

MÉTODOS ANALÍTICOS PARA TOMADA DE DECISÃO NA TRANSPOSIÇÃO DE OBSTÁCULOS POR FAIXAS DE DUTOS

Fabio Vinicius Fontoura Gil

Fabio Vinicius Fontoura Gil - fabio@esteio.com.br – é Agrimensor (Unicamp) e Engenheiro Civil (PUCPR). Atua nas áreas de Desenvolvimento Urbano, Projetos de Engenharia e Recursos Energéticos



Dutovias no mundo

Dutovias no mundo



Fonte : *Petróleo Brasileiro SA / 2010*

Brasil x Argentina – área territorial 2,26 vezes maior / malha dutoviária 1,39 vezes menor

Brasil x EUA – área territorial 1,1 vezes maior / malha dutoviária 20,95 vezes menor

Transporte de cargas no Brasil

Transporte de cargas no Brasil

■ Atual ■ 2020

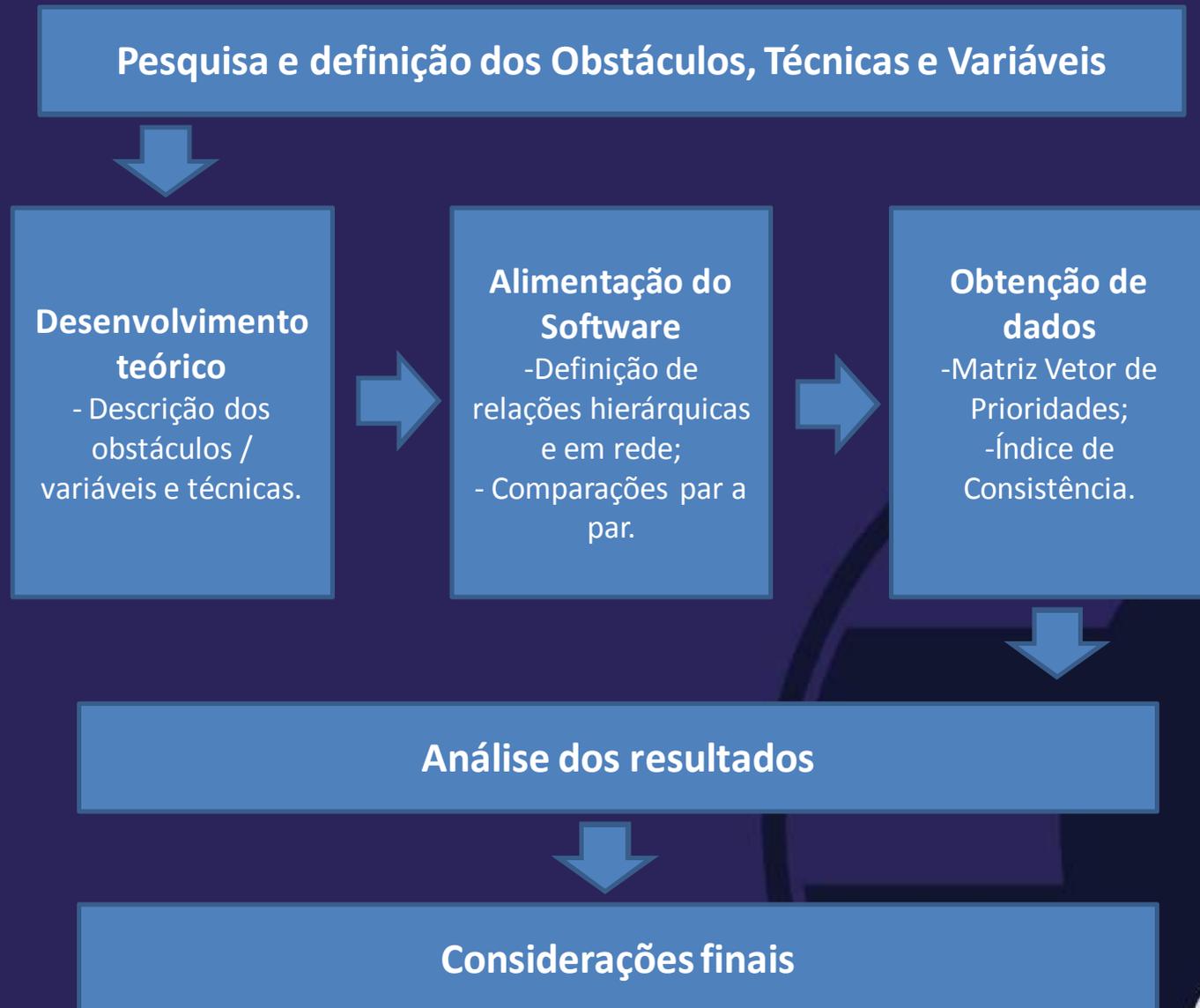


Fonte : Ministério dos Transportes / 2010

Objetivo

Através de matrizes de decisão, definir as melhores técnicas para transposição de obstáculos por faixas de dutos, considerando variáveis e técnicas pré-estabelecidas

Metodologia



Obstáculos a serem transpostos

Áreas Alagadas e/ou Suscetíveis à Inundação



Fonte : Google Earth / 2010

Rios / Canais / Lagos / Lagoas



Fonte : Internet / 2010

Vias de Acesso



Fonte : Google Earth / 2010

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação

Técnica : Jaqueta de concreto armado



Fonte : O Autor / 2010

Vantagem : facilita
construtibilidade

Desvantagem : não
sustentável

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação

Técnica : Sela



Vantagem : não observada

Desvantagem : não sustentável / rigidez constante

Fonte : *Petróleo Brasileiro SA / 2010*

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação

Técnica : Tirante



Fonte : O Autor/ 2010

Vantagem : não observada

Desvantagem : riscos de instabilidade

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação

Técnica : Geotexteis (Pipesak)



Fonte : www.pipesak.com / 2010

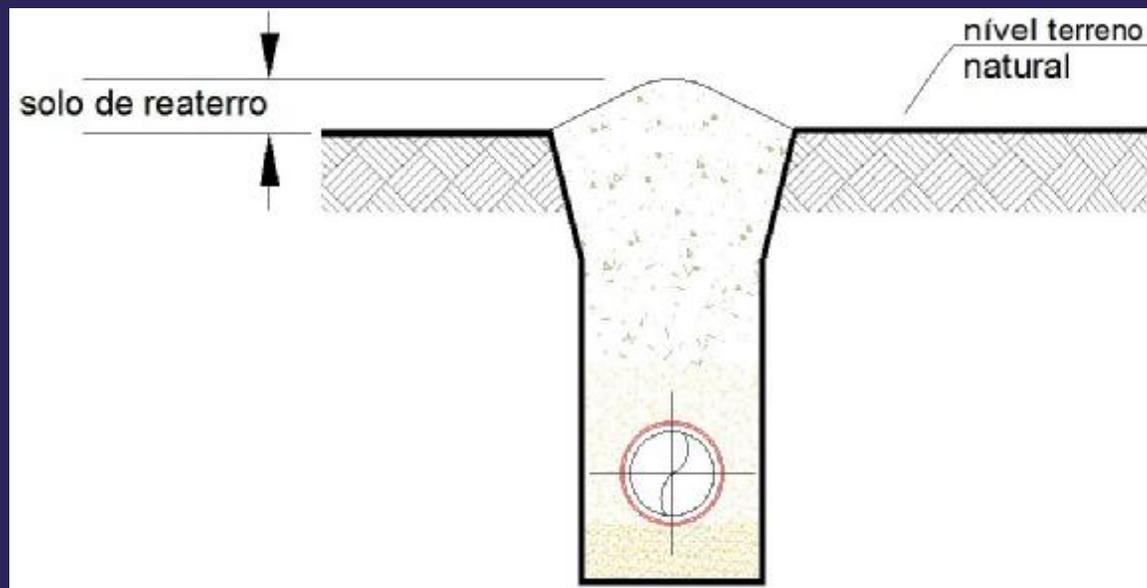
Vantagem :
sustentabilidade

Desvantagem :
dificuldade
construtiva

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação

Técnica : Solo de reaterro



Fonte : O Autor / 2010

Vantagem : não observada

Desvantagem : riscos de instabilidade

Variáveis para áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação

Variáveis relevantes que interferem na definição das técnicas :

Construtibilidade

Estabilidade à
flutuação
negativa

Sustentabilidade

Tipo de Área

Manutenção

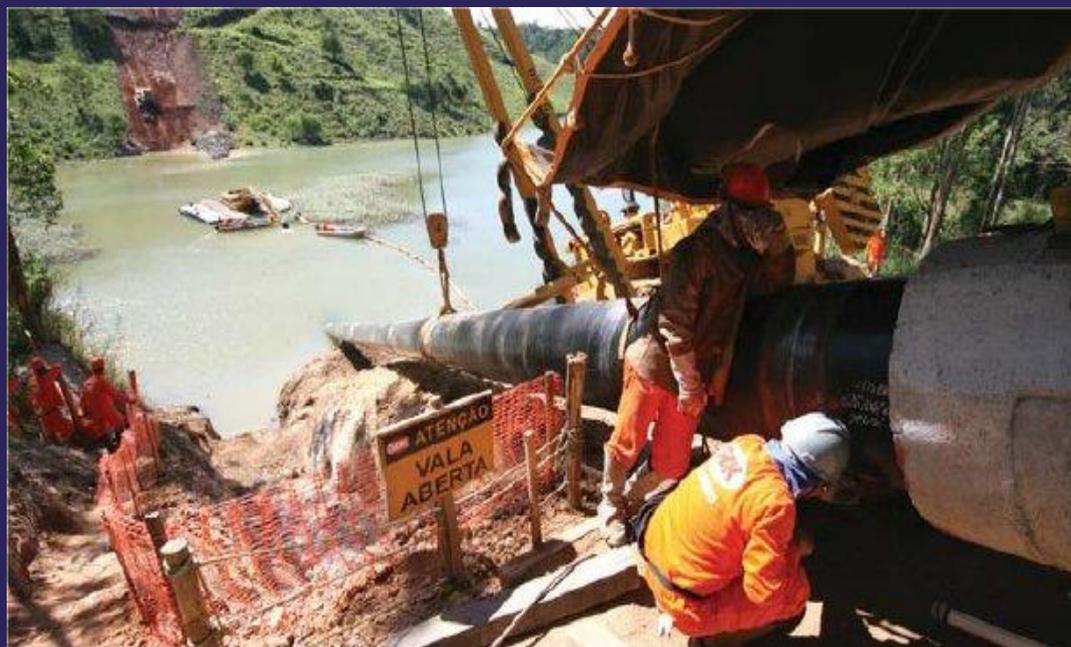
Operacionalidade

Proximidade com
grandes centros

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Rios / canais / lagos / lagoas

Técnica : Travessia subterrânea



Fonte: GDK Engenharia / 2010

Vantagem : Custo

Desvantagem :
Limitada a regimes
laminares

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Rios / canais / lagos / lagoas

Técnica : Travessia por furo direcional



Fonte : Petróleo Brasileiro SA / 2010

Vantagem :
sustentabilidade

Desvantagem : custo

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Rios / canais / lagos / lagoas

Técnica : Travessia aérea



Fonte : Petróleo Brasileiro SA / 2010

Vantagem : Indepe de
solo, extensão, regime
escoamento

Desvantagem :
construtibilidade /
vandalismo / intempéries

Variáveis para rios / canais / lagos / lagoas

Variáveis relevantes que interferem na definição das técnicas :

Construtibilidade

Custo

Regime de
Escoamento

Sustentabilidade

Tipo de Área

Operacionalidade

Manutenção

Extensão da
Travessia

Formação do Leito

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Vias de acesso

Técnica : Vala



Fonte : *Petróleo Brasileiro SA / 2010*

Vantagem : custo

Desvantagem : danos à
vias pavimentadas / fluxo
veículos

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Vias de acesso

Técnica : Pipe Jacking With Auger Boring (“Boring”)



Vantagem : não
interferência fluxo veículos

Desvantagem : não
observadas

Fonte : Petróleo Brasileiro SA / 2010

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Vias de acesso

Técnica : Percussive Moling (“Cravação”)



Vantagem : não
interferência fluxo veículos

Desvantagem : não
observadas

Fonte : Petróleo Brasileiro SA / 2010

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Vias de acesso

Técnica : Túnel



Fonte : Liderroll / 2010

Vantagem : não observada

Desvantagem : custo

Técnicas aplicadas à transposição de obstáculos

Obstáculo : Vias de acesso

Técnica : Cruzamento por furo direcional



Fonte : Engebras / 2010

Vantagem :
sustentabilidade

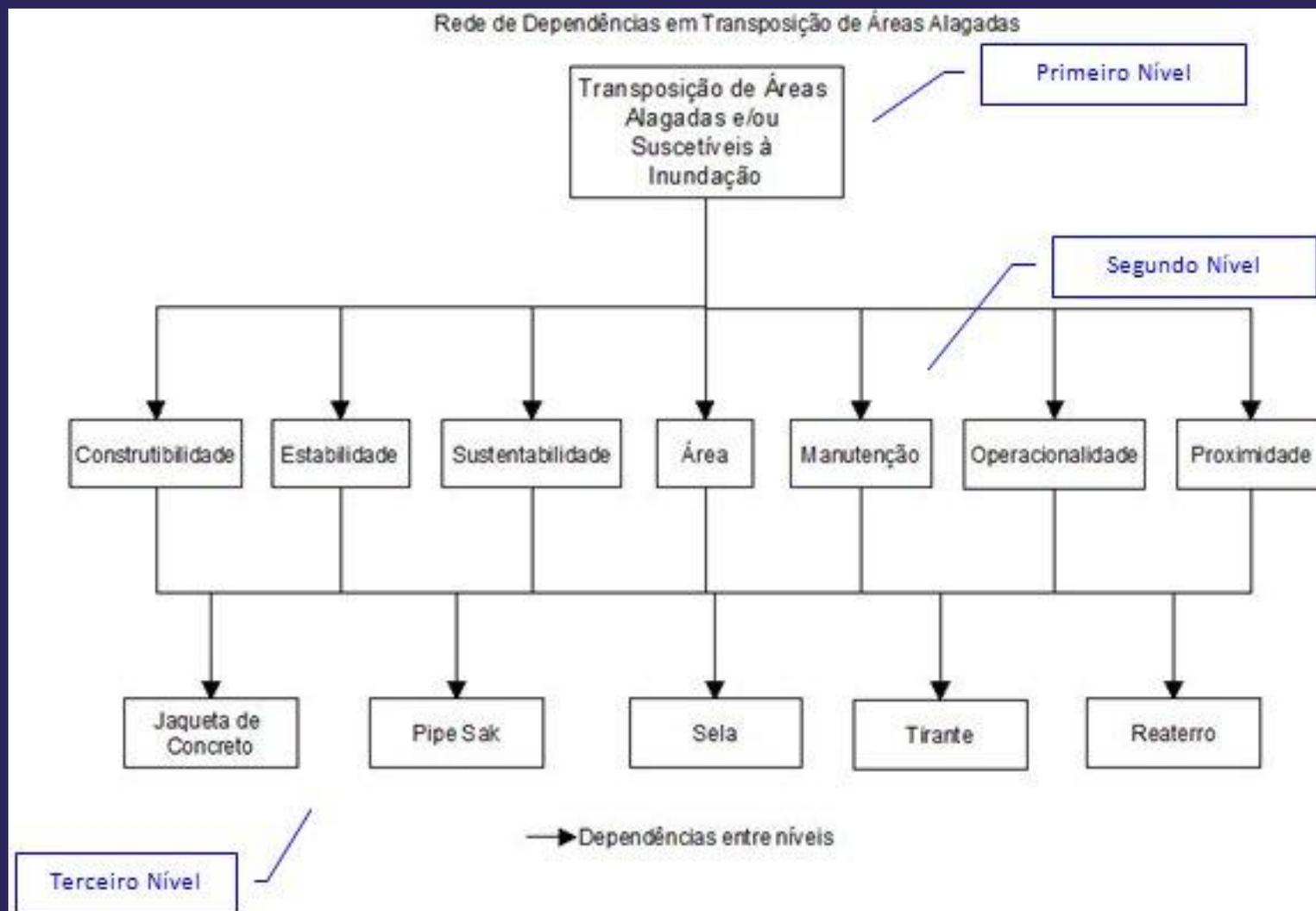
Desvantagem : custo

Métodos analíticos para tomada de decisão em cenários complexos

AHP – Analytic Hierarquic Process – Processo Analítico Hierárquico – consiste na divisão de problemas complexos que são simplificados por meio de divisão em níveis hierárquicos onde as variáveis de um nível se relacionam com as variáveis do próximo nível.

ANP – Analytic Network Process – Processo Analítico em Rede – consiste na divisão de problemas complexos que são simplificados por meio de divisão em níveis hierárquicos onde as variáveis de um nível se relacionam entre si e também com as variáveis do próximo nível.

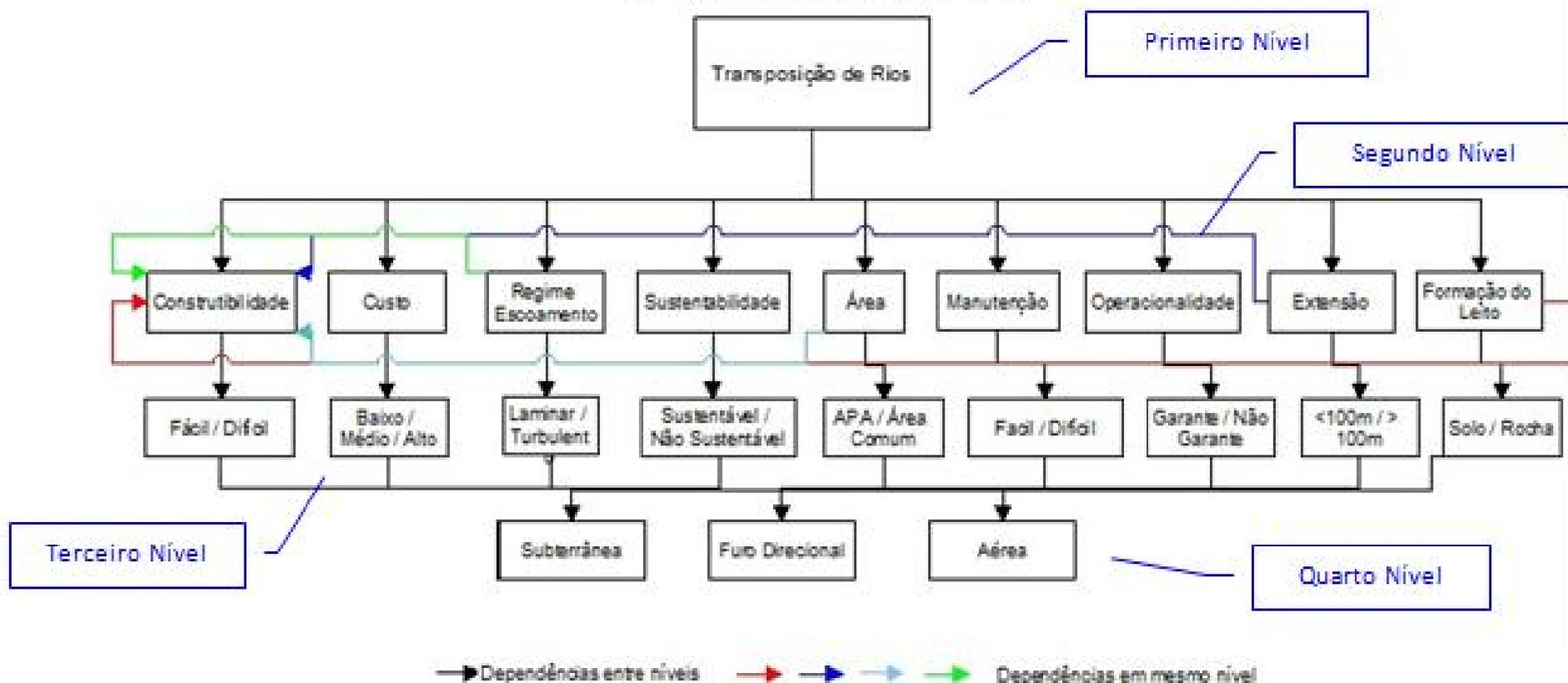
AHP – Analytic Hierarquic Process



Fonte: O Autor / 2010

ANP – Analytic Network Process

Rede de Dependências em Transposição de Rios



Fonte: O Autor / 2010

Fundamentação dos métodos

Escala fundamental de Saaty

Comparação “par a par”

Definição de prioridades relativas

Índice de consistência

Escala Fundamental

ESCALA FUNDAMENTAL OU ESCALA DE COMPARAÇÃO		
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática
9	Importância Absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança
2,4,6,8	valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Colin / 2009

Comparação par a par

Aplicando a comparação par a par para a escolha da técnica para transposição de rios em relação a variável Custo, tendo :

- *Travessia Subterrânea : R\$ 96,12 / metro;*
- *Travessia Aérea : R\$ 112,14 / metro;*
- *Travessia por Furo Direcional : R\$ 160,20 / metro.*

Escala de Comparação de Técnicas

Índice	O primeiro fator é ao segundo fator
1	Igualmente preferível
2	Igualmente a moderadamente preferível
3	Moderadamente preferível
4	Moderadamente a fortemente preferível
5	Fortemente preferível
6	Fortemente a muito fortemente preferível
7	Muito fortemente preferível
8	Muito fortemente a extremamente preferível
9	Extremamente preferível

COMPARAÇÃO ENTRE OS PARES DE TÉCNICAS

	Subterrânea	Aérea	Furo
Subterrânea	1,00	0,50	0,17
Aérea	2,00	1,00	0,25
Furo	6,00	4,00	1,00
Σ	9,00	5,50	1,42

Prioridades Relativas

Normalização da matriz através da equação : $w_i (C_j) = C_{ij} / \sum C_{ij}$, com $\sum C_{ij}$ variando de 1 a m

Vetor de prioridades : $w (C_j) = \sum w_i (C_j) / m$, com $\sum w_i (C_j)$ variando de 1 a m

COMPARAÇÃO ENTRE OS PARES DE TÉCNICAS

	Subterrânea	Aérea	Furo
Subterrânea	1,00	0,50	0,17
Aérea	2,00	1,00	0,25
Furo	6,00	4,00	1,00
Σ	9,00	5,50	1,42

MATRIZ NORMALIZADA ENTRE OS PARES DE TÉCNICAS

	Subterrânea	Aérea	Furo	Vetor de Prioridades
Subterrânea	0,1111	0,0909	0,1176	0,1066
Aérea	0,2222	0,1818	0,1765	0,1935
Furo	0,6667	0,7273	0,7059	0,6999

Quociente de Consistência

Estimativa Quociente de Consistência : $w_i (C_j) = C_{ij} / \sum C_{ij}$, com $\sum C_{ij}$ variando de 1 a m

MATRIZ INDICADORES PARES DE TÉCNICA x VETOR DE PRIORIDADES

	Subterrânea	Aérea	Furo	Vetor de Prioridades	Estimativa Quociente de Consistência
Subterrânea	1,00	0,50	0,17	0,1066	0,3200
Aérea	2,00	1,00	0,25	0,1935	0,5816
Furo	6,00	4,00	1,00	0,6999	2,1133

Índice de Consistência

MATRIZ INDICADORES PARES DE TÉCNICA x VETOR DE PRIORIDADES

Vetor de Prioridades		Estimativa Quociente de Consistência	
0,1066		0,3200	3,0028
0,1935	/	0,5816	3,0056
0,6999		2,1133	3,0192
		Índice de Consistência máximo =>	3,0092

Sendo $n = 3$ (matriz 3 linhas x 3 colunas) temos, conforme tabela 2, $ICA = 0,52$:

		ICAs em função da ordem da matriz								
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Pela equação $\Rightarrow IC = [(I_{\text{máx}} - n) / (n-1)]$, temos $IC = [(3,0092-3) / (3-1)] \Rightarrow 0,0046 < 0,1$ logo os valores são aceitáveis.

Repetição da metodologia

Para todo par comparativo repete-se o procedimento descrito.

Utilização do software *SuperDecisions* para o cálculo matricial, desenvolvido pelo Professor Dr Thomas Saaty, Universidade de Pittsburgh

Utilizado por entidades como :

- *Arms Control and Disarmament Agency in Washington;*
- *Universidade de Yale;*
- *IME – Instituto Militar de Engenharia*
- *UNESP – Universidade do Estado de São Paulo*
- *Empresas Aeroespaciais*

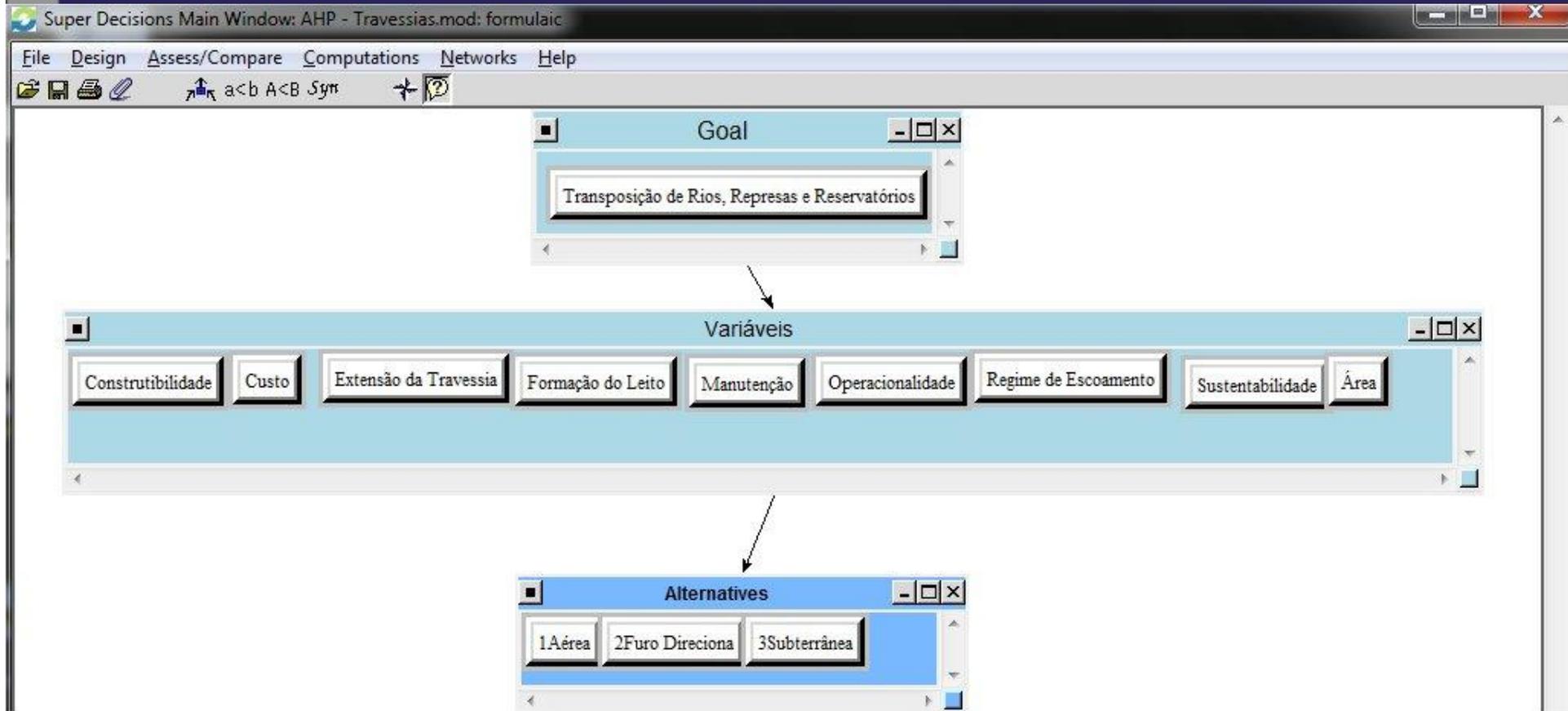


SUPER DECISIONS

Software for Decision Making with Dependence and Feedback

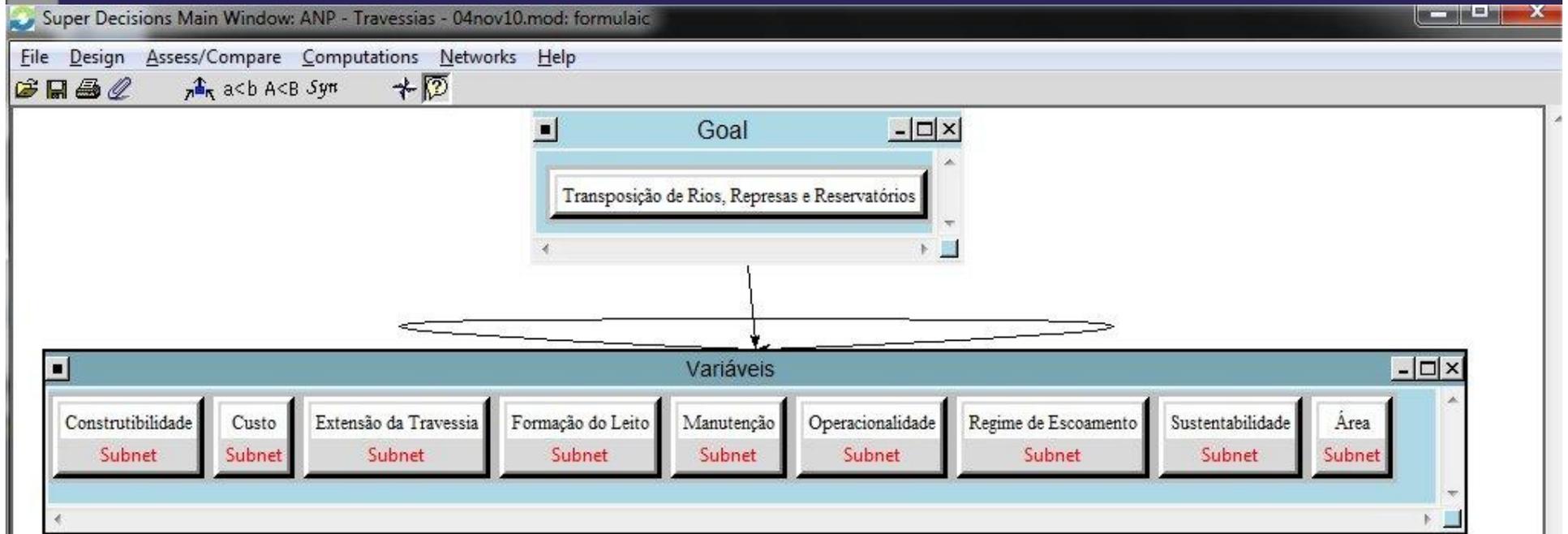
Fonte : www.superdecisions.com / 2010

Software

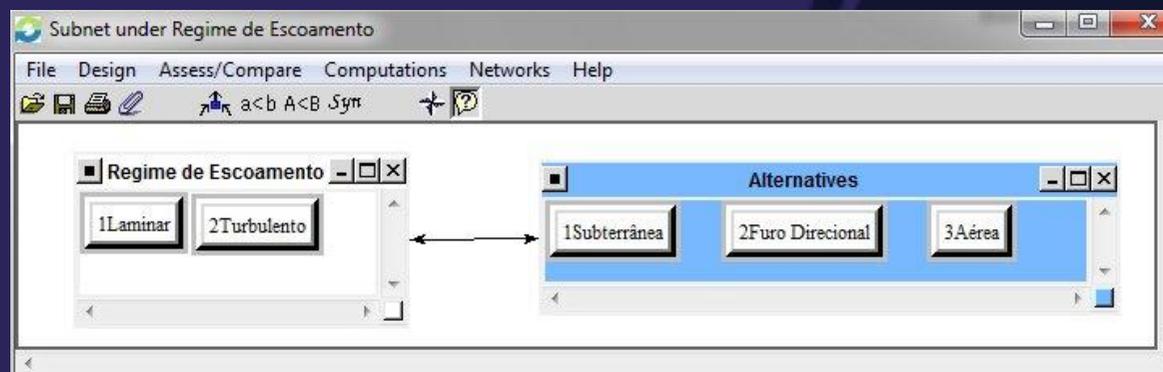


Fonte : O Autor / 2010

Software



Fonte : O Autor / 2010



Fonte : O Autor / 2010

Software

Comparisons wrt "Transposição de Rios, Represas e Reservatórios" node in "Variáveis" cluster

File Computations Misc Help

Graphic Verbal Matrix Questionnaire

Comparisons wrt "Transposição de Rios, Represas e Reservatórios" node in "Variáveis" cluster
 Construtibilidade is equally as important as **Custo**

1.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Custo
2.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Extensão da Travessia
3.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Formação do Leito
4.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Manutenção
5.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Operacionalidade
6.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Regime de Escoamento
7.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Sustentabilidade
8.	Construtibilidade	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Área
9.	Custo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Extensão da Travessia
10.	Custo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Formação do Leito

Fonte: O Autor / 2010

Software

Comparisons wrt "Transposição de Rios, Represas e Reservatórios" node in "Variá...

File Computations Misc Help

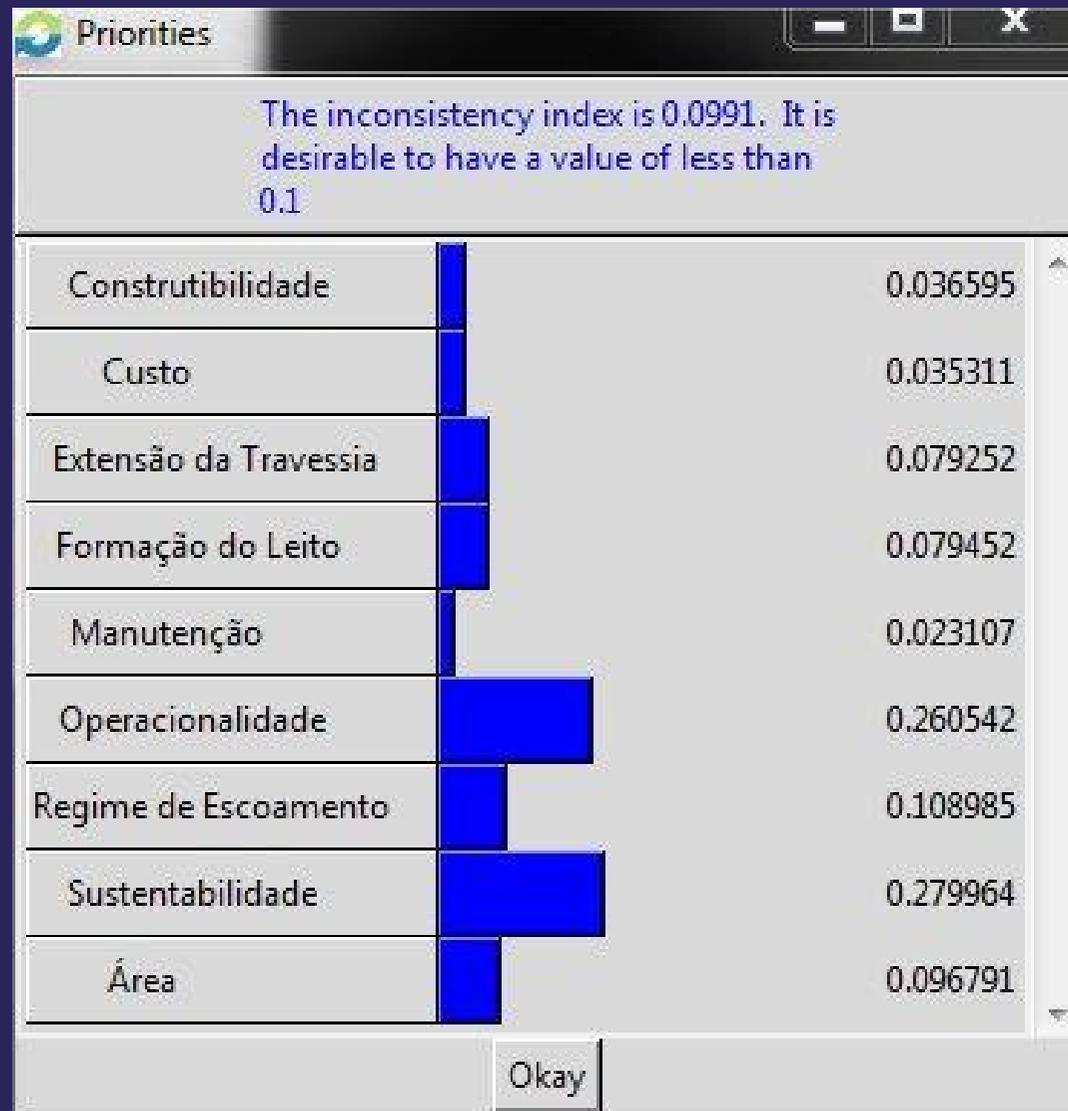
Graphic Verbal Matrix Questionnaire

Comparisons wrt "Transposição de Rios, Represas e Reservatórios" node in "Variáveis" cluster
 Extensão da Travessia is 5.0 times more important than Construtibilidade

Inconsistency	Custo	Extensão da Travessia	Formação do Leito	Manutenção	Operacionalidade
Construtibilidade	← 1.0845	↑ 5.0	↑ 5.0	← 5.0	↑ 5.0
Custo		↑ 3.0	← 1.0	← 1.5282	↑ 5.0
Extensão da Travessia			← 1.0	← 5.0	↑ 5.0
Formação do Leito				← 5.0	↑ 5.0
Manutenção					↑ 5.0

Fonte : O Autor / 2010

Software



Fonte : O Autor / 2010

Demonstrativo de comparações par a par - AHP

AHP - Áreas Alagadas e/ou Suscetíveis à Inundação		Comparação par a par	Ordem	Total de Matrizes
Variáveis x Técnicas	Obstáculo x Variáveis	1	7 x 7	4
	Construtibilidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Estabilidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Manutenção x Técnicas	1	5 x 5	4
	Operacionalidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Proximidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Sustentabilidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Área x Técnicas	1	5 x 5	4
				32
AHP Cruzamentos		Matrizes geradas	Ordem	Total de Matrizes
Variáveis x Técnicas	Obstáculo x Variáveis	1	6 x 6	4
	Construtibilidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Custo x Técnicas	1	5 x 5	4
	Manutenção x Técnicas	1	5 x 5	4
	Operacionalidade x Técnicas	1	5 x 5	4
	Pavimentação x Técnicas	1	5 x 5	4
	Solo x Técnicas	1	5 x 5	4
AHP Travessias		Matrizes geradas	Ordem	Total de Matrizes
Variáveis x Técnicas	Obstáculo x Variáveis	1	9 x 9	4
	Construtibilidade x Técnicas	1	3 x 3	4
	Custo x Técnicas	1	3 x 3	4
	Manutenção x Técnicas	1	3 x 3	4
	Operacionalidade x Técnicas	1	3 x 3	4
	Extensão Travessia x Técnicas	1	3 x 3	4
	Formação do Leito x Técnicas	1	3 x 3	4
	Regime de escoamento x Técnicas	1	3 x 3	4
	Sustentabilidade x Técnicas	1	3 x 3	4
	Tipo de Área x Técnicas	1	3 x 3	4

Demonstrativo de comparações par a par - ANP

ANP Cruzamentos		Matrizes geradas	Ordem	Total de Matrizes
Variáveis x Variáveis	Obstáculo x Variáveis	1	6 x 6	4
	Construtibilidade x Variáveis	1	3 x 3	4
Variáveis x Técnicas	Construtibilidade x Técnicas	2	5 x 5	4
	Custo x Técnicas	5	2 x 2	4
	Manutenção x Técnicas	2	5 x 5	4
	Operacionalidade x Técnicas	5	2 x 2	4
	Pavimentação x Técnicas	2	5 x 5	4
	Solo x Técnicas	5	2 x 2	4
		2	5 x 5	4
		5	2 x 2	4
		2	5 x 5	4
		5	2 x 2	4
			56	

Fonte: O Autor / 2010

Demonstrativo de comparações par a par - ANP

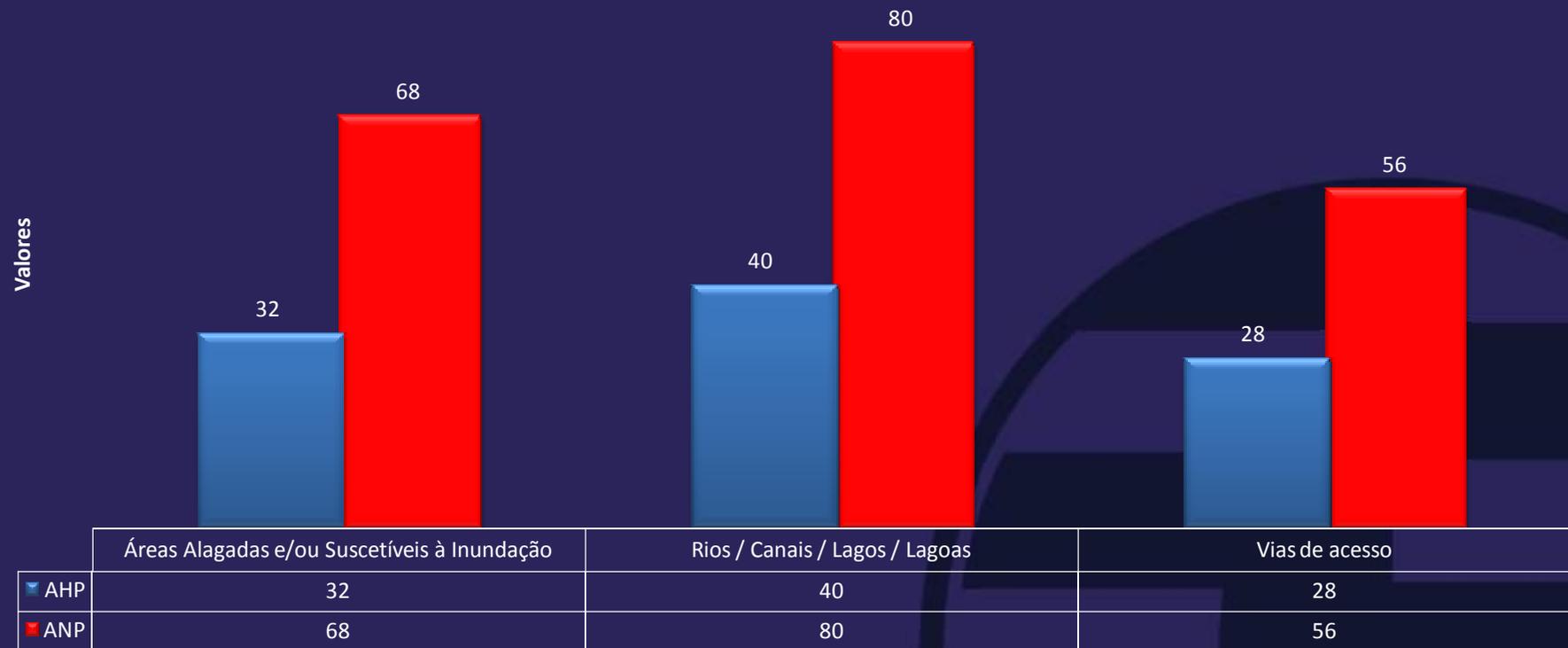
ANP - Travessias		Matrizes geradas	Ordem	Total de Matrizes
Variáveis x Variáveis	Obstáculo x Variáveis	1	9 x 9	4
	Construtibilidade x Variáveis	1	4 x 4	4
	Construtibilidade x Técnicas	2	3 x 3	4
Custo x Técnicas		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
Extensão da Travessia x Técnicas		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
Formação do Leito x Técnicas		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
Variáveis x Técnicas	Manutenção x Técnicas	2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
Operacionalidade x Técnicas		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
Regime de Escoamento x Técnicas		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
Sustentabilidade x Técnicas		3	2 x 2	4
		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4
Tipo de Área x Técnicas		2	3 x 3	4
		3	2 x 2	4

80

Fonte: O Autor / 2010

Quadro comparativo AHP x ANP

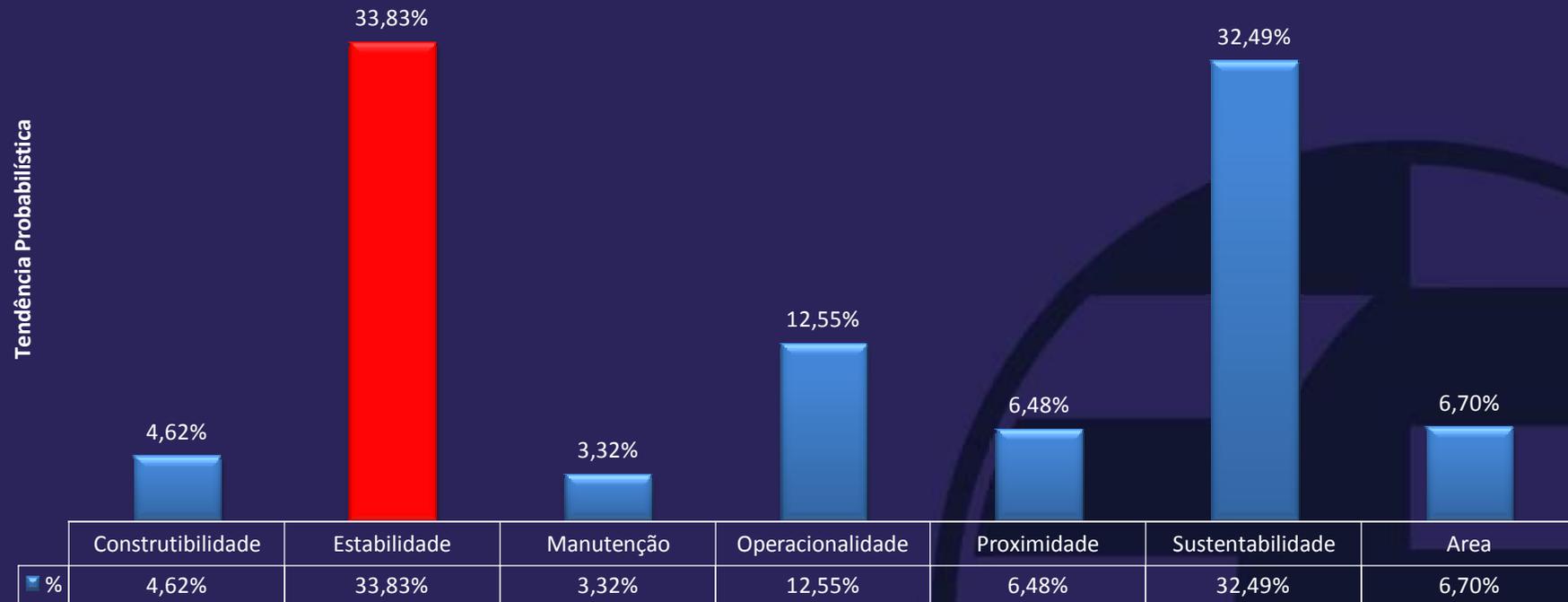
Comparação par a par - AHP x ANP



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Transposição de Áreas Alagadas e/ou Suscetíveis à Inundação

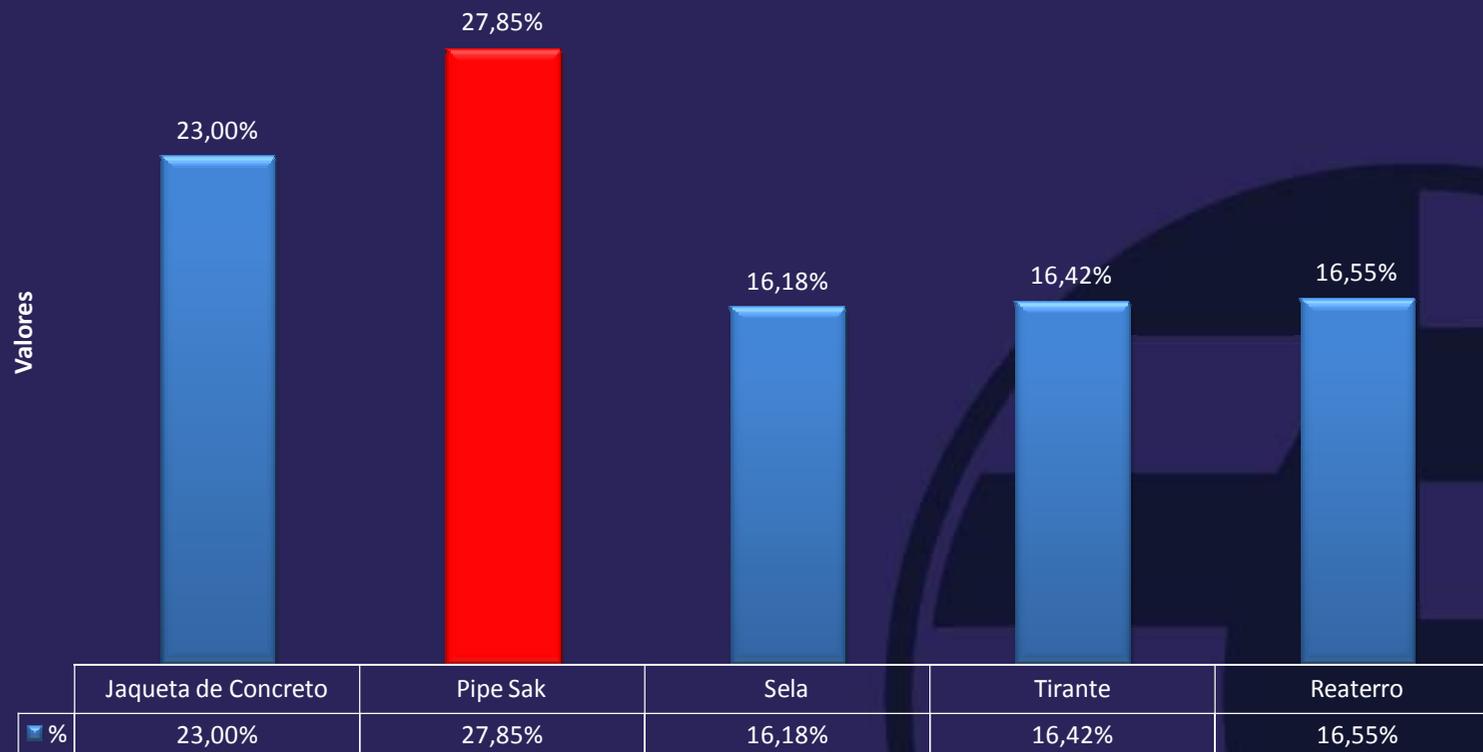
Influência das variáveis – “vetor de prioridades”



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Transposição de Áreas Alagadas e/ou Suscetíveis à Inundação

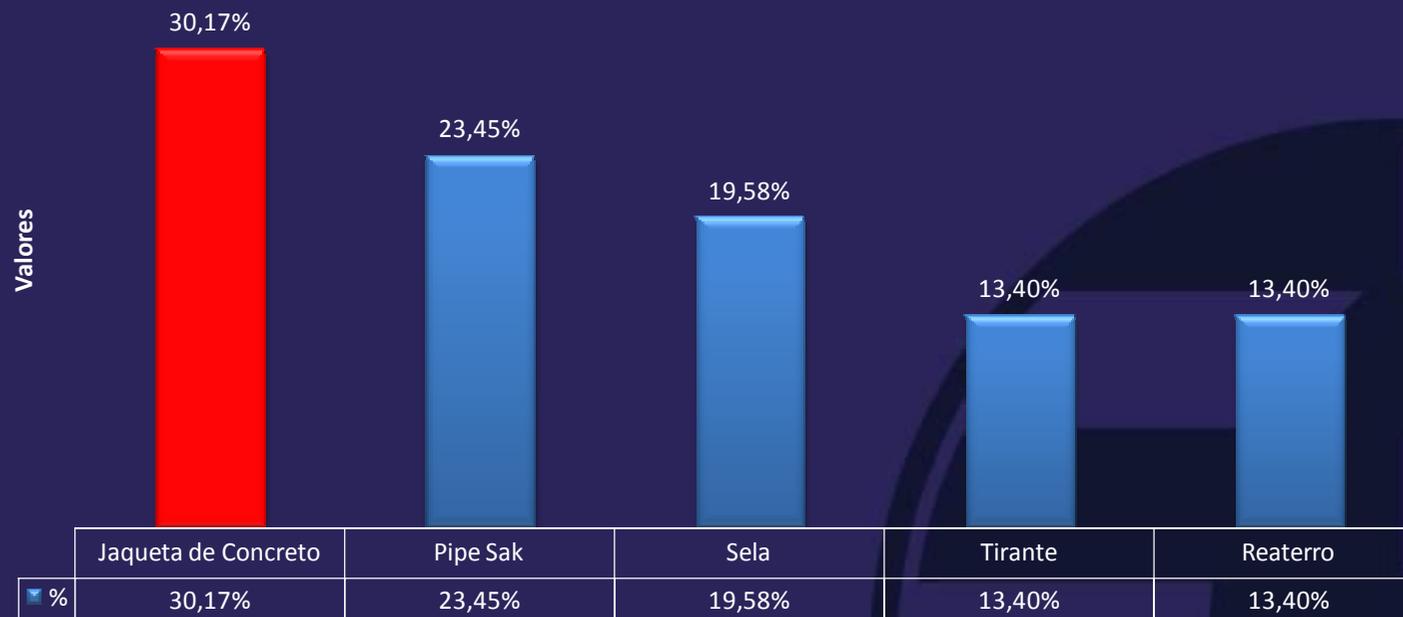
ANP - Técnica para transposição de Áreas Alagadas



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Transposição de Áreas Alagadas e/ou Suscetíveis à Inundação

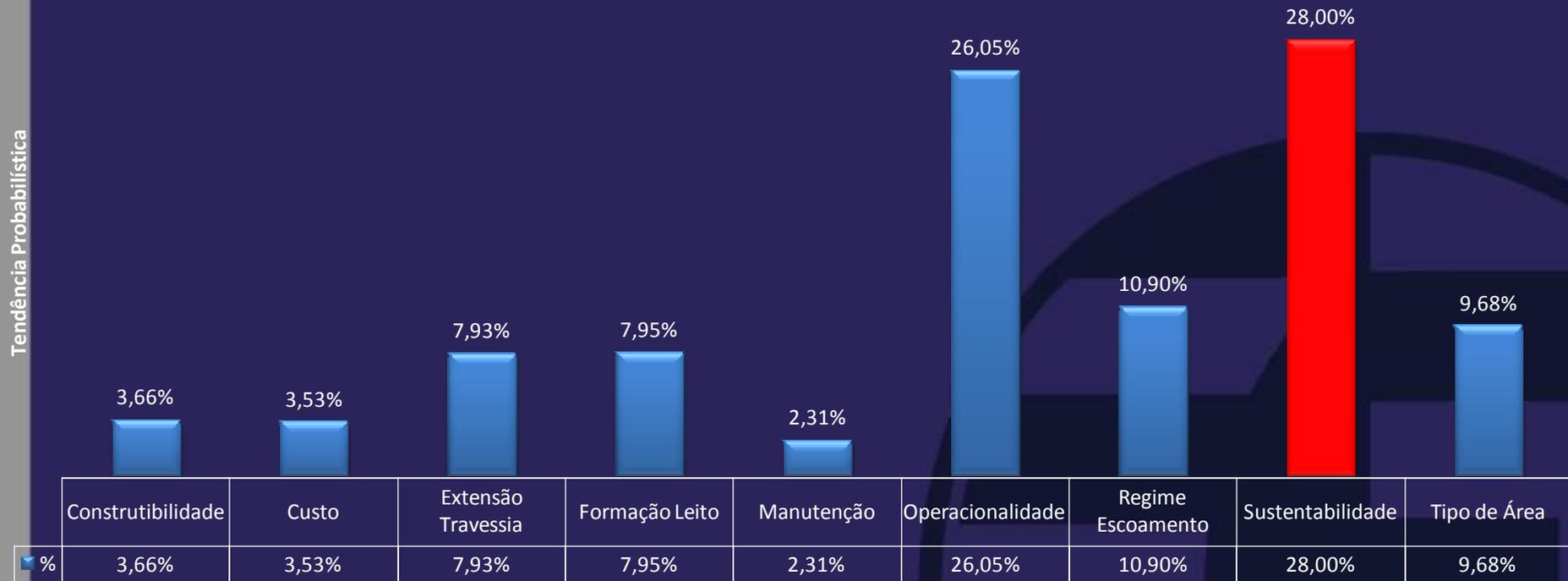
AHP - Técnica para transposição de Áreas Alagadas



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Travessia de rios

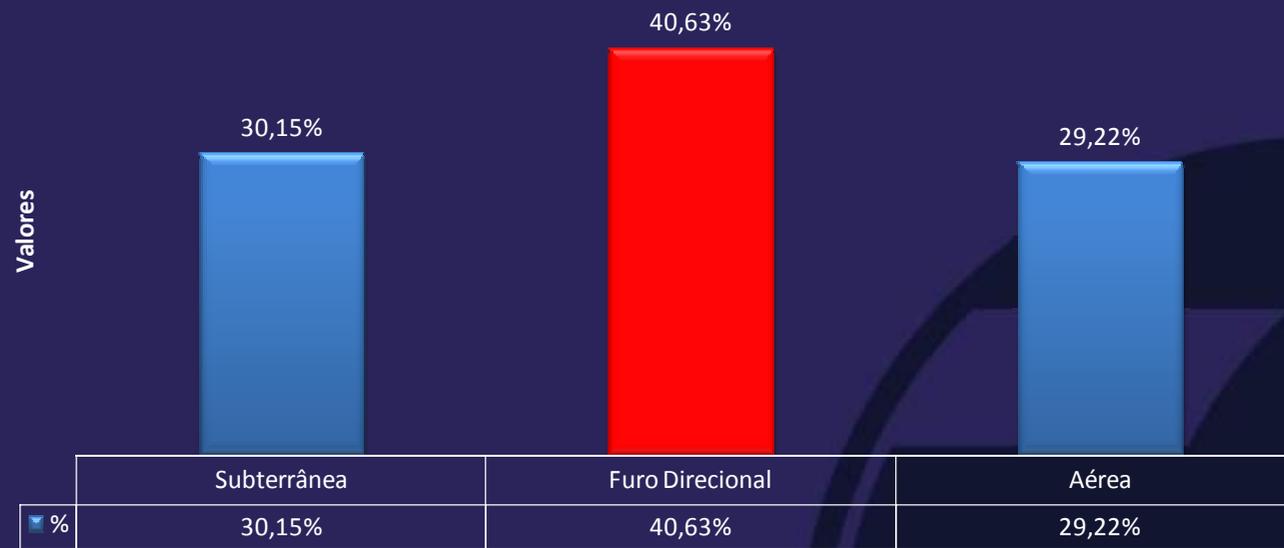
Influência das variáveis - "vetor de prioridades"



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Travessia de rios

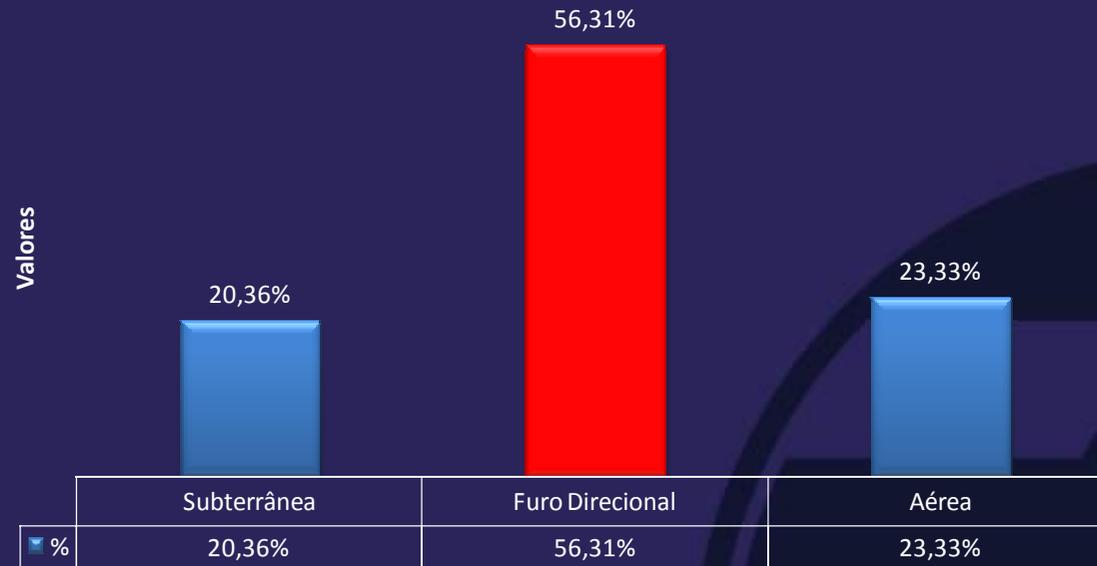
ANP - Técnica para transposição de Rios



Fonte : O Autor / 2010

Resultados – Travessia de rios

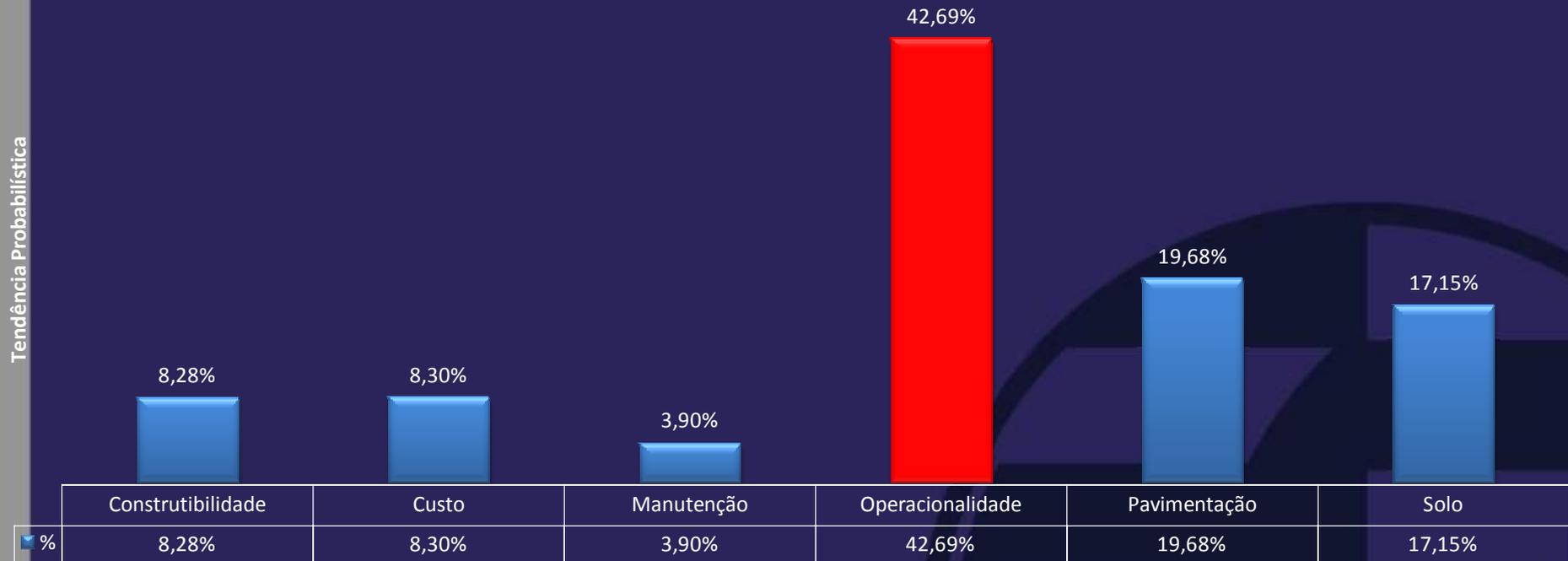
AHP - Técnica para transposição de Rios



Fonte : O Autor / 2010

Resultados – Transposição de vias

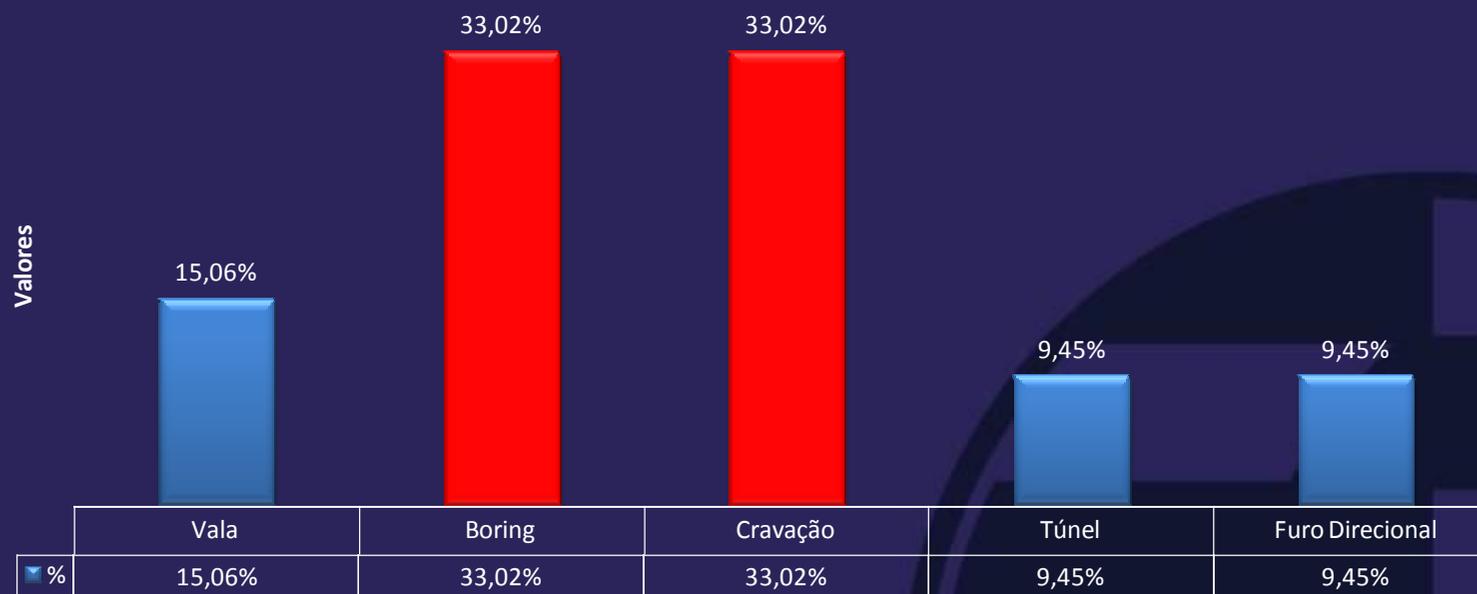
Influência das variáveis - "vetor de prioridades"



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Transposição de vias

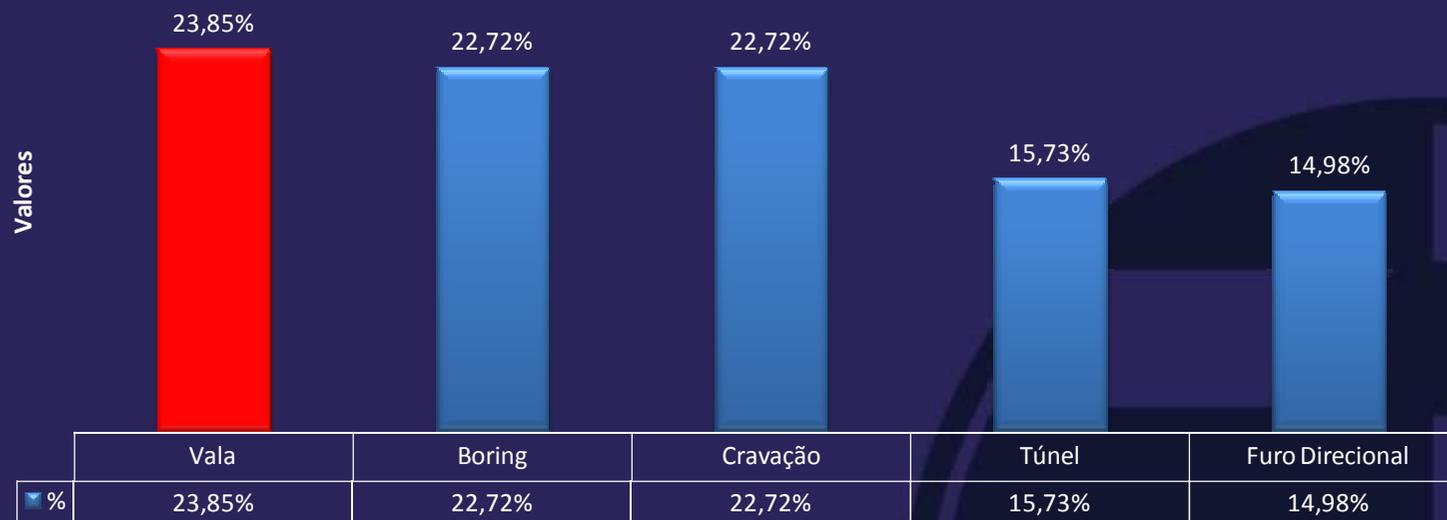
ANP - Técnica para transposição de Vias



Fonte: O Autor / 2010

Resultados – Transposição de vias

AHP - Técnica para transposição de Vias



Fonte: O Autor / 2010

Conclusões

Para transposição de áreas alagadas e/ou suscetíveis à inundação, a técnica Jaqueta de concreto é a mais utilizada por projetistas e construtores. Na aplicação de métodos de tomada de decisão observou-se maior viabilidade da técnica PipeSak devido ao fato desta ser técnica de “alta sustentabilidade”;

Prefere-se o Processo Analítico em Rede ao Processo Analítico Hierárquico, visto que este permite análise de variáveis heterogêneas. Em virtude do maior número de combinações par a par, considera-se que seus resultados são mais consistentes;

Os softwares para tomada de decisão em cenários complexos auxiliam nos cálculos, fornecem exatidão e redução de tempo;

Recomendações

As variáveis analisadas neste trabalho devem ser consideradas na avaliação de técnica viável para transposição de obstáculos por faixas de dutos;

Outros métodos de tomada de decisão em cenários complexos, tais como “árvores de decisão”, “mapas mentais”, “teoria dos jogos”, podem ser utilizados para escolha de técnica na transposição de obstáculos por faixas de dutos;

A definição da técnica por meio de métodos matemáticos não substitui os procedimentos de investigação “in loco”.

F I M