é essencial para as empresas competirem no mercado.

## **2.2 Business intelligence**

Segundo Inmon et al. (1997), o conceito de *business intelligence* (BI) era utilizado desde a época dos povos antigos que utilizavam os princípios desse conceito cruzando informações da natureza para melhoria da vida de suas comunidades.

Um dos primeiros registros no mundo contemporâneo de *business intelligence* (BI), ou seja, inteligência nos negócios como sistema de informação foi feito por Luhn (1958). Ele descreve BI como um meio de as empresas trabalharem com a informação para se conhecerem melhor. Para Power (2005), o termo *business intelligence* foi introduzido em 1989 por Howard Dresner, analista do Gartner Group que descreveu BI como um conjunto de conceitos e metodologias que apóia a tomada de decisão nos negócios. Power (2005) afirma ainda que a prática de BI depende do emprego de tecnologias adequadas.

Para Matheus e Parreiras (2004, p.3-7), a expressão inteligência empresarial não é a simples tradução de *business intelligence* para o português, são disciplinas complementares sendo a primeira contextualizada numa perspectiva humana e organizacional e a segunda numa perspectiva tecnológica.

Segundo Drucker (1993), BI é um processo analítico que transforma informações desagregadas em conhecimento estratégico relevante para a organização. Para Choo (2003), a inteligência empresarial é a consequência da criação do significado, construção do conhecimento e tomada de decisão. Tanto Drucker (1993) como Choo (2003) não aludem o BI como um sistema de informação.

De forma mais ampla, Barbieri (2003, p.34) ressalta que *business intelligence* pode ser entendido como a utilização de variadas fontes de informação para se definir estratégias de competitividade nos negócios da empresa. Para Chung et al. (2003), as ferramentas de BI ajudam as organizações a conhecerem melhor os ambientes internos e externos por meio da aquisição, coleção, análise, interpretação e exploração da informação. Fortulan e Filho (2005) defendem a aplicação do BI no “chão-de-fábrica”. Turban et al. (2007) classificam esta como uma ferramenta gerencial de apoio à decisão.

Para Tafner e Bernhardt (2007), recursos de *business intelligence* não apenas fornecem dados, podendo transformá-los em simples informações, como é capaz de convertê-los em conhecimento nas organizações, contribuindo assim para a inteligência nos negócios. Segundo Souza (2003), as empresas estão aplicando as técnicas de BI para auxiliar os executivos nos processos de tomada de decisão, que para Simon (1959) são mais complexos quando se tratam de decisões não programadas.

Lawton (2006) observa que as soluções de BI estão cada vez mais disseminadas nas empresas, fazendo com que diversas áreas transformem seus dados em informação e esta, por sua vez, seja convertida em conhecimento. Para Tafner e Bernhardt (2007 apud Oliveira, 2002), *business intelligence* é um meio estruturado de traduzir dados em

conhecimento. Liebowitz (2006) defende o termo estratégia inteligente como resultado da aplicação de *business intelligence*, inteligência competitiva e gestão do conhecimento. Porter (1985) defende que a estratégia é essencial para os negócios.

### 2.2.1 Data warehouse

Segundo Inmon et al. (1997), um *data warehouse* (DW), ou seja, depósito de dados, é um recurso da tecnologia da informação aplicada nos sistemas de BI, sendo o DW uma área física criada em um gerenciador de banco de dados, configurado para armazenar uma coleção de dados orientados por assuntos, integrados, variáveis com o tempo, não voláteis e prontos para auxiliar o processo de tomada de decisão.

Por outro lado, os bancos de dados transacionais (ou operacionais) armazenam as informações das transações diárias da empresa e são utilizados por todos os funcionários para registrar e executar operações predefinidas. Assim sendo, seus dados podem sofrer constantes mudanças. Para Nguyen et al. (2005), é possível implantar um *data warehouse* que interaja em tempo real com os sistemas transacionais.

### 2.2.2 Data warehousing

Segundo Kimball e Ross (2002), *data warehousing* é um conjunto de processos pelo qual as organizações transformam seus dados computadorizados em informações para apoiar o processo decisório.

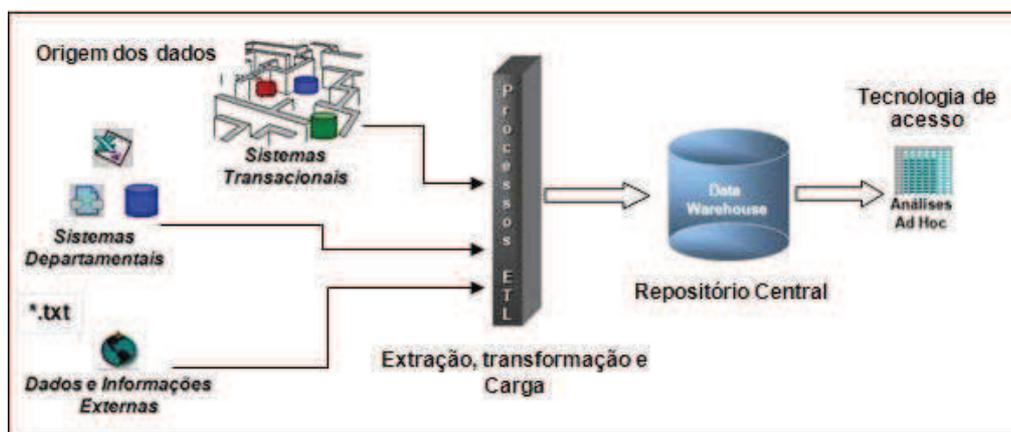
Aplicações que fazem uso desses processos são cada vez mais comuns nas organizações em razão da disponibilidade de um alto poder de processamento computacional, do barateamento dos dispositivos de armazenamento e da crescente competição mercadológica, fatores que levam à necessidade de informações especializadas e tempestivamente disponíveis para facilitar uma rápida tomada de decisão.

Para Kimball et al. (1998), o *data warehousing* é o BI na perspectiva da tecnologia da informação, escorando-se nos seguintes parâmetros:

1. **Integração** - Dados provenientes de diversas fontes de dados são tratados e integrados.
2. **Histórico** - Todos os dados históricos são armazenados no *data warehouse* (depósito de dados), possibilitando o tratamento de extensas séries históricas.
3. **Acesso** - O próprio usuário especifica e executa suas consultas, sem ter necessidade de solicitar o desenvolvimento de programas.

4. **Granularidade** - Capacidade de tratar consultas que endereçam centenas de milhares de registros e possibilidade de detalhamento sucessivo no decorrer de uma consulta, podendo chegar à granularidade mais refinada que se desejar.
5. **Evolução constante** - A área de informática apóia os usuários no acesso aos dados disponíveis em um *data warehousing*, melhorando o desempenho das consultas mais freqüentes e colecionando as novas necessidades de informação.

A *Figura 1* apresenta a arquitetura clássica de um ambiente de *data warehousing*.



*Figura 1* – Arquitetura clássica de um *data warehousing*

A *Figura 1* exemplifica a proposta de *data warehousing* de Kimball et al. (1998), na qual encontram-se as fontes de dados operacionais, a ferramenta de ETL (*extract, transform and load*) que são utilizadas para transferir os dados para um *data warehouse* a partir das bases de dados existentes, o *data warehouse* e as tecnologias de acesso classificadas como ferramentas online analytical process (OLAP), ou seja, processamento analítico dinâmico, que para Kimball et al. (1998) são recursos de consultas e apresentação dos dados textuais e numéricos em um DW.

### 2.2.3 Modelagem multidimensional

Segundo Kimball et al. (1998), a modelagem multidimensional é o nome de uma técnica de projeto lógico freqüentemente usado para construir um *data warehouse*. O principal objetivo dessa técnica é apresentar o dado em uma arquitetura padrão e intuitiva que permita acessos de alto desempenho. Cada eixo no espaço multidimensional corresponde a um campo ou a uma coluna de uma tabela relacional e cada ponto, a um valor correspondente à interseção desses campos ou dessas colunas.

Para Kimball (1997, apud Pereira, 2000, p16), o modelo multidimensional pode representar quase todos os tipos de dados de negócio. No modelo em questão, as células do cubo contêm os valores medidos e os lados do cubo definem as dimensões dos dados.

A modelagem dos dados para o *data warehouse* pode seguir dois tipos clássicos de estruturas ou esquemas: o *starschema* (esquema estrela - *Figura 2(a)*) e o *snowflake schema* (esquema floco de neve - *Figura 2(b)*).

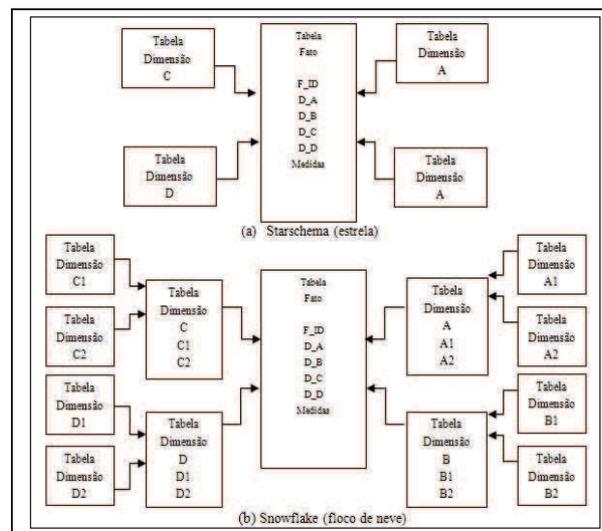


Figura 2 – Modelagem multidimensional

Segundo Gray e Watson (1998), conforme mostra a *Figura 2*, a tabela fato armazena instâncias da realidade, referenciadas como “fato”, sobre as quais tipicamente são realizadas operações matemáticas e estatísticas. Ela representa as medidas do negócio, que podem ser mensuradas de forma quantitativa. Já a tabela dimensão, segundo Kimball et al. (1998), caracteriza-se por armazenar as descrições textuais e discretas de determinada parte do negócio, cujo conjunto de atributos permite diferenciar as dimensões de análise para as variáveis.

### 3 Metodologia da Pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi adotado o método de estudo de caso, descritivo, que segundo Yin (2005), é utilizado para descrever uma intenção e o contexto na vida real em que o fato ocorre. A literatura revisada na seção anterior serviu de base para orientar o desenvolvimento do protótipo do Modelo FAI. O método e as tecnologias utilizadas serão apresentados nas próximas subseções.

### 3.1 Modelo FAI

O modelo FAI foi idealizado seguindo os princípios de *business intelligence* e da gestão do conhecimento na perspectiva do conhecimento explícito conforme referenciado na introdução deste artigo. Sua arquitetura física foi baseada no modelo de *data warehouse* de Inmon (2005). O protótipo apresentado a seguir estabelece uma visão holística dos fatores relevantes para o desenvolvimento concreto do modelo FAI, conforme representação simbólica na *Figura 3*.

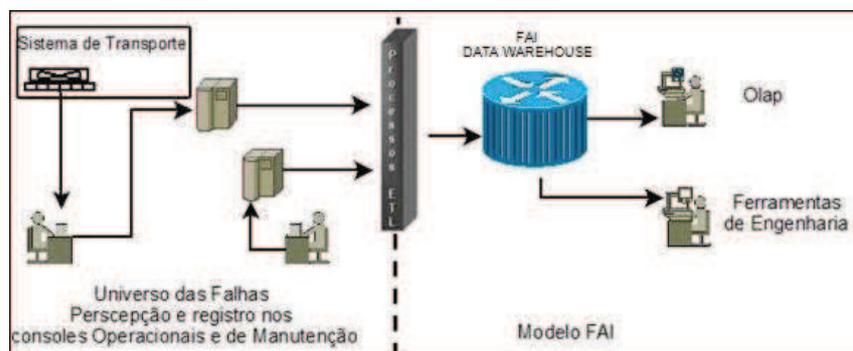


Figura 3 – Modelo *fault analysis intelligence* - FAI

O modelo FAI ilustrado na *Figura 3* traz uma representação simplificada do universo das falhas registradas nos sistemas da empresa, a ferramenta de extração transformação e carga dos dados ETL (*Extract Transform and Load*), o repositório FAI *data warehouse* e a tecnologia de acesso OLAP (*Online Analytical Processing*) e as ferramentas de engenharia.

### 3.2 Tecnologias aplicadas no protótipo do modelo FAI

Para a prototipagem do modelo FAI, foi necessário pesquisar tecnologias que viabilizassem financeiramente o projeto. Desse modo, foram consideradas três hipóteses: softwares proprietários existentes na empresa, softwares *opensource* (de código aberto) e softwares livres ou *free software*, conforme relação apresentada na *Tabela 1*.

Tabela 1 - Software do modelo FAI

FINALIDADE	TECNOLOGIA	LICENÇA
Operation System Server	Linux Debian	Open Source
Web Server	Apache2	Open Source
Cliente Station	Web Browser	Free Software or Open Source
Extract Transform and Load - ETL	ORACLE - ODI	Oracle - Comercial license
Staging Area	SGBD Postgresql	Open Source
Data Warehouse	SGBD Postgresql	Open Source
Design Model	Enterprise Architect - EA	Sparx System - comercial license
Multidimensional Model	TD Designer	TotalData - Free software
OLAP	TDBI	TotalData - Free software
Data Export	OpenOffice	Open Source
Data Mining	Tanagra	Education Free software
Fault Analysis	BlockSim	Reliasoft - Comercial license

Free Software  
 Open Source  
 Comercial License

As tecnologias utilizadas no protótipo do modelo FAI possibilitaram ensaios de consultas qualitativas e quantitativas de ocorrências de falhas registradas nos sistemas operacionais da empresa, no período compreendido entre janeiro de 2006 e março de 2007. Admite-se para estudos futuros pesquisar novas tecnologias que viabilizem o desenvolvimento e a implantação efetiva do modelo.

### 3.3 Etapas do desenvolvimento

O primeiro desafio para construir o protótipo do modelo FAI foi definir as etapas para direcionar o projeto, são elas:

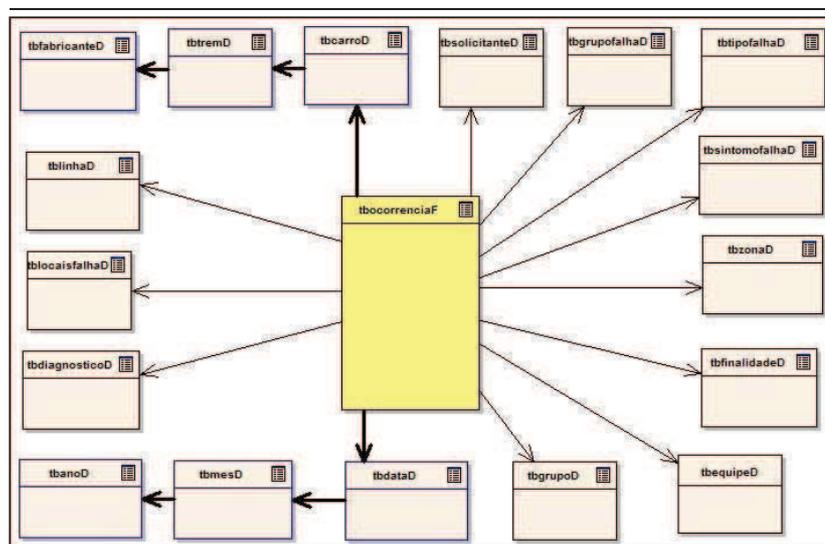
- 1. Estudo preliminar** - A fase de estudo preliminar objetivou elaborar um anteprojeto de soluções tecnológicas, visando estabelecer o escopo do projeto, os objetivos e os requisitos operacionais e tecnológicos.
- 2. Levantamento das necessidades informacionais** - O levantamento das necessidades informacionais permitiu a identificação dos dados relevantes para atender as equipes de projeto de engenharia.
- 3. Identificação das fontes potenciais de dados** - A identificação das fontes potenciais indicou a origem dos dados nos sistemas existentes.
- 4. Modelagem multidimensional** - O método de modelagem escolhido foi o *snowflaking* (flocos de neve), por tratar-se de um modelo que exigiu a normalização das dimensões como recurso para aumentar as possibilidades de pesquisa.
- 5. Desenvolvimento dos processos de ETL** - Os processos de ETL foram desenvolvidos com o intuito de viabilizar a transferência dos dados do ambiente

operacional para o *data warehouse*. Para desenvolvimento dos processos de ETL, foi utilizado o software Oracle Data Integration da Oracle Corporation, produto já utilizado na empresa.

6. **Desenvolvimento das camadas de acesso** - A camada de acesso OLAP foi desenvolvida com as ferramentas TDdesigner e TDBI, softwares da empresa TotalData Informática e Tecnologia Ltda., parceira da empresa objeto do estudo. A partir dos dados obtidos com a ferramenta OLAP, também foram realizados testes com a ferramenta de *data mining* (mineração de dados) Tanagra, software desenvolvido pelo pesquisador francês Rakotomalala (2007), disponibilizado para a comunidade científica no mesmo ano.
7. **Teste e homologação**- Os testes foram executados com dois engenheiros projetistas que avaliaram a usabilidade do modelo.

### 3.4 Modelagem multidimensional do FAI data warehouse

A *Figura 4* ilustra a modelagem dimensional desenvolvida para o protótipo do *data warehouse* do modelo FAI. A modelagem permitiu analisar as ocorrências de falhas registradas no sistema de transporte da empresa por meio da tabela fato ocorrência com dezessete tabelas dimensões complementares, o que possibilitou uma visão completa das ocorrências de falhas, por componente, local, data, natureza, diagnóstico, entre outros aspectos. A tabela no centro da *Figura 4* ilustra a tabela fato. As demais tabelas representam as tabelas dimensões. Os atributos não foram explicitados no modelo.



*Figura 4* – Visão da modelagem multidimensional

## 4 Resultados

Os resultados apresentados nessa seção reúnem amostras de consultas qualitativas e quantitativas realizadas no protótipo do modelo FAI. Também foi observada a possibilidade de integrar o modelo FAI com ferramentas de engenharia de confiabilidade e ferramentas de mineração de dados (*data mining*). A evidência da proposta de prover recursos para apoiar a gestão do conhecimento persistiu durante os testes realizados com as equipes de projeto.

### 4.1 Consulta qualitativa realizada no FAI data warehouse

Uma das principais vantagens do *data warehouse* é a facilidade de realizar consultas qualitativas dinâmicas elaboradas pelo próprio usuário (consultas do tipo *ad hoc query*, ou seja, consultas construídas no momento da necessidade). A *Figura 5* traz um exemplo de uma consulta qualitativa realizada diretamente no *data warehouse*. Nela, constata-se a incidência de falhas de um componente utilizado em um dos trens da companhia.

FabricanteNm	TremCd	CampoCc	FinalidadesPedidoCd	FinalidadesPedidoNm	DataOcorrencia
359	3343	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-11-19	
355	3327	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-08-03	
355	3327	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-08-23	
355	3327	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-05-02	
353	3316	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-08-31	
353	3316	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-09-20	
348	3285	1FRE0901	SENSOR TACOMETRICO FREIO - SMGF	2006-08-10	

Figura 5 – Consulta no FAI data warehouse

Na *Figura 5*, constata-se a incidência de falha no sensor tacométrico de freio - SMGF do trem 355. Muito embora a referida falha não comprometa diretamente a confiabilidade do sistema, sua incidência é um indicador importante a ser observado.

#### 4.2 Consulta quantitativa realizada no FAI cubo

Para Kimball et al.(1998), a idéia fundamental da modelagem dimensional é que quase todos os tipos de dados de negócio podem ser representados por um tipo de cubo de dados, onde as células do cubo contêm valores medidos e os lados deste definem as dimensões dos dados. Pode-se ter mais que três dimensões, tecnicamente chamado de hipercubo, apesar de normalmente o termo cubo de dados ser usado como sinônimo de hipercubo.

Nota-se na *Figura 6* que a consulta quantitativa realizada no cubo possibilitou a identificação da quantidade de ocorrências de falhas em um determinado período.

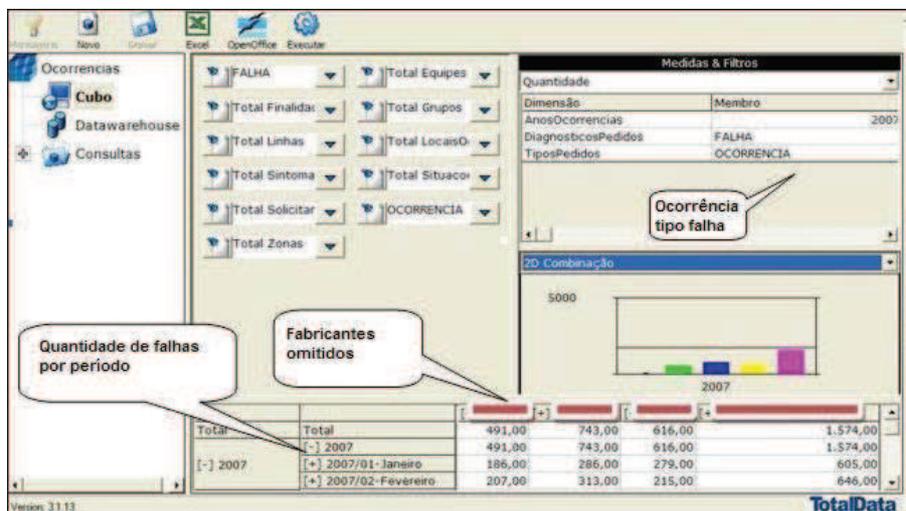


Figura 6 – Consulta dimensional no FAI cubo

#### 4.3 Integração com a ferramenta de data mining

Segundo Han e Kamber (2001), *data mining* (mineração de dados) é o processo de explorar grandes quantidades de dados à procura de padrões consistentes, como regras de associação ou seqüências temporais, para revelar relacionamentos sistemáticos entre variáveis, detectando assim novos subconjuntos de dados. A partir dos dados exportados para uma planilha eletrônica, foi possível acessar os dados na ferramenta de *data mining* Tanagra, conforme mostra a *Figura 7*.

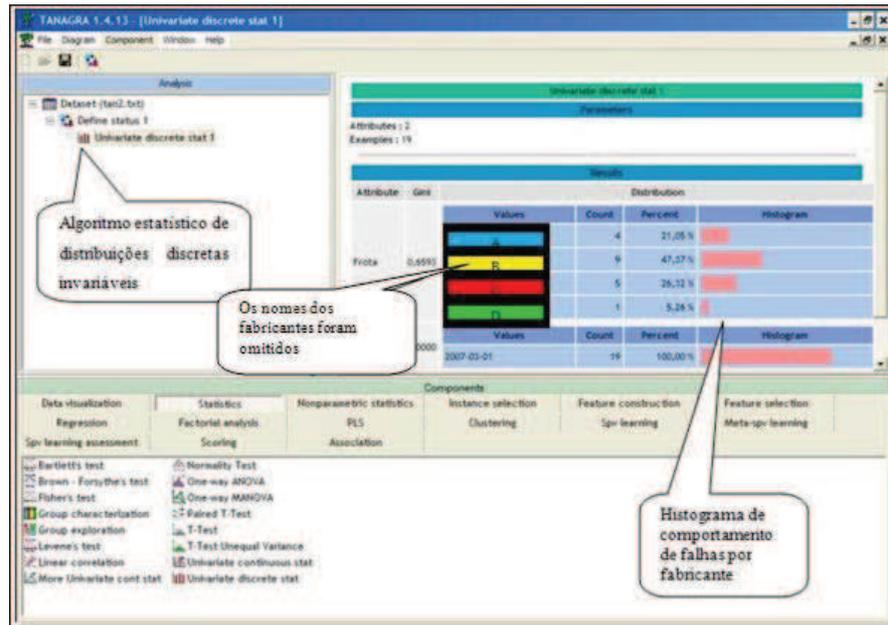


Figura 7 – Análise de comportamento no *data mining*

Na *Figura 7*, destaca-se a aplicação do algoritmo estatístico de distribuições discretas invariáveis. No total das falhas registradas no sistema no dia 01-03-2007, 5,26% foram do fabricante D, 21,05% do A, 26,32% do C e 47,9% do B, ou seja, o fabricante B apresentou um número de falhas próximo da soma do total dos demais fabricantes.

O software Tanagra permitiu diversas análises de comportamentos na massa de dados armazenada no repositório do modelo FAI. No entanto, não está no contexto do estudo apresentado explorar demais algoritmos de *data mining*.

#### 4.4 Integrações com ferramentas de engenharia

A *Figura 8* indica a possibilidade de integrar o modelo FAI com ferramentas de engenharia. No entanto, a exploração desse recurso não atingiu resultados suficientes para serem exibidos nesse artigo.

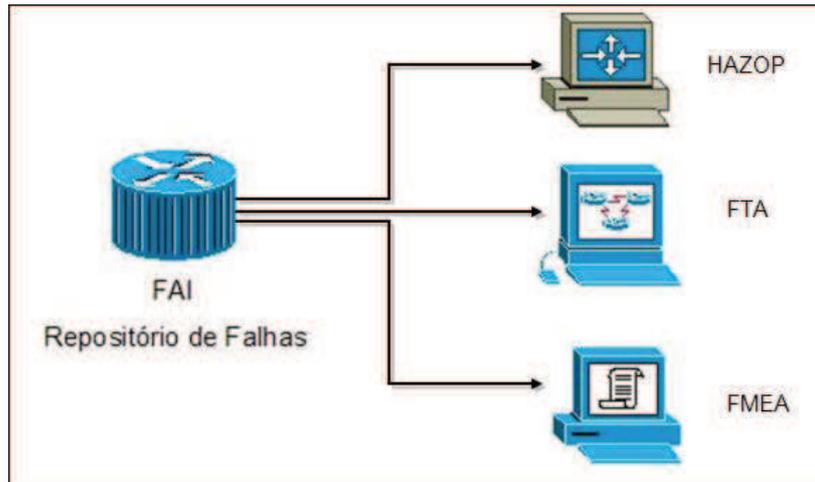


Figura 8 – Integração do modelo FAI com ferramentas de engenharia de confiabilidade

A Figura 8 ilustra a integração do modelo FAI com ferramentas de engenharia de confiabilidade como FMEA (*failure mode and effect analysis*, ou seja, análise do modo e efeito de falhas), Hazop (*hazard and operability study*, ou seja, análise de riscos e operabilidade) e FTA (*fault tree Analysis*, ou seja, análise de árvore de falhas).

Segundo Simões (2006), as ferramentas de engenharia de confiabilidade são essenciais para projetos em áreas críticas.

O estudo da viabilidade da integração do modelo FAI com ferramentas de engenharia de confiabilidade serão apresentados em estudos futuros, conforme observado na próxima seção.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O modelo FAI apresentado neste artigo sugeriu, em alto nível de abstração, uma reflexão sobre a viabilidade de aplicação dos fundamentos de *business intelligence* (BI) e da gestão do conhecimento para apoiar as equipes de engenharia que atuam em projetos de alta confiabilidade. As consultas apresentadas na seção 4 exemplificaram as inúmeras possibilidades dos projetistas manusearem grandes volumes de dados para produzirem conhecimento explícito.

Durante os primeiros testes realizados na fase inicial do estudo, foi possível observar, ainda que de forma empírica, que o manuseio da informação para a tomada de decisão nos projetos de engenharia é semelhante ao manuseio das informações estratégicas para a tomada de decisão no âmbito administrativo.

A aplicação do modelo FAI ainda dependerá de estudos mais aprofundados que devem considerar as peculiaridades das ferramentas e técnicas da engenharia de confiabilidade. Outro aspecto relevante que deverá ser observado é o comportamento humano na organização frente a um processo de aprendizagem amparado por tecnologias computacionais.

O próximo desafio será implantar o modelo FAI em todos os postos de trabalho de engenharia e avaliar se o hábito de utilizar a ferramenta contribuirá efetivamente para a construção do conhecimento das equipes de projeto.

## Referências

- ALVESSON, M.; KARREMAN, D. **Odd couple: making sense of the curious concept of knowledge management**. Journal of Management Studies. 38(7), p.995-1018, 2001.
- AVIZIENIS, A. et al. **Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing**. Trans. on dependable and secure computing. 1(1): IEEE, p.11-33, 2004.
- BALS, C.; SMOLNIK, S.; RIEMPP, G. **Assessing user acceptance of a knowledge management system in a global bank: process analysis and concept development**. System Sciences, 40<sup>th</sup> Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2007.
- BARBIERI, C. **BI – business intelligence: modelagem e tecnologia**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2003.
- CHOO, C. W. **A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões**. São Paulo: Senac, p. 25- 34, 2003.
- CHUNG, W., CHEN, H., NUNAMAKER, J. **"Business intelligence explorer: a knowledge map Framework for discovering business intelligence on the Web"**. Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Science, Big Island, Hawaii p. 10, Jan 2003.
- DALKIR, K. **Knowledge management in theory and practice**. Boston: Elsevier, 2005.
- DRUCKER, P. **Post-capitalist society**. New York: HarperCollins, 1993.
- EARL, M. **Knowledge management strategies: toward taxonomy**. Journal of Management Information Systems, v.18. n.1, p. 215-233, 2001.
- FORTULAN, M. R.; FILHO, E. V. G. **Uma proposta de aplicação de business intelligence no chão de fábrica**. Revista Gestão e Produção, v.12, n.1, p. 55-66, jan./abr. 2005.
- GRANT, R. M. **Toward a knowledge-based theory of the firm**. Strategic Management Journal; 17, Winter Special Issue; ABINFORM Global. p.109, Winter 1996.

- GRAY, P.; WATSON, H.J. **Decision support in the data warehouse**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998.
- HAN, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. USA: Morgan Kaufmann, 2001.
- HOUAISS, A. (Ed.). **Enciclopédia e dicionário digital 2007**. São Paulo: Objetiva, 2007. Produzida por Videolar Multimídia.
- HUNG, Y. H.; CHOU, S. C. **On constructing a knowledge management pyramid model**. The IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, 2005.
- INMON, W. H.; WELCH, J.D.; GLASSEY, K.L., 1997. **Managing the Data Warehouse**. Wiley Computer.
- INMON, W. H. **Building the data warehouse**. 4th edition. USA: Hungry Minds Inc., 2005.
- KIMBALL, R.; REEVES, L.; ROSS, M.; THORNTHWAITE, W. **The data warehouse lifecycle toolkit: expert methods for designing, developing, and deploying data warehouses**. Wiley, 1998.
- KIMBALL, R.; ROSS, M. **The data warehouse toolkit: the complete guide to dimensional Modeling**. Second edition. Wiley, 2002.
- LAWTON, G. **Making business intelligence more useful**. Published by the IEEE Computer Society, 2006.
- LEVESON, N. **Safeware: System safety and computers**. Addison-Wesley, 1995.
- LUHN, H. P. **A business intelligence system**. IBM Journal of Research and Development, 2(4): p. 314-319, October 1958.
- LIEBOWITZ, J. **Strategic intelligence: business intelligence, competitive intelligence, and knowledge management**. Auerbach, May 2006.
- MATHEUS, R.; PARREIRAS, F. **Inteligência empresarial versus business intelligence: Abordagem complementares para o apoio à tomada de decisão no Brasil**. Congresso anual da sociedade brasileira de gestão do conhecimento, São Paulo, 2004.
- MURRAY, E. J. **Classifying knowledge management systems based on context content**. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences Track 7, p. 156b, January 2006.
- NGUYEN, T. M.; SCHIEFER, J.; TJOA, A. M. **Data warehouse design 2: sense & response service architecture (saresa): an approach towards a real-time business intelligence solution and its use for a fraud detection application**. Proceedings of the 8th ACM international workshop on data warehousing and OLAP - DOLAP. Nov. 2005.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- OLIVEIRA, W. J. de. **Data warehouse**. Florianópolis: Visual Books, 2002.
- OU, L.; PENG, H. **Knowledge and process based decision support in business intelligence system**. First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, 2006.

- PEREIRA, W. A. L. **Uma metodologia de inserção de tecnologia de data warehouse em organizações**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - PUC-RS-Faculdade de Informática, Porto Alegre, out. 2000.
- PORTER, M.; MILLAR, V. **How information gives you competitive advantage**. Harvard Business Review, July-August 1985.
- POWER, D. J. **A Brief History of Decision Support Systems**. DSSResources.com. disponível em: <http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html>, acessado em 20/10/2005.
- RAKOTOMALALA, R. **Free data mining software form reseach and education**, disponível em : <http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/tanagra/en/tanagra.html>, acessado em 15/10/2007.
- SILVA, S. L. **Gestão do conhecimento: uma revisão crítica orientada pela abordagem da criação do conhecimento**. Brasília: Ci. Inf., v. 33, n. 2, p. 143-151, maio/ago. 2004.
- SIMÕES, F. S. **Análise de árvore de falhas: considerando incertezas na definição dos eventos básicos**. XXII 277. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ Sc., Rio de Janeiro, 2006.
- SIMON, H. A. **Theories of decision-making in economics and behavioral science**. The American Economic Review, v. 49, n. 3, p. 253-283, jun. 1959.
- SOUZA, Michel. **BI: o hoje e o amanhã da inteligência organizacional**. São Paulo, outubro 2003.
- SVEIBY, K. E. **A nova riqueza das organizações: gerenciando e avaliando patrimônios de conhecimento**. São Paulo: Atlas, 1999.
- TAFNER, S. L.; BERNHARDT, A. **Business intelligence: ferramenta de aquisição de informação e conhecimento como diferencial competitivo no processo decisório**. Revista de Divulgação Técnico-Científica do ICPG. v. 3, n. 10, jan.-jun./2007.
- TURBAN, E.; SHARDA, R.; ARONSON, J.; KING, D. **Business intelligence: a managerial approach**. USA: Prentice Hall, 2007.
- WATSON, H. J.; WIXOM, B. H. **The current state of business intelligence**. IEEE Computer, p. 95 – 99, September 2007.
- WEBER, T. **Fundamentos de tolerância a falhas**. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/~taisy/disciplinas/TFslides/>. acessado em: 10 /05/ 2006.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e método**. Porto Alegre: Bookman – 2005.