

EXPANSÃO DA REDE DE GÁS NATURAL DENTRO DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E URBANO POR MEIO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA E DA DINÂMICA DAS CIDADES

NATURAL GAS PIPELINE EXPANSION IN THE ENERGY AND URBAN PLANNING USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AND THE URBAN DYNAMICS

Vanessa Meloni Massara¹, Miguel Edgar Morales Udaeta^{1,2}, Paulo Helio Kanayama² e Luiz Cláudio Ribeiro Galvão²

¹Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia
Programa de Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás
Avenida Prof. Luciano Gualberto, 1289 Cidade Universitária
CEP: 05508-900 São Paulo, SP

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica
Avenida Av. Prof. Luciano Gualberto, Trav. 3, 158 Bloco A Cidade Universitária
CEP: 05508-900 São Paulo, SP

RESUMO

Este artigo analisa, por meio do uso do Programa *Decision Lens*, baseado no método de análise hierárquica – AHP, a influência de diversos parâmetros na implantação da rede de distribuição de gás natural – GN. O método possibilita que, quando existem diferentes fatores que contribuem para a tomada de uma decisão, seja determinada a contribuição relativa de cada um, oferecendo todas as características de um sistema, englobando os elementos de forma que uma alteração em um deles tenha reflexo em todos os outros. A lógica baseada na combinação par a par, criada por Saaty no final da década de 1970, permite a verificação de relações como densidade demográfica e distribuição de renda, verticalização residencial e concentração industrial, distância do distrito a ser servido daquele que já possui a rede, definindo com base na atribuição de uma escala de prioridades os aspectos determinantes na seleção de áreas passíveis de expansão do GN. Como estudo de caso foram selecionados oito municípios da Região Administrativa de Araçatuba, próxima ao trajeto do Gasoduto Bolívia-Brasil – GASBOL e com perspectivas de crescimento econômico que podem vir a incrementar o uso de gás natural no noroeste do Estado de São Paulo. Conclui-se que fatores relacionados ao planejamento urbano, expressos pelo desenvolvimento atual e futuro da região, são indicadores decisivos no crescente consumo de energia, que poderá conduzir à expansão do gás canalizado.

Palavras-chave: Gás Natural, Método de Análise Hierárquica, Desenvolvimento Urbano.

ABSTRACT

This paper analyzes through the use of *Decision Lens* software, based on the AHP (Analytic Hierarchy Process), the influence of several parameters in the expansion of the natural gas distribution network. The method allows that, when different factors contribute to the decision making process, the relative contribution of each one be determined, offering all the system characteristics, including all the elements so that an alteration in one of them will be reflected in all the others. The logic based on pair combination, created by Saaty in the end of the 1970s, allows the verification of relationships as demographic density and distribution of family income, residential and industrial concentration, distance among areas that can be served and others that are effectively attended by natural gas, defining through in the attribution of a priority scale, the decisive aspects in the selection of areas that must receive the natural gas expansion. As a study case, eight cities of the administrative area of Araçatuba were selected, near the Gasoduto Bolívia-Brasil – GASBOL pipeline and with perspectives of economic growth that may increase the use of natural gas in the northwest of the State of São Paulo. The economic characteristic of the studied cities is among tourist, industrial, agricultural vocation and especially in energy production. As a conclusion, it was identified that the urban development indicators and the economics activities are decisive for energy increase consumption that must contribute to the expansion of the natural gas pipeline.

Keywords: Natural Gas, Analytic Hierarchy Process, Urban Development

1 – INTRODUÇÃO

No processo de tomada de decisão para construção e ampliação das redes de infra-estrutura, diferentes fatores

devem ser considerados para a priorização do atendimento a áreas que constituirão um mercado consumidor potencial para o serviço em questão (GRIMONI, GALVÃO e UDAETA, 2004). Neste trabalho focaliza-se a importância

do perfil urbano de cada município como base para verificação de estimativas de mercado respaldadas no estudo das relações entre questões sociais, na demanda por energia, nos planos diretores e no custo de implantação da infra-estrutura de distribuição do Gás Natural – GN. Objetiva-se propor a verificação dos graus de influência dos diversos fatores que interferem no processo decisório sobre onde expandir a rede canalizada de gás natural mesclando conceitos de planejamento urbano, energia e engenharia civil.

Conforme definido por Massara (2007), os fatores considerados como intervenientes na tomada de decisão embasados na dinâmica das cidades (FORRESTER, 1969) podem ser reunidos em quatro sistemas de informação, considerando:

- Existência de outras redes de infra-estrutura e equipamentos urbanos;
- Planos Diretores e a visão dos órgãos municipais quanto à introdução das redes em áreas consolidadas ou em consolidação;
- Possibilidades de consumo de gás natural;
- Extensões a percorrer e conseqüente custo da obra civil.

Para a análise, foi utilizada a Região Administrativa de Araçatuba – RAA, que é composta por 43 municípios. Desse total, foram selecionados àqueles com mais de 20.000 habitantes e com características turísticas e de investimentos que podem ter impacto ambiental, sustentando a premissa de exigência de Plano Diretor, pela Constituição Federal de 1988 e também pelo Estatuto da Cidade de 2001 (o que facilita a coleta de informações). Definiram-se, assim, oito cidades para o estudo de caso: Araçatuba, Andradina, Birigui, Guararapes, Ilha Solteira, Mirandópolis, Penápolis e Pereira Barreto. As oito cidades têm perspectivas de crescimento econômico que podem vir a incrementar o uso de gás natural no noroeste do Estado de São Paulo (UDAETA, 2004). A característica econômica dessas cidades varia entre a vocação turística, industrial, agropecuária e, em especial, na produção de energia. Por este último fator que se decidiu introduzir a região neste estudo, mesmo com seu diferencial agropecuário que escapa ao conceito de "Dinâmica Urbana adaptada ao estudo da Rede de Gás Natural" (MASSARA, 2007). Além disso, vários projetos estão sendo elaborados para essa região dentro da definição de Planejamento Integrado de Recursos, o "PIR" (Ver Nota no final do texto).

Udaeta (1997) define o PIR como um planejamento voltado para estabelecer a melhor alocação de recursos, que implica em procurar o uso racional dos serviços de energia; considerar a conservação de energia como recurso energético; utilizar o enfoque dos "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 de incertezas associadas com os diferentes fatores externos e as opções de recursos. O PIR diferencia-se do planejamento tradicional na classe e na abrangência dos recursos considerados, na inclusão no processo de planejamento dos proprietários e usuários dos recursos, nos organismos envolvidos no plano de recursos e nos critérios de seleção dos recursos. Baseado nesse conceito, este trabalho pretende

contribuir com o estudo energético da região no caso específico do gás natural, indicando nas 8 cidades mencionadas, qual a influência dos parâmetros fundamentados na dinâmica das cidades para a tomada de decisão.

2 – O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

A tomada de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve múltiplos critérios, dados imprecisos e/ou incompletos, múltiplos agentes de decisão etc. Para servir de apoio a esse processo surgiu, na década de 1970, um campo da Pesquisa Operacional denominado Apoio Multicritério à Decisão.

O *AHP* (*Analytic Hierarchy Process*) é um método multicritério utilizado no apoio à tomada de decisão e na resolução de conflitos negociados em problemas com múltiplos critérios. Conforme aponta Saaty (1980), os princípios da análise lógica que fundamentam o AHP são:

- **Hierarquia**: consiste na técnica de organizar as idéias nascidas nas mentes humanas, de forma a facilitar a análise e a exploração de cada parte que as constitui;

- **Prioridades**: a mente humana também tem habilidade de perceber as relações de resultados de suas observações, comparando pares ou similares dessas observações ou fatos, utilizando determinado critério e discriminando entre os pares a intensidade ou a preferência de um sobre o outro. A aplicação do *AHP* permite entender o sistema como um todo;

- **Consistência lógica**: este é o terceiro princípio do *AHP*, que consiste na capacidade de estabelecer uma lógica para cada um dos elementos, relacionando o seu nível de consistência.

Segundo Saaty (1980), sua teoria "reflete o que parece ser um método natural de funcionamento da mente humana, que ao defrontar-se com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, os agrega em grupos, segundo propriedades comuns". A questão central do método é identificar com que peso os fatores individuais do nível mais baixo de uma hierarquia influenciam seu fator máximo, ou seja, o objetivo geral.

O método baseia-se no modo como a mente ocidental trata geralmente os problemas complexos, ou seja, através de conceituação e estruturação: o conflito da existência de muitos elementos de decisão, controláveis ou não, e sua agregação em grupos, através das propriedades específicas comuns. O ser humano pesquisa a complexidade na decomposição para depois, com as relações encontradas, sintetizar. É o processo fundamental da percepção da complexidade, torná-la tratável analiticamente, pela decomposição e síntese.

A metodologia *AHP* abrange três etapas: a estruturação (decomposição) do problema, os julgamentos comparativos e a síntese das prioridades.

Saaty e Vargas (1982) explicam as fases fundamentais no processo de apoio à tomada de decisão como:

- **Análise do sistema em estudo**: que identifica, caracteriza e hierarquiza os principais atores intervenientes, explicitando as alternativas de decisão potenciais que se pretende comparar entre si em termos dos seus méritos e desvantagens face a um conjunto de critérios de avaliação, definidos de acordo com os pontos de vista dos atores envolvidos;

- Avaliação do sistema: que tem por finalidade esclarecer a escolha, recorrendo à aplicação de métodos de múltiplos critérios para embasar a modelagem para o apoio à decisão, mostrando quais os parâmetros de maior influência.

A identificação do problema e seu diagnóstico, leva em conta o levantamento de critérios (medidas reais) e subcritérios (derivados por semelhança de cada grupo de critérios). Conforme aborda Saaty (1980), para a seleção de critérios devem ser consideradas três propriedades: a exaustividade, a não redundância e a homogeneidade, definidas como:

- **Exaustividade:** significa que cada critério, com suas variáveis, completa na totalidade cada uma das diferentes dimensões do problema. A não redundância, por sua vez, deve garantir que haja independência entre cada um dos níveis hierárquicos;

- **Homogeneidade:** quer dizer que os critérios de cada nível devem ser comparáveis, isto é, possuir uma ordem de importância similar.

A comparação par a par é feita usando uma escala própria, definida por Saaty (1980) como escala fundamental. O ser humano tem um limite psicológico máximo para comparar elementos e julgá-los corretamente em 7 ± 2 itens. Isso implica em nove pontos distintos de julgamento, na escala fundamental de Saaty. Na Tabela 1 pode ser observada a escala de valores AHP para comparação par a par.

Tabela 1. Escala AHP para comparação pareada

Atributo	Julgamento de prioridade entre pares
1	Sem priorização
3	Moderada priorização
5	Forte priorização
7	Muito forte priorização
9	Extremamente prioritário
2,4,6,8	Valores intermediários (não usados neste estudo)

Fonte: Saaty, 1980.

A ordenação hierárquica é um tipo de estrutura hábil para fornecer uma visão global do problema e da relação de complexidade, que ajuda o tomador de decisão na avaliação da dimensão e conteúdo dos critérios, através da comparação homogênea dos elementos. Como consequência, o processo reduz-se a uma seqüência de comparações aos pares desses componentes identificados. A estrutura hierárquica desenvolve-se linearmente ou não, do nível mais elevado até ao nível inferior, dos conceitos e características gerais para os princípios básicos e concretos.

Por esse processo, o AHP ajuda os tomadores de decisão a criar um modelo das prioridades onde é atribuído o peso inicial da meta que corresponde a 100% da influência, que é distribuído a partir do primeiro nível até o nível mais detalhado, resultando em porcentagens de influência para cada critério e subcritério elencados no modelo.

A síntese da lógica AHP é uma multiplicação linear associada a um processo de soma dos pesos (toda a influência flui para baixo). Se o usuário aumenta o peso de um critério, os fatores associados àquele critério sempre adquirirão pontuações crescentemente mais altas.

Vale ressaltar, que a abordagem do problema de decisão, sob o enfoque do Apoio Multicritério à Decisão, não visa apresentar ao decisor ou aos decisores uma solução ao seu problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada. Visa, sim, apoiar o processo decisório, indicando os fatores de maior influência, sugerindo diretrizes para se alcançar o objetivo do projeto.

3 – HIERARQUIZAÇÃO DE PARÂMETROS COM BASE NA DINÂMICA DAS CIDADES

Neste trabalho, o método AHP é utilizado por meio do Programa *Decision Lens* (SAATY, 2006), que visa estudar a importância dos parâmetros urbanos selecionados na avaliação de áreas passíveis em receber a rede canalizada de gás natural.

3.1 A Priorização dos Parâmetros sob o Método de Análise Hierárquica

O método AHP usa a combinação par a par para definir qual a porcentagem de importância de cada fator, relacionando todos simultaneamente.

O método pode ser utilizado com respaldo na experiência de um grupo de “votantes” que por seu conhecimento no assunto abordado fazem a comparação par a par atribuindo os pesos por sensibilidade de importância de um fator em relação ao outro.

Para a distribuição dos valores nas cinco faixas principais da escala pareada (1, 3, 5, 7 e 9), conforme a escala pré-definida descrita na Tabela 1, também pode ser utilizada a associação de valores numéricos à escala de importância (UDAETA, 2007), distribuídos segundo sua grandeza, conceito este que é a base da composição de informações utilizada neste trabalho.

Vale lembrar, que embora a atribuição da escala Saaty permita linearizar valores de diferentes grandezas e unidades, ainda é necessário verificar se todos os parâmetros envolvidos na comparação podem ser tratados da mesma forma. Por exemplo, sabe-se que o parâmetro “taxa de urbanização” tem como limite máximo 100%. Já o parâmetro “estratificação em domicílios” pode sofrer variações em seu número de unidades no decorrer do tempo, sendo um valor não finito. Essa diferença entre os valores mínimos e máximos serem fixos ou não, conforme o conceito de cada parâmetro, faz com que seja necessária a conversão de todas as unidades em porcentagem antes da atribuição da escala.

Utilizados os valores coletados e atribuídos os pesos para cada parâmetro, a matriz de dados está pronta para ser inserida no Programa DL (*Decision Lens*), que faz as combinações dos parâmetros par a par automaticamente.

3.2 O Programa DL e a estrutura para análise da importância dos parâmetros urbanos na implantação do gás natural

A utilização do método AHP está estruturada em três níveis de hierarquia, que podem ser desmembrados em

outros subníveis, conforme a necessidade do projeto. Dentro do programa esta fase corresponde à etapa *build model*. Para a inserção dos dados, o primeiro estágio é a montagem do esquema hierárquico (*create a tree view*). No nível mais alto desse esquema está a definição do objetivo a alcançar (que pode ser mais do que um) e no programa DL é chamado de *decision goal*. No nível imediatamente abaixo são alocados os critérios definidos pelo usuário que darão respaldo à busca de soluções para chegar ao objetivo proposto. Esses critérios podem ser decompostos em vários subcritérios.

A estrutura AHP adaptada ao estudo da rede canalizada de GN fundamentada na dinâmica das cidades pode ser resumida em:

- **Meta:** definir o grau de influência de parâmetros baseados na dinâmica das cidades, na seleção de áreas passíveis a receber a rede canalizada de gás natural.

- **Critérios:**

Agrupamento dos parâmetros (subcritérios) em quatro sistemas de informação:

1. **Qualidade de Vida (QV):** agrupa parâmetros relacionados à existência de equipamentos sociais (escolas, hospitais e de lazer) e outras redes de infra-estruturas e seu reflexo no bem-estar da população e que indiretamente podem influenciar na implantação de uma rede não prioritária, como é o gás natural se comparada, por exemplo, ao saneamento básico.

2. **Planejamento Urbano (PU):** agrupa parâmetros relacionados aos planos diretores das cidades e que colaboram com a análise indicando concentrações por uso do solo, áreas com capacidade de sofisticação de usos gerando maior demanda por energia e incremento industrial, áreas já servidas pela rede de gás natural, mas com capacidade para adensamento de uso.

3. **Projeção de Consumo (PC):** agrupa parâmetros relacionados diretamente com a concentração populacional e renda familiar (ou poder de compra), e com a estratificação em domicílios e atividades econômicas, possibilitando a estimativa de consumo partindo apenas do número de unidades (sem considerar porte ou setor de atuação), até pesquisa amostral para determinação de volumes de conversão ao GN de outras energias como a elétrica, óleos e gás liquefeito.

4. **Obra Civil (OC):** agrupa parâmetros relacionados indiretamente ao custo da obra e aos problemas com interdição das vias para implantação dos dutos subterrâneos, tais como a distância entre a área servida e áreas por servir; extensões das ruas; incidência de tráfego veicular e; densidades construídas por tipo de uso do solo que indicam maior ou menor ramificação dos dutos.

- **Subcritérios:** corresponde ao desmembramento dos quatro sistemas de informações em vinte parâmetros, conforme Massara (2007):

• Sistema Qualidade de Vida:

- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); Atendimento por Redes Prioritárias (Atendimento por Abastecimento de Água – AAA e Atendimento por Coleta de Esgoto – ACE);

• Sistema Planejamento Urbano:

- Zoneamento (Z); Desenvolvimento Urbano (DU); Taxa de Urbanização (TU); Usos do Solo residencial, comercial,

prestação de serviços, industrial e agropecuário (USres, UScom, USServ, USind, USagro);

• Sistema Projeção de Consumo de Gás Natural:

- Renda Familiar (RF); Densidade Demográfica (DD); Estratificação Domiciliar (Eres); Estratificação de atividades econômicas nos setores comercial, prestação de serviços e industrial (Ecom, Eserv, Eind);

• Sistema Obra Civil:

- Distância do último ponto servido pela rede de GN (D); Extensão das vias a servir (E); e Incidência de vias de grande volume de tráfego veicular (T). É necessário ressaltar que para esses três parâmetros, a atribuição de pesos é feita de forma invertida, ou seja, quanto maior a grandeza, menor o peso, já que maiores extensões tornam mais onerosa a implantação da rede e menos atrativa do ponto de vista específico do custo da obra civil, bem como o tráfego veicular intenso torna mais difícil a implantação dos dutos, quando considera-se o transtorno oriundo da interdição de um terço do leito carroçável (mesmo quando utilizada a tecnologia não destrutiva que otimiza a obra civil).

Na fase seguinte são inseridos os participantes, que nesta utilização correspondem aos oito municípios escolhidos da Região Administrativa de Araçatuba.

Feito isso, a matriz de combinações está definida. A resolução dessa matriz (chamada matriz quadrática) resulta no autovetor de prioridades, o qual expressa as importâncias relativas de cada critério ou peso. Para esse cálculo, a matriz é elevada ao quadrado dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, normalizando os resultados (SAATY, 1980). Como resultado obtém-se um autovetor de prioridades para ordenação. A operação se repete até que a diferença entre o resultado normalizado da última operação seja muito próximo ao resultado da operação precedente. A modelagem para comparações paritárias é calculada na forma matricial, satisfazendo as relações:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} a) a_{ij} = \alpha; \\ b) a_{ji} = 1/\alpha; \\ c) a_{ii} = 1 \end{matrix}$$

Expressão (1): Algoritmo do método AHP.

Fonte: Saaty, 1980.

Sendo: a = comparação para a par entre critérios e, α = valor da intensidade (importância) do critério.

Para a determinação dos graus de influência foram elaborados dois tipos de determinação, que consideram a:

- Influência de todos os parâmetros simultaneamente.
- Influência por grupos de Sistemas de Informação.

3.3 Estudo de caso: A RAA

Na Região Administrativa de Araçatuba, Araçatuba é o mais desenvolvido de todos os municípios da região, tem na pecuária

um dos destaques de sua economia, concentrando o maior número de pecuaristas do Brasil. A agricultura também tem importância, especialmente na produção de tomate rasteiro, na fruticultura representada pela produção de abacaxi, goiaba e acerola, (UDAETA, 2007). É também de Araçatuba que sai boa parte do milho, arroz, soja, feijão e tomate que abastecem várias regiões do Estado.

A cidade abriga importantes indústrias alimentícias, metalúrgicas, de curtume e de aparelhos de precisão, além da concessionária de gás que serve o oeste do Estado de São Paulo. No âmbito rural se destaca pela produção de açúcar, álcool anidro e hidratado por usinas localizadas em seu município, que devem chegar a doze unidades, nos próximos cinco anos.

No âmbito comercial, a cidade recebe consumidores de várias cidades da região, principalmente de Guararapes, Birigui e Penápolis. Também a hidrovía Tietê-Paraná é um dos aspectos favoráveis de Araçatuba, pois, além de aproximá-la das relações comerciais com o MERCOSUL, é um fator de atração para investimentos no setor turístico e de transportes. A cidade está na rota do Gasoduto Bolívia-Brasil e já oferece gás natural como fonte de energia para indústrias, empresas e frotas de veículos. É cercada por rodovias que dão acesso a quatro estados brasileiros, possui também um aeroporto internacional e ferrovia privatizada que permite a ligação do porto de Santos à Bolívia e, de lá, ao Oceano Pacífico, pelo Chile (SEADE, 2006; UDAETA e KANAYAMA, 2004).

Birigui tem como atividade econômica predominante a indústria, representada pela produção de calçados, metalurgia, móveis e confecção, sendo o maior pólo de produção de calçados infantis do Brasil. As fábricas de Birigui ficam no centro da cidade, causando oscilações de energia em outros usos, além de ter uma forte característica sazonal de operação das fábricas e conseqüente variação do consumo de energia durante o ano (UDAETA, 2007).

Ilha Solteira é caracterizada pela pecuária extensiva e apenas em pequena parte pela cultura de cereais e algodão. Teve seu desenvolvimento impulsionado pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Carente de apoio por parte de centros maiores precisou desenvolver uma infra-estrutura mínima para a construção de alojamentos e vilas operárias. Até então, o povoado possuía uma rede urbana precária, ou quase inexistente, porque a ocupação da região foi marcada pela pecuária extensiva, pequenos latifúndios, baixa densidade populacional e grande distância dos centros mais significativos (SEADE, 2006). Hoje as principais atividades econômicas do município são, por ordem hierárquica, a energia elétrica, a pecuária e a agricultura. A tendência de desenvolvimento está voltada ainda para a Indústria e o Turismo (UDAETA, 2007).

Guararapes, que já foi distrito de Araçatuba (SEADE, 2006), mescla uma característica industrial e agropecuária. Possui indústrias de alimentos ligadas ao setor pecuário que é bastante difundido em seu território e com a instalação de uma usina de produção de álcool carburante, uma expansão da cultura de cana de açúcar. O comércio é pouco difundido na região.

A cidade de Andradina, também conhecida como a “terra do rei do Gado”, tem como atividade dominante a pecuária. Conta com terminal na Hidrovía Tietê-Paraná, que possibilita a interligação com outras regiões do Estado, o sul de Minas Gerais e o Paraná. Assim como o Terminal Hidroviário, o

Terminal Ferroviário da Noroeste e o Aeroporto Municipal oferecem acesso alternativo ao município e região (UDAETA, 2007).

Pereira Barreto, que já foi distrito de Penápolis, é uma estância turística conhecida por ter o segundo maior canal artificial do mundo. Sua principal atividade é a agropecuária com destaque para a criação de gado de corte. Na agricultura, destaca-se na produção de milho, laranja e melão. Em virtude da construção da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos e do Canal de Pereira Barreto formou-se ao redor da cidade um enorme lago de água doce. A cidade então se transformou numa ilha, o que provocou uma enorme mudança em sua economia e paisagem. O turismo e a pesca esportiva passaram, a partir de então, a integrar a gama de atividades econômicas do município e, com isso, houve grande investimento em restaurantes e pousadas (SEADE, 2006).

Penápolis, que já foi distrito de Bauru (SEADE, 2006), tem como produção agrícola alta concentração da cultura de cana-de-açúcar. As demais culturas estão distribuídas entre o milho, tomate, arroz, soja e algodão. Na lavoura permanente destacam-se banana, borracha, café e coco. A pecuária também tem grande importância no município. A produção industrial está diversificada entre açúcar e álcool, calçados, couros, laticínios, embalagens, implementos agrícolas e irrigação, predominando empresas familiares. O comércio, embora diversificado, não é criativo e pouco se utiliza dos instrumentos de marketing disponíveis. O setor de serviços tem se ampliado consideravelmente, com escolas de informática e idiomas.

Tabela 2. Atribuição da escala de priorização ao estudo de caso.

Municípios	Andradina	Araçatuba	Birigui	Guararapes	Ilha Solteira	Mirandópolis	Penápolis	Pereira Barreto
Parâmetros	Atribuição da Escala							
IDH	1	9	7	3	9	1	3	3
AAA	1	3	5	7	9	7	7	5
ACE	1	9	9	9	9	5	9	9
USres	1	3	3	5	5	9	9	3
Uscom	5	9	5	3	3	1	5	3
Usserv	5	7	7	3	9	1	5	7
Usind	3	9	3	3	1	3	3	1
Usagro	9	5	5	5	5	1	5	7
Z	7	9	7	5	5	5	7	5
DU	7	9	7	7	7	7	7	7
TU	3	9	9	5	9	1	7	5
DD	1	7	9	1	1	1	3	1
RF	3	9	5	1	5	1	5	1
Eres	3	9	5	1	1	1	3	1
Ecom	3	9	5	1	1	1	3	1
Eserv	1	9	7	1	1	1	3	1
Eind	1	7	9	1	1	1	3	1
D	5	7	9	9	1	5	3	7
E	1	1	1	3	9	5	7	7
T	3	3	1	9	7	5	1	9

Elaborado por Massara (2007) a partir de Udaeta (2007); SEADE (2006) e IBGE (2007).

Todos os municípios, com exceção da Araçatuba, têm predominância residencial horizontal e pequena concentração de comércio e serviços. Também não possuem rede canalizada de gás natural. Mesmo Araçatuba, que possui rede pontual em certa porção do município, foi considerada neste estudo como caso de expansão e analisada em conjunto com as demais cidades.

Mirandópolis (município com menor disponibilidade de informação), que já foi distrito de Valparaíso, sofreu grande influência da colônia japonesa. Hoje concentra sua atividade em agricultura, com ínfima participação industrial. O comércio e a prestação de serviços também são pouco difundidos na cidade (SEADE, 2006).

A Tabela 2 mostra a atribuição de pesos segundo a escala de priorização de Saaty (1980) para os oito municípios selecionados em função dos vinte parâmetros descritos no item 3.2.

No item seguinte os pesos atribuídos serão inseridos no Programa *Decision Lens* (SAATY, 2006), que permitirá a definição do grau de influência de cada parâmetro como auxiliar à decisão de implantação da rede canalizada de gás natural nos oito municípios.

4 – RESULTADOS

Neste item será demonstrada a análise feita por meio do método de análise hierárquica, considerando duas diferentes concepções. A primeira de forma global, com a análise de todos os parâmetros simultaneamente e a segunda, por meio do agrupamento nos quatro sistemas de informação descritos anteriormente.

4.1 Influência de todos os parâmetros simultaneamente

A Figura 1 apresenta a porcentagem de influência de cada parâmetro segundo os pesos atribuídos e a sua comparação par a par. Na região o atendimento por redes prioritárias (abastecimento de água e coleta de esgotos) aparece com diferentes porcentagens de contribuição, com grande diferença entre o atendimento por coleta de esgotos (ACE=13,8%) e o abastecimento de água (AAA=5,4%). Conforme a atribuição de pesos (Tabela 2) pode-se verificar que a coleta de esgoto é mais difundida do que o abastecimento de água (IBGE, 2007). Tal fato, em geral, não acontece na região metropolitana de São Paulo, aonde historicamente o abastecimento de água chega antes que a coleta de esgoto.

O desenvolvimento urbano aparece com o segundo melhor índice (DU=12,3%), apontando a importância das perspectivas futuras de sofisticação do uso do solo atual com o desenvolvimento do mercado imobiliário voltado à prestação de serviços e, em alguns dos municípios (como Araçatuba, Birigui e Penápolis), o incremento residencial vertical. A taxa de urbanização (TU=8,4%) vem a seguir, evidenciando que a relação entre o urbano e o rural é expressa pelo pequeno índice que traduz o uso agropecuário, embora seja de conhecimento que a discussão imposta pelos novos Planos Diretores deve revisar o conceito da faixa intermediária entre as duas zonas, o que deve expandir a característica rural e seu

tratamento nas atualizações dos planos municipais (SEADE, 2006). Também o zoneamento (Z=8,3%), que representa a lei imposta pelos municípios à utilização do solo, tem destaque nesta classificação de influência, fato que se deve à existência de distritos industriais em quase todos os oito municípios selecionados, traduzindo a diversidade de atividades possíveis na região e que diretamente induzem ao gasto de energia (que pode vir a ser o gás canalizado).

Em seguida são agrupados diferentes parâmetros de mediana influência na tomada de decisão. A distância da área a servir daquela que já possui o gás canalizado (D=6%), já que as cidades estão distantes do GASBOL de forma quase equilibrada (algumas já com gás pontual instalado, como Araçatuba), e os usos do solo voltados à prestação de serviços e a agropecuária (respectivamente USserv=5 e USagro=4,7%), usos estes de maior constância (em número de quarteirões) nos oito municípios estudados. Também é listada a incidência de vias de grande volume de tráfego (T=4,4%), considerado devido à necessidade de interdição das vias quando da inserção dos dutos subterrâneos, fator que difere em todas as cidades devido à sua relação direta com sua importância econômica.

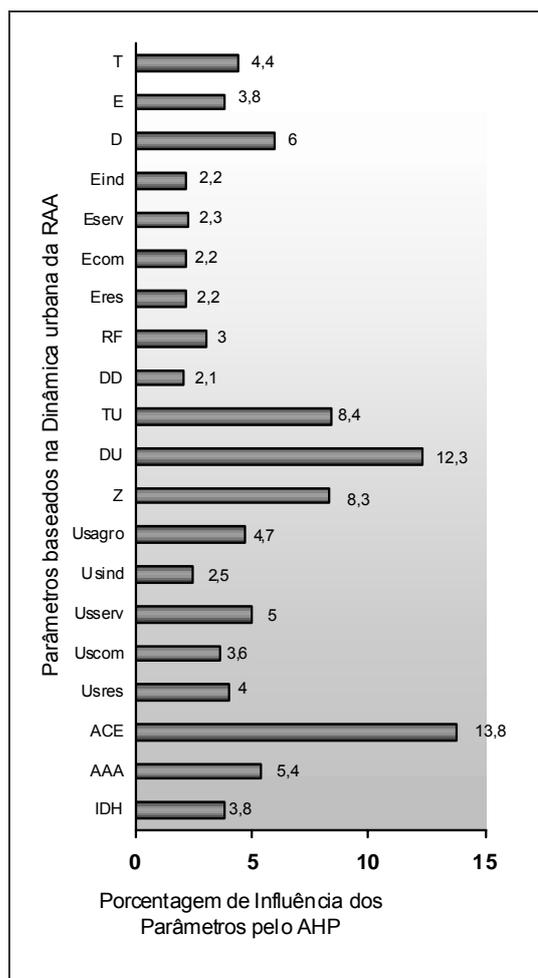


Figura 1. Influência dos parâmetros que interferem na expansão da rede de gás natural na RAA. Elaborado por Massara (2007) a partir de Saaty (2006).

Um outro grupo de parâmetros é determinado por influências no intervalo de 3 a 4%, oriundas da atribuição de pesos variáveis, porém com predominância de atribuições de valor 1 e 3. Entre os parâmetros deste grupo está a extensão das vias a servir ($E=3,8\%$), que difere muito entre os municípios. Da mesma forma, podem ser considerados os usos do solo residencial e comercial (respectivamente com $USres=4\%$ e $UScom=3,6\%$), determinados por valores variáveis de quadras com predominância dessas ocupações em todas as cidades.

O Índice de Desenvolvimento Humano ($IDH=3,8\%$), que é usado neste estudo como um fator que indiretamente pode atrair uma rede não prioritária como é o caso do gás natural, também oscila entre os pesos 1 e 9, de forma a não enfatizar a relevância desse fator. Por último, a renda familiar em salários mínimos ($RF=3\%$), que também representa grande variação de concentração, com predominância de atribuições de peso 1 e um único 9 (Araçatuba).

O último agrupamento é formado por parâmetros de pequena importância na decisão de onde colocar o gás canalizado. O uso industrial ($USind=2,5\%$) está neste item, já que, embora tenha grande importância enquanto distrito industrial, tem pequena importância em termos de número de quarteirões com essa ocupação. Pode-se dizer que os parâmetros que tratam do número de unidades (estratificação) pouco interferem na análise, oscilando sempre com grande variação conforme o município. Assim acontece para a densidade demográfica ($DD=2,1\%$), que apresenta influência similar a todas as estratificações em número de unidades (residencial, comercial e industrial com $Eres=Ecom=Eind=2,2\%$ e serviços com $Eserv=2,3\%$), com predominância de atribuições de valor 1 gerando, assim, os fatores de menor contribuição.

4.2 Influência por grupos de sistema de informação

Considerando-se os mesmos parâmetros, porém com a introdução do agrupamento em critérios (os quatro sistemas de informação definidos no item 3.2), foi elaborada a árvore de hierarquia, mostrada na Figura 2.

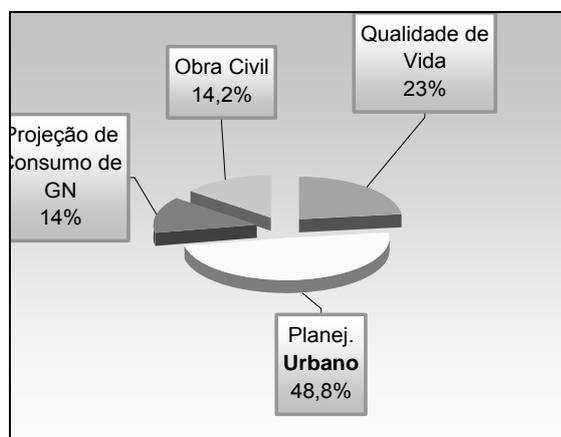


Figura 2. Graus de Influência (em %) dos parâmetros que interferem na expansão da rede de gás natural na RAA por Sistemas de Informação. Elaborado por Massara (2007) a partir de Saaty (2006).

Do resultado pode-se concluir que os fatores associados ao planejamento urbano têm o maior destaque na indicação de onde expandir a rede, segundo o conceito de “Dinâmica Urbana”. Os parâmetros ligados à qualidade de vida costumam interessar pouco a concessionária, mas considera-se que, do ponto de vista da cidade sustentável, são de suma importância, já que não se justifica uma área ter rede de gás, mas não ter rede de saneamento ou hospitais e escolas. Os parâmetros vinculados à projeção de consumo destacam apenas a renda familiar e com ela, a possibilidade de consumir energia. O número de domicílios e estabelecimentos produtivos, bem como a densidade demográfica só tem destaque para a cidade de Araçatuba, bem como o número de indústrias, marcante somente em Birigui. Por fim, os fatores ligados à obra civil têm contribuição linear e mediana, não representando relevância na indução do processo de implantação da infraestrutura de distribuição de gás.

De acordo com o perfil dos oito municípios expresso pelos 20 parâmetros da Figura 1, as cidades mais propícias à expansão da rede canalizada de gás natural são aquelas com maior característica urbana marcadas por uso residencial com tendência à verticalização, maior número de distritos de cunho industrial, menor atividade agropecuária (já que para usos rurais e a travessia de longos percursos sem demanda, o uso do GN canalizado não é a melhor solução) e maior proximidade do trajeto do GASBOL. Em ordem decrescente são: Araçatuba, Birigui, Penápolis, Ilha Solteira, Guararapes, Pereira Barreto, Mirandópolis e Andradina.

5 – CONCLUSÕES

As diferenças entre a região de estudo e áreas próximas aos centros urbanos são várias, a começar pelas pequenas densidades demográficas dos municípios do oeste paulista bem como pelo baixo poder aquisitivo predominante. A introdução do uso rural, que destaca parâmetros que em áreas metropolitanas são em geral de baixa influência, como a taxa de urbanização, o desenvolvimento urbano e zoneamento, ampliando assim o horizonte de debate sobre as possibilidades de expansão do uso de gás natural enquanto rede canalizada fora de áreas metropolitanas também contribui.

Os graus de influência, ou seja, as porcentagens demonstradas nas Figuras 1 e 2 são diretamente relacionadas com a atribuição de pesos apresentada na Tabela 2. Em resumo, quanto maior é a incidência de pesos de maior valor em um parâmetro, maior será sua contribuição no grau de influência (e assim também o inverso).

A primeira análise (Figura 1) diz respeito ao estudo dos parâmetros sem a divisão em sistemas de informação, o que permite que diferentes âmbitos de tomada de decisão sejam considerados da mesma forma. Assim, parâmetros vinculados à qualidade de vida podem mostrar maior importância do que aqueles voltados à projeção de consumo que costumeiramente são os primeiros a se considerar do ponto de vista do lucro na implantação do serviço.

A segunda análise (Figura 2) considera o agrupamento dos parâmetros por sistemas de informação, o que ressalta na modelagem definida por Massara (2007), que, além do custo da obra e do potencial de consumo, o desenvolvimento atual e futuro das cidades, baseado em seus planos diretores e na existência de infra-estruturas prioritárias, podem também ter importância na tomada de decisão quando a análise é global e visa a sustentabilidade da implantação da rede como um todo e não somente do ponto de vista da concessionária. Por exemplo, a existência de rede de coleta de esgotos apresenta 13,8% de influência enquanto que o desenvolvimento urbano apresenta 12,3%. O que definirá qual dos dois parâmetros tem maior importância como ferramenta auxiliar na tomada de decisão depende da interpretação do usuário da modelagem. Do ponto de vista da concessionária, em geral, sempre há um maior interesse nos componentes dos sistemas que tratam da projeção de consumo de gás natural e do custo da obra civil, seguidos por parâmetros de planejamento urbano que traduzam as possibilidades de consumo por meio do incremento do zoneamento e do mercado imobiliário da região em estudo.

Considera-se que a inclusão de parâmetros de qualidade de vida, não associados diretamente aos interesses da concessionária, tem papel importante no processo decisório sob o enfoque das políticas municipais e da melhoria nos serviços urbanos, destacando que cada rede de infraestrutura deve ter papel importante nas atividades econômicas, mas também na sociedade como um todo e nesse ponto baseia-se o diferencial proposto na metodologia aqui apresentada.

Em resumo, a expansão de uso do gás natural enquanto rede de distribuição tem, dependendo do enfoque (político, social, econômico), diferentes justificativas para a sua inserção e a demonstração dessa complexidade é o objetivo desta metodologia enquanto ferramenta auxiliar da análise de locais passíveis em receber a rede canalizada de gás natural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP no Projeto 03/06441-7: Novos Instrumentos de Planejamento Energético Regional Visando o Desenvolvimento Sustentável, que permitiu a utilização do Programa Decision Lens.

REFERÊNCIAS

FORRESTER, J. W. **Urban Dynamics**. Cambridge, M.I.T. Press, 1969, 285 p.
GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M. **Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para o Desenvolvimento Limpo**. São Paulo, EDUSP, 2004.
IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 mai. 2007.
MASSARA, V. M. **A Dinâmica Urbana na Otimização da Infra-Estrutura para o Gás Natural**. Tese (Doutorado em Energia). Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007, 250 p.

SAATY, T. **Decision Lens- Manual de Uso**. Londres, 2006, 113 p.
SAATY, T. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. Londres, McGraw-Hill, 1980, 320 p.
SAATY, T.; VARGAS, L. G. **The Logic of Priorities, Applications in Business, Energy, Healthy, Transportation**. Boston, Kluwer-Nijhoff, 1982, 237p.
SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Pesquisa Municipal Unificada**. São Paulo, SEADE, 2006, 43 p.
UDAETA, M. E. M. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR para o Setor Elétrico (Pensando o Desenvolvimento Sustentável)**. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997, 384 p.
UDAETA, M. E. M. **Pesquisa de Tendências Tecnológicas do Setor Petróleo e Gás. Programa de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás**. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
UDAETA, M. E. M.; KANAYAMA, P. H. **Relatório Final - Resultados do Projeto: Novos Instrumentos de Planejamento Energético Regional Visando o Desenvolvimento Sustentável – Fase I**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004, 20 p.
UDAETA, M. E. M. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos na USP**. Disponível em: <<http://www.seeds.usp.br/pir/>>. Acesso em: 28 mai. 2007.

NOTA

A sigla “PIR” diz respeito ao projeto que é desenvolvido desde 2004 no Departamento de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica da USP intitulado: “Planejamento Integrado de Recursos Energéticos – Gestão de Oferta e Demanda”, que realiza estudos com financiamento concedido pela FAPESP, visando uma análise que permita as empresas energéticas comparar o custo efetivo de todos os recursos alternativos (do lado da oferta – GLO e do lado da demanda - GLD), levando em conta características financeiras, ambientais e de confiabilidade de vários tipos de energia, entre elas o potencial de demanda do gás natural canalizado.