



MODELAGEM DE UMA FERRAMENTA ANALÍTICA APLICADA AO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS ENERGÉTICOS

Flavio Marques Azevedo¹

José Aquiles Baesso Grimoni²

Miguel Edgard Morales Udaeta³

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estruturar e sistematizar a integração de recursos energéticos aplicados ao Planejamento Integrado de Recursos – PIR, contribuindo na sua alocação ótima ao longo do tempo e tendo como meta o Desenvolvimento Sustentável. A sistematização é feita aplicando-se conceitos de depósito de dados (data warehouse) e análise multidimensional das informações, possibilitando a visualização de relatórios de forma interativa e em tempo real, uma das características essenciais da tecnologia OLAP (On Line Analytical Processing), utilizada na parte metodológica.

Isso resulta numa ferramenta que inclusive prevê a participação colaborativa de usuários, especialistas ou não, para que a alocação dos recursos energéticos ao longo do tempo seja obtida envolvendo a Avaliação dos Custos Completos (ACC), ou seja, levando-se em consideração os aspectos ambientais, sociais, políticos e técnico-econômicos.

O Estudo de Caso da Reserva Sustentável de Mamirauá, localizada no Estado do Amazonas, será responsável pela validação da ferramenta, consolidando todo o processo metodológico desenvolvido, e mostrando de forma visual os resultados das alocações temporais dos recursos energéticos.

1 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n. 158, azevedofm@pea.usp.br

2 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n. 158, aquiles@pea.usp.br

3 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n. 158, udaeta@pea.usp.br



ABSTRACT

This paper aims to structure and systematize the integration of energy resources applied to Integrated Resource Planning - IRP, contributing to the optimal allocation across the years and having the goal of Sustainable Development. The systematization is done by applying concepts of data warehouse and multidimensional analysis of information, making it possible to view reports interactively and in real time, an essential feature of the technology OLAP (On Line Analytical Processing), used on the methodology.

Resulting in a tool that also provides a collaborative participation of users, experts or not, that the optimal allocation of energy resources is obtained involving the evaluation of Complete Cost, considering the environmental, social, political and technical-economic aspects.

The Case Study of Sustainable Mamirauá Reserve, located in the Amazonas State, will be responsible for validation of the tool, consolidating all the methodological process, and showing visually the results of the temporal allocation of energy resources.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento energético na atualidade não é simples, é complexo, tanto pela necessidade de uso de diversas variáveis e massa de dados histórica relevante, como pela necessidade de se considerarem muitos e diferentes recursos energéticos. Mais ainda, pela necessidade de incorporar nesse planejamento as incertezas e riscos inerentes a essa quantidade de dados e informações a serem tratadas com o objetivo de se suprirem as necessidades de energia. Dentre esses dados, também devem se considerar, além das variadas técnicas, tecnologias, fontes e meios, os aspectos básicos do desenvolvimento, tais como o ambiental, o social, o político e o técnico-econômico. Daí resulta a evidência multidimensional e multicritério da tomada de decisão envolvida nesse planejamento. Isso tudo é vislumbrado através do PIR.

Nesse sentido, o aplicativo a ser implementado fornecerá elementos para a aplicação das metodologias existentes no escopo do Planejamento Integrado de Recursos - PIR, além de contribuir para que novas sejam desenvolvidas.



A fundamentação do PIR, embora tratada de forma abrangente e superficial, é extremamente importante, pois a implementação é baseada na Metodologia de Integração dos Recursos, elaborada por GIMENES, 2004. Recorrer-se-á à bibliografia existente para apresentar os conceitos abordados, que porventura necessitem de maiores esclarecimentos.

Devido à complexidade do problema, será necessária a criação de um procedimento para a implementação, iniciando-se através de um modelo no qual a estrutura de dados deve ser consistente a ponto de proporcionar informações precisas, não importando o tipo de consulta ou o tamanho do banco de dados utilizado. O modelo será construído segundo os conceitos de modelagem multidimensional, através da tecnologia OLAP - *On-Line Analytical Processing (Processamento Analítico On-Line)*.

De um ponto de vista prático, o OLAP sempre *"envolve consultas iterativas aos dados"*, seguindo um caminho de análise através de múltiplos passos, como, por exemplo, o aprofundamento sucessivo por níveis mais baixos de detalhe de um quesito de informação específico. O OLAP envolve capacidades analíticas, incluindo a derivação de taxas, variâncias, etc., e inclui medidas ou dados numéricos através de muitas dimensões, devendo suportar modelos para previsões, análises estatísticas e de tendências.

1.1. O Planejamento Integrado de Recursos Energéticos

O estabelecimento da melhor alocação ótima dos recursos ao longo do tempo, objetivo do PIR, implica procurar o uso racional dos serviços de energia; considerar a conservação de energia como recurso energético; utilizar o enfoque *"usos finais"* para determinar o potencial de conservação e os custos e benefícios envolvidos na sua implementação; promover o planejamento com maior eficiência energética e adequação ambiental; e realizar a análise das incertezas associadas com os diferentes fatores externos e as opções de recursos.

Através desse processo, trata-se de atender os requerimentos de energia por *"serviços energéticos"*, ou seja, força motriz, iluminação, cocção, condicionamento ambiental, entre outros, mantendo-se o mesmo nível de conforto e bem-estar e o mesmo nível de atividades produtivas da sociedade, em seus segmentos domiciliar, comercial e industrial, com redução no consumo de energia e nos custos.



O distanciamento do PIR diante do Planejamento Tradicional avançou o desenvolvimento do modelo de Integração dos Recursos, o qual, segundo (GIMENES, 2004), permite a efetiva inserção das dimensões sociais, políticas e ambientais, além da técnico-econômica, no processo de planejamento, de forma balanceada e com o mesmo grau de importância.

A Figura 1 representa o processo de Integração dos Recursos dentro do PIR através de um fluxograma.

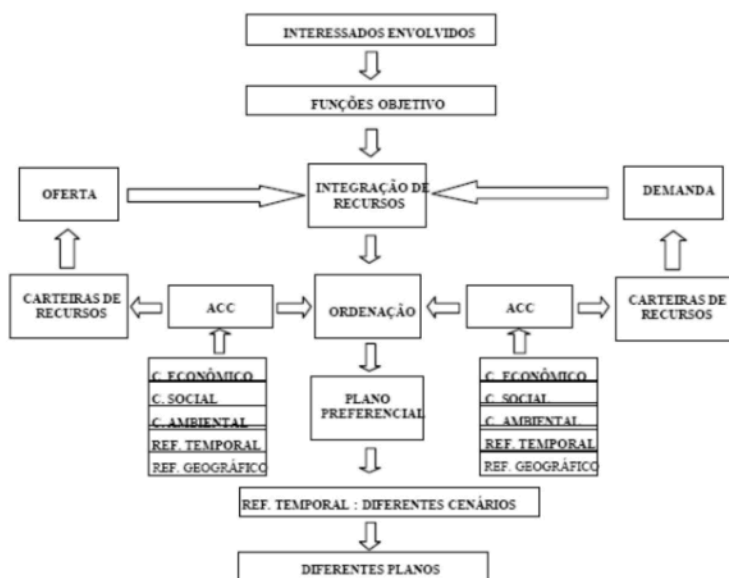


Figura 1: Processo de Integração de Recursos

2. CONCEITUAÇÃO DE OLAP

As organizações, após investirem tempo e recursos financeiros no desenvolvimento de sistemas de informação e seus respectivos bancos de dados, buscam suporte para analisar os dados provenientes de tais sistemas, e obter informações úteis para auxiliar nos processos de planejamento e tomada de decisão.

A partir desse momento, torna-se claro que o processamento das informações é a peça fundamental para toda e qualquer atividade realizada. Isso inclui coleta de dados, armazenamento, transporte, manipulação e recuperação, utilizando-se ou não a ajuda de computadores.



A informação produzida através de processos de alto nível como o PIR é baseada em análise, visto que, em algum momento, deve ocorrer, por exemplo, o cálculo de indicadores de sustentabilidade e até mesmo a classificação dos recursos energéticos. A informação também é orientada à decisão, pois se apresenta de uma forma que a torna imediatamente útil.

Nesse contexto, passamos a introduzir alguns conceitos do que chamamos de *OLAP – On-Line Analytical Processing*, na Integração dos Recursos Energéticos, pelo fato de ambos terem como pilar de sustentação o processamento de informações orientado a decisão e por meio de análise.

Segundo o “OLAP Council” (OLAP, 1997), OLAP é uma categoria de software que possibilita aos especialistas, gerentes e executivos o acesso a diferentes visões da informação, devendo essa interação ser rápida, consistente e amigável.

Existem requisitos essenciais que devem ser observados e respeitados quando se propõe a utilização da tecnologia OLAP: estrutura dimensional rica com referência hierárquica, especificação eficiente de dimensões e cálculos, flexibilidade, separação de estrutura e representação, velocidade suficiente para oferecer suporte à análise ocasional e suporte para multiusuários (vários usuários podem ter acesso simultaneamente).

Em ambientes de suporte à tomada de decisão, o processamento analítico é, geralmente, realizado em ferramentas OLAP, nas quais dados são organizados em cubos (ou hipercubos) formados por várias dimensões, sendo cada dimensão uma perspectiva diferente de análise dos dados, possibilitando ao usuário ter uma visão multidimensional deles. Cada dimensão compreende um conjunto de níveis de agregação de dados (THOMSEN, 1997). Operações típicas de OLAP incluem a agregação (*roll-up*) ou a desagregação (*drill-down*) de informações em uma dimensão, a seleção de partes específicas de um cubo (*slicing*) e a reorientação de visões multidimensionais dos dados na tela (*pivoting*). A organização dos dados em cubos colabora para que o acesso às informações seja rápido (pois os dados estão agregados) e ao mesmo tempo favorece a visualização dos dados, sendo esta bastante intuitiva (de acordo com as dimensões que definem o cubo).

O aspecto “informações consistentes”, no entanto, está muito mais relacionado ao processo de extração e tratamento dos dados oriundos das fontes operativas do que com as características das ferramentas OLAP. Por essa razão, geralmente, as aplicações OLAP são desenvolvidas em ambien-



tes de *Data Warehouse - DW (Depósito de Dados)*, cujo principal objetivo é disponibilizar dados confiáveis e consistentes de maneira integrada.

2.1. Dimensionalidade e Processamento Analítico

Obter respostas a questões típicas de análise dos negócios e de tomada de decisão em todas as esferas da atividade socioeconômica geralmente requer a visualização dos dados segundo diferentes perspectivas.

Como exemplo, dentro do contexto do Balanço Energético, tem-se que uma parcela de energia primária é consumida diretamente nos diversos setores da economia, sendo este consumo designado por consumo final. Caso queira-se efetuar uma análise do consumo final ao longo dos anos, é necessário inicialmente examinar os dados sobre o Balanço Energético disponíveis. Uma avaliação desse tipo requer uma visão histórica do consumo energético sob múltiplas perspectivas, como a evolução do consumo final por fonte energética ou por setor econômico e a composição setorial do consumo final de eletricidade. Uma análise superficial do volume de dados, utilizando uma ou mais dessas perspectivas, permitiria responder questões do tipo:

Qual a fonte energética de maior consumo final considerando-se o período de 1973 a 2000, dentro do setor de transportes e residencial para a Região Sudeste do Brasil?

A capacidade de responder a esse tipo de questão é o que permite aos gerentes e altos executivos das empresas formularem estratégias efetivas, identificar tendências e melhorar sua habilidade de tomar decisões de negócio. O ambiente tradicional de bancos de dados relacional certamente pode atender a esse tipo de consulta. No entanto, usuários finais que necessitam de consultas desse tipo via acesso interativo aos bancos de dados mostram-se seguidamente frustrados por tempos de resposta ruins e pela falta de flexibilidade oferecida por ferramentas de consulta baseadas em Linguagem de Consulta Estruturada (*Structured Query Language - SQL*). Daí a necessidade de utilizar abordagens específicas para atender a tais consultas.

Para compreender melhor os conceitos envolvidos, o exemplo acima será analisado em maior detalhe. Chama-se de **dimensões** as diferentes perspectivas envolvidas; no caso, recurso, região, setor da economia e tempo. Essas dimensões usualmente correspondem a campos não numéricos em um banco de dados. Consideremos também um conjunto de **medidas**, tal como consumo final de energia. Essas medidas correspondem



geralmente a campos numéricos em um banco de dados. Dentro desse contexto, podem ser avaliadas agregações das medidas segundo as diversas dimensões. Por exemplo, calcula-se a média de consumo de todos os recursos por todos os meses e por região. A forma como as agregações são armazenadas pode ser caracterizada em termos de dimensões e coordenadas, dando origem ao termo *multidimensional*.

Ao contrário de aplicações convencionais, como folha de pagamento ou inventário, a classificação de instâncias em problemas multidimensionais é uma questão de perspectiva, sendo dependente do objetivo da análise do usuário, em vez de considerar propriedades inerentes das entidades ou eventos envolvidos. Os tipos de classificação usados fazem surgir as dimensões descritivas, segundo as quais os objetos ou eventos são vistos e mensurados.

Intuitivamente, cada eixo no espaço multidimensional é um campo/coluna de uma tabela relacional, e cada ponto um valor correspondente à interseção das colunas.

A **Figura 2** mostra como os dados podem ser apresentados e visualizados dentro de uma estrutura multidimensional.

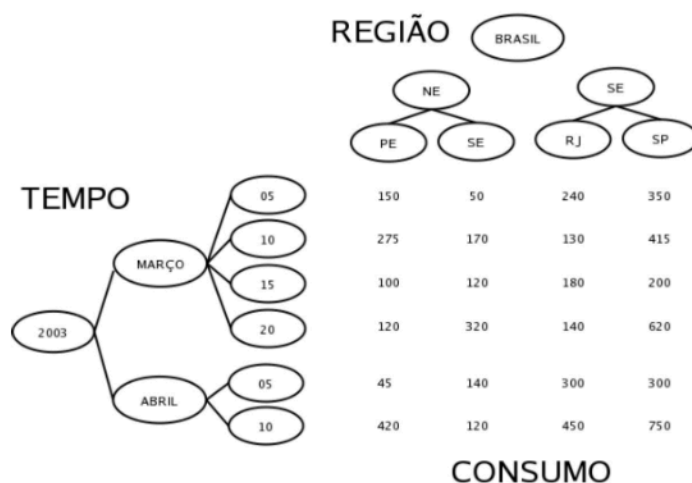


Figura 2: Dimensões e seus Níveis hierárquicos

Teoricamente, quaisquer dados podem ser considerados multidimensionais. Entretanto o termo normalmente se refere a dados representando objetos ou eventos que podem ser descritos e, portanto, classificados por dois ou mais de seus atributos.



3. METODOLOGIA

A partir do conhecimento do problema, que é a sistematização dos dados que compõem as etapas da Integração dos Recursos Energéticos, passa-se à construção do modelo que representará a estrutura da ferramenta de forma genérica e completa.

Para a realização do presente trabalho, foi utilizado o aplicativo Mondrian (MONDRIAN, 2009), um servidor OLAP gratuito e de código aberto, sob licença GNU/GPL, o qual pode ser utilizado e modificado livremente. Além disso, foi utilizado para estruturação do DW o Banco de Dados MySQL (MYSQL, 2009), e como Servidor Web, o software Tomcat (TOMCAT, 2009).

Inicialmente serão apresentadas as Dimensões que fazem parte do modelo como um todo, e na sequência os Cubos, delineados conjuntamente com suas respectivas Medidas. Devido à complexidade tecnológica a que o leitor está submetido, a implementação será dirigida na condição de um tutorial, consolidando-se o modelo a partir do Estudo de Caso apresentado no decorrer do trabalho.

3.1 O que podemos chamar de Esquema?

Um esquema define um banco de dados multidimensional. Contém um modelo lógico, consistindo de cubos, hierarquias e membros, além de um mapeamento desse modelo para o modelo físico.

O modelo lógico consiste das construções usadas para escrever consultas em linguagem MDX (Multidimensional Expressions): cubos, dimensões, hierarquias, níveis e membros.

O modelo físico é a fonte dos dados, os quais são apresentados através do modelo lógico. Tipicamente utiliza-se um esquema do tipo “Estrela”, que é um conjunto de tabelas em um banco de dados relacional. ☐

Os esquemas tecnicamente são representados em arquivos no formato XML. Podem ser criados diretamente, utilizando-se um editor de textos, ou através de uma interface gráfica, sendo que neste trabalho utiliza-se a ferramenta Eclipse (ECLIPSE, 2009).



3.2. Modelo Lógico

Os itens mais importantes dentro de um esquema são os cubos, medidas e dimensões:

- **Cubo** é uma coleção de dimensões e medidas dentro de um determinado assunto.
- **Medida** é uma quantidade que interessa mensurar, como, por exemplo, consumo de energia por região.
- **Dimensão** é um atributo, ou um conjunto de atributos, pelos quais podem se dividir as medidas em subcategorias. Por exemplo, seria possível dividir os Recursos Energéticos em categorias e saber quais são fontes primárias ou secundárias.

4. ESTUDO DE CASO

Para que haja a visualização analítica da informação relacionada com o processo de integração, de uma maneira que reflita a realidade, será necessário dispor de uma “massa de dados”, escolhendo-se inicialmente para tal a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - RDSM, localizada no Estado do Amazonas, objeto de um Estudo de Caso apresentado por (GIMENES, 2004). Para que o presente artigo não fique muito extenso, será coberta pelo Estudo de Caso uma única e exclusiva etapa do Modelo de Integração, referente aos Dados Sociais da região em análise.

As informações apresentadas a seguir, caracterizando a região da reserva sustentável, foram obtidas a partir de (MAMIRAUÁ, 2004).

4.1. Exemplo: Mapeamento Regional - Dados Sociais

As dimensões utilizadas no modelo fornecem subsídios para que a representação da Etapa seja concretizada.

O Modelo Lógico (indicativo de como os dados se inter-relacionam e são armazenados no banco de dados) de cada Cubo é também apresentado graficamente, finalizando o processo de implementação proposto para o Modelo de Integração de Recursos.

As Medidas, termos essenciais para o instrumento de análise, passam a ser descritas, tornando claro aquilo que está sendo mensurado.



Descrição das Medidas: as informações são oriundas de pesquisas e levantamentos correntes do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e dados de outras instituições, como Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas, Ministério da Educação e do Desporto - INEP/MEC; Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde, Ministério da Saúde - DATA-SUS/MS; Tribunal Superior Eleitoral - TSE; Banco Central do Brasil - BACEN/MF, Secretaria do Tesouro Nacional, Ministério da Fazenda - STN/MF; e Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN/MJ.

Observe que **Figura 3** a seguir representa visualmente o Modelo Lógico do Cubo “Dados Sociais”.

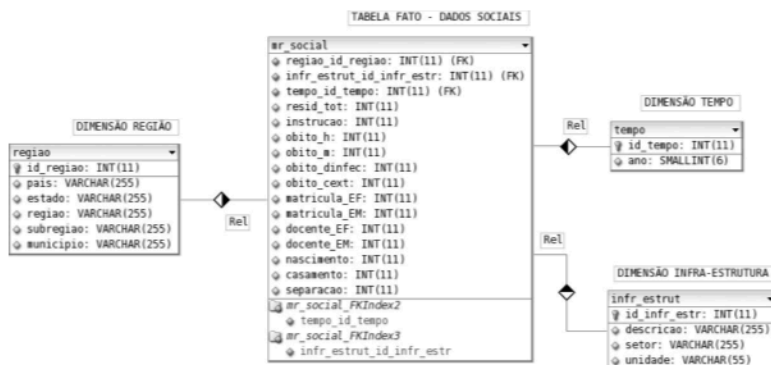


Figura 3: Modelo lógico do cubo – Dados Sociais

O cubo modelo lógico apresentado possibilitará algumas situações de análise, potencializadas justamente pelo uso do gráfico extraído pela ferramenta OLAP através de uma simples navegação.

Situação1: visualização de todas as medidas que representam as características sociais da região analisada. Observa-se que o cubo está “fatiado” para o período de 2003 e para a região do Estado do Amazonas, especificamente para as cidades que envolvem a RSDM. Observe a **Figura 4**, resultado extraído da ferramenta.



TEMPO	REGIAO	Measures							
		POPULACAO	INSTRUCAO	OBITO H	OBITO M	MATR EF	MATR EM	DOCENTE EF	DOCENTE EM
2003	--AMAZONAS	103,940	19,119	10	10	29,971	2,959	845	99
	Alvarães	12,150	2,107	1	1	5,368	436	142	14
	Maraã	17,079	5,939	0	0	6,326	194	149	8
	Tefé	64,457	8,683	9	9	15,165	2,151	467	63
	Uarini	10,254	2,390	0	0	3,112	188	87	14

Figura 4: Dados Sociais – Medidas

Análise1: Pelo gráfico da Figura 6, é nítido que a cidade de Tefé tem uma concentração populacional bem maior que as demais cidades, fato relacionado com o percentual de área urbana na região. Além disso, deixa-se claro que o maior número de pessoas sem instrução também é maior nessa cidade.

Situação2: Comparativo percentual de algumas medidas com relação às suas respectivas totalidades. Os dados são apresentados na **Figura 5**.

Measures	TEMPO				
	2003				
	REGIAO				
	--AMAZONAS	Alvarães	Maraã	Tefé	Uarini
POPULACAO %	100.00%	11.69%	16.43%	62.01%	9.87%
MATR EF %	100.00%	17.91%	21.11%	50.60%	10.38%
SEM INSTRUCAO %	100.00%	11.02%	31.06%	45.42%	12.50%
DOCENTES EF %	100.00%	16.80%	17.63%	55.27%	10.30%

Figura 5: Visualização dos Dados Sociais por ano - região

Análise2: Utilizando-se do recurso de inversão dos eixos, pode-se obter o gráfico da **Figura 6**. Através dele, pode ser observado que a cidade de Tefé, tendo o percentual populacional maior comparando-se com as demais cidades, possui os maiores valores em todas as medidas, característica de centros urbanos. A cidade de Maraã apresenta medidas um tanto discrepantes, quando comparado o percentual de pessoas sem instrução com o percentual populacional.

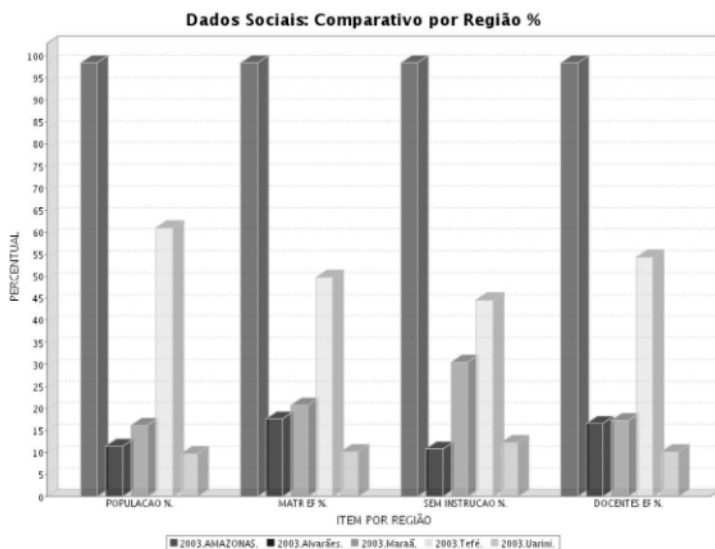


Figura 6: Gráfico comparativo entre as regiões

5. CONCLUSÕES

Devido à aplicação ampla de modelos multidimensionais sob a ótica do planejamento integrado de recursos, notou-se uma grande adequação da utilização de tal tecnologia para a resolução dos problemas, de uma forma diferenciada e substancial.

Através da visualização analítica propiciada pela ferramenta, poderão ser analisados e comparados diversos estudos de caso, de uma forma generalizada. Expandindo-se o que foi realizado durante o trabalho com a massa de dados da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, é possível que haja uma visualização da Integração dos Recursos realizada em outras regiões e uma comparação com elas.

A comparação entre diferentes regiões é importante, mas não é a única possibilidade da aplicação da tecnologia OLAP. Podem ser efetuadas análises que relacionam o uso final de determinadas tecnologias com a tendência e projeção de sua utilização ao longo do tempo, proporcionando a tomada de decisão adequada, tanto para o lado da demanda, através de planos de Gerenciamento do Lado da Demanda – GLD, como para o lado da oferta, procurando-se alternativas energéticas para atender as necessidades da própria região.



Um fator importante que deve ser mencionado é a facilidade da utilização da ferramenta de análise feita pelos usuários finais (En_In), pois eles não precisam ter conhecimentos técnicos sobre o modelo de dados ou linguagem de consulta, nem de um profissional de tecnologia que entenda seus requerimentos e produza a informação desejada. O acesso aos dados passa a ser transparente através do “Menu de Navegação”. Os usuários têm apenas que lidar com termos de negócio aos quais já estão habituados, organizados sob a forma de dimensões e medidas.

A utilização de ferramentas OLAP, aliada à filosofia de *data warehouse*, mostrou-se muito produtiva na aplicação dentro do planejamento energético, proporcionando agilidade e flexibilidade nas investigações e análise de dados para os usuários finais, isto é, aqueles que realmente fazem parte do processo de tomada de decisões.

6. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Resolução de aspectos subjetivos da análise: o desenvolvimento de um Data Warehouse juntamente com a aplicação da tecnologia OLAP não foram notadamente suficientes para a solução de problemas subjetivos. Na tentativa de solucioná-los, podem ser utilizadas técnicas de Mineração de Dados - *Data Mining*, principalmente quando se trata das Funções Multiobjetivos – FMOs.

Extensão do Repositório de Dados: alguns elementos de um modelo dimensional não são representados no repositório de dados. Tabelas de fatos e suas classificações e atributos de tabelas de dimensão que não compõem hierarquias são exemplos desses elementos. Um trabalho possível seria o estudo e a implementação de novos elementos, estendendo a capacidade do repositório de dados de representar o modelo dimensional. É importante destacar que algumas dessas limitações se devem ao fato de o repositório ser atualizado pelo próprio usuário, o que dificulta a incorporação de aspectos técnicos na ferramenta. Uma alternativa seria a divisão da ferramenta em dois módulos: o primeiro, a ser utilizado pelo usuário para modelar a estrutura dos dados e suas necessidades de análise, e o segundo para possibilitar a um profissional de tecnologia da informação que acrescente os detalhes técnicos ao repositório de dados.

Utilização de um Sistema de Informação Georreferenciada – SIG, o que traria uma contribuição inigualável somada à presença da tecno-



logia OLAP, visto que os aspectos “georreferenciais” possibilitam a integração, numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas tais como dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelo numéricos de terreno. No âmbito do PIR, pode ser utilizado o SAGe, o qual vem sendo desenvolvido pelo Grupo de Energia do Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – GEPEA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GIMENES, A. L. V. Integração de Recursos Energéticos como Instrumento para o Planejamento Energético Sustentável, tese de doutorado, São Paulo – SP, EPUSP – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, 2004.

MAMIRAUÁ. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ. Amazonas. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.mamiraua.org.br>> . Acessado em 03 de jan. 2009.

MONDRIAN. Servidor OLAP. Site Oficial do Software. Disponível em: <<http://perforce.eigenbase.org:8080/open/mondrian/doc/index.html>> . Acesso em 20 de nov. 2004.

MYSQL. MySQL AB. Site Oficial do Software. Disponível em <<http://www.mysql.com>> . Acessado em 20 de nov. 2009.

OLAP Council. The APB-1 Benchmark. Disponível em <<http://www.olap-council.org>> . Acessado em 05 de maio 2009.

THOMSEN, E. OLAP: Construindo sistemas de informações multidimensionais. Tradução da Segunda Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2002. 708p

TOMCAT. The Apache Jakarta Project. Site Oficial do Software. Disponível em <<http://jakarta.apache.org/tomcat/>> . Acessado em 10 de jun. 2009.

UDAETA, M. E. M. Planejamento Integrado de Recursos (PIR) para o Setor Elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável), tese de doutorado, São Paulo – SP, EPUSP – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, 1997.