



A Utilização de Avaliação Multicritério para Tomada de Decisão na Gestão Ambiental

Msc. Eng. Luciano Braga Souto

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Belderrain

Co-orientadora: Msc. Rosele de Felipe Wittée Neetzow

Equipe Técnica CNTL: Eng. Luciana Costa Teixeira



Conteúdos

1. Introdução

Contexto
Motivação
Objetivos
Limitações

2. Problemática

Tratamento e
destinação de
resíduos
sólidos
industriais

3. Estudo de caso

4. Conclusão e considerações finais

AMD: Apoio Multicritério à Decisão

AHP: *Analytic Hierarchy Process*

TDFR: Tratamento e Disposição Final de Resíduos sólidos perigosos



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



1. Introdução

Contexto

GESTÃO AMBIENTAL

- Gerenciamento de Resíduos Sólidos -

Múltiplas alternativas para a **destinação** do resíduo industrial que atendem a legislação ambiental



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



1. Introdução

Motivação

- Oportunidade de utilizar métodos multicritérios no processo decisório da destinação de resíduos, agregando os valores e políticas da organização



1. Introdução

Objetivo

Abordar o **tratamento e a destinação de resíduos sólidos industriais perigosos** de empresas considerando, além do custo, requisitos estabelecidos no **Sistema de Gestão** Integrado da organização. Será utilizado o método de **apoio multicritério à decisão AHP** com *ratings* que auxilia a escolha da tecnologia.



1. Introdução

Limitações

Empresa não identificada.

Julgamentos aplicados no estudo de caso representam um cenário particular de decisão.

Lacunas de informações para o enquadramento das alternativas no modelo decisório.



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



2. Problemática

Dificuldade de justificar tecnicamente a escolha entre múltiplas alternativas tecnológicas

Predominância de orientação pelos custos

Problemática

Escolha da tecnologia de disposição ou tratamento de resíduos

Solo com Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos – BTEX

Não existe uma relação absoluta de superioridade entre alternativas

Influência dos fornecedores - *marketing*



Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso

TDFR: Tratamento e Disposição Final de Resíduos sólidos perigosos

- TDFR de solo contaminado com BTEX de empresa brasileira
- Avaliação monocritério (custos)
→ Avaliação Multicritério
(considerando políticas de SGI, aspectos técnicos e ambientais)
- Realização de *workshop* para estruturação do problema, definição de critérios e realização dos julgamentos
- 34 alternativas tecnológicas / 63 alternativas de fornecedores das tecnologias
- Os custos das alternativas serão avaliados após a obtenção de *ranking* das tecnologias



Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso

Estruturação do Problema

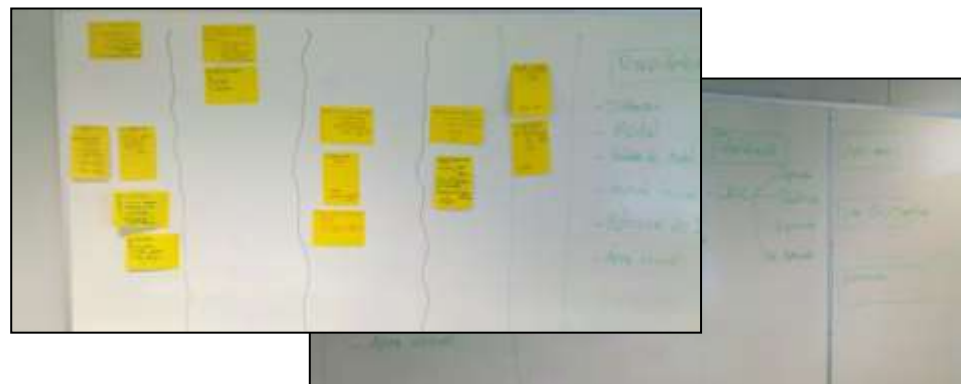
- Formação de Grupo de Trabalho

12 colaboradores da empresa (área corporativa de meio ambiente, setores de meio ambiente das unidades operacionais da empresa + 3 integrantes do CNTL SENAI/UNIDO/UNEP)

- Estruturação do Problema

Workshop

Brainstorming



Objetivo Definido: Selecionar a alternativa de TDFR que possua a melhor aderência possível às políticas de SGI da empresa



Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso

- Identificação das alternativas

33 alternativas tecnológicas

Tecnologias de tratamento e disposição de solo contaminado com Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno e os Xilenos – BTEX			
Tecnologias Inovadoras	TI 01	ERH	Eletrical Resistance Heating - ERH (in situ)
	TI 02	RFH	Aquecimento com rádio frequência (in situ)
	TI 03	COMB	Combinação de tecnologias (SEE + ET-DSP) (in situ)
	TI 04	ET-DSP	Electro-thermal dynamic stripping process (ET-DSP) (in situ)
	TI 05	FR_in	Fitorremediação (in situ)
	TI 06	LSC	Lavagem com surfactantes e cosolventes (in situ)
	TI 07	SEE	Steam Enhanced Extraction (SEE) (in situ)
	TI 08	TRG	Termo remediação a gás (GTR- Gas Thermal Remediation) (in situ)
	TI 09	TCH	Thermal Conduction Heating (TCH) (in situ)
	TI 10	NT	Nanotecnologia (in situ)
	TI 11	FR_ex	Fitorremediação (ex situ)
Tecnologias Convencionais	TC 01	MPE	Extração multi-fásica – MPE (in situ)
	TC 02	AS	Air sparging – AS (in situ)
	TC 03	ANM	Atenuação Natural Monitorada (in situ)
	TC 04	ACI	Aterro Classe I (ex situ)
	TC 05	BR_in	Biorremediação (in situ)
	TC 06	BRAV_in	Biorremediação aeróbia avançada (in situ)
	TC 07	BS	Biosparging (in situ)
	TC 08	CO	Coprocessamento (ex situ)
	TC 09	DTBT	Dessorção térmica a baixa temperatura (in situ)
	TC 10	SVE	Extração de vapores do solo - SVE (in situ)
	TC 11	INC	Incineração (ex situ)
	TC 12	LD_in	Landfarming (in situ)
			Landfarming (ex situ)
			lavagem química (in situ)
			Extração Dual Phase Extraction - DPE (in situ)
			flushing (in situ)
			flushing (ex situ)
			washing (in situ)
			washing (ex situ)
			venting (in situ)
			pilhas (in situ)
			remediação (ex situ)
			remediação aeróbia avançada (ex situ)

Tecnologias de tratamento e disposição de solo contaminado com Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno e os Xilenos – BTEX			
Tecnologias Inovadoras	TI 01	ERH	Eletrical Resistance Heating - ERH (in situ)
	TI 02	RFH	Aquecimento com rádio frequência (in situ)
	TI 03	COMB	Combinação de tecnologias (SEE + ET-DSP) (in situ)
	TI 04	ET-DSP	Electro-thermal dynamic stripping process (ET-DSP) (in situ)
	TI 05	FR_in	Fitorremediação (in situ)
	TI 06	LSC	Lavagem com surfactantes e cosolventes (in situ)
	TI 07	SEE	Steam Enhanced Extraction (SEE) (in situ)
	TI 08	TRG	Termo remediação a gás (GTR- Gas Thermal Remediation) (in situ)



3. Estudo de Caso - Construção do Modelo

Definição de critérios e subcritérios



Estrutura hierárquica principal do estudo de caso no *Super Decisions*



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso

Total de 50 *ratings* na estrutura hierárquica principal

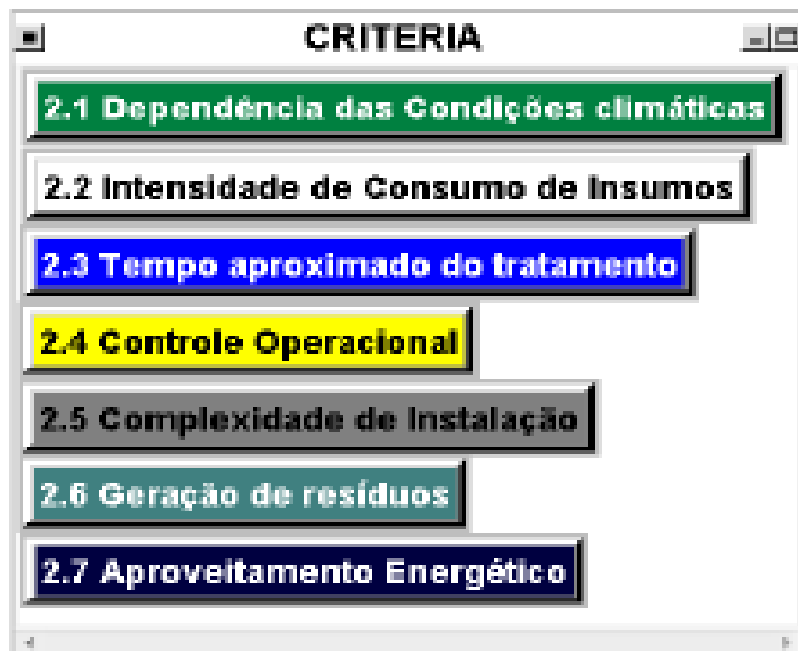
- Definição de critérios, subcritérios e *ratings*

Critérios	Subcritérios	<i>Ratings</i>	Descritivos
QUALIFICAÇÃO DO FORNECEDOR	Situação cadastral	Aprovada	Enquadramento específico já praticado pela empresa. Será apenas consultada no sistema da empresa a situação cadastral de cada fornecedor da tecnologia que utiliza estes mesmos <i>ratings</i> .
		Qualificada	
		Reprovada	
		Não cadastrada	
	Capacidade	Insuficiente	A quantidade de resíduo que precisa ser destinada periodicamente é superior a capacidade de recepção / tratamento do fornecedor da tecnologia.
		Baixa	A capacidade de recepção / tratamento do fornecedor da tecnologia supera em até 5% a quantidade de resíduo que precisa ser destinada periodicamente.
		Média	A capacidade de recepção / tratamento do fornecedor da tecnologia supera em até 20% a quantidade de resíduo que precisa ser destinada periodicamente.
		Alta	A capacidade de recepção / tratamento do fornecedor da tecnologia supera em até 50% a quantidade de resíduo que precisa ser destinada periodicamente.
	Vida útil	Curta	A alternativa possui um horizonte de disponibilidade de até 5 anos
		Longa	A alternativa possui um horizonte de disponibilidade superior a 5 anos



3. Estudo de Caso – Construção do Modelo

- Definição de critérios e subcritérios



**Estrutura hierárquica paralela
para avaliação técnica de
alternativas no *Super Decisions***



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso – Construção do Modelo

- Comparações Par a Par - Estrutura hierárquica principal
Exemplo:

Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Comparisons wrt "1.1 Definir fornecedor e tecnologia X da mesorregião Y do estado Z com nr					Inconsistency: 0.09588	
2.3 Qualificação do Fornecedor is 5.3379 times more important than 2.4 Desempenho Técnico						
Inconsistency	2.2 PNRS ~	2.3 Quali~	2.4 Desemp~			
2.1 Risco ~	← 5.8762	↑ 4.1276	← 2.6858	2.1 Risco~	0.23203	
2.2 PNRS ~		↑ 6.895	↑ 4.2709	2.2 PNRS	0.04759	
2.3 Quali~			← 5.3379	2.3 Quali~	0.59707	
				2.4 Desemp~	0.12331	



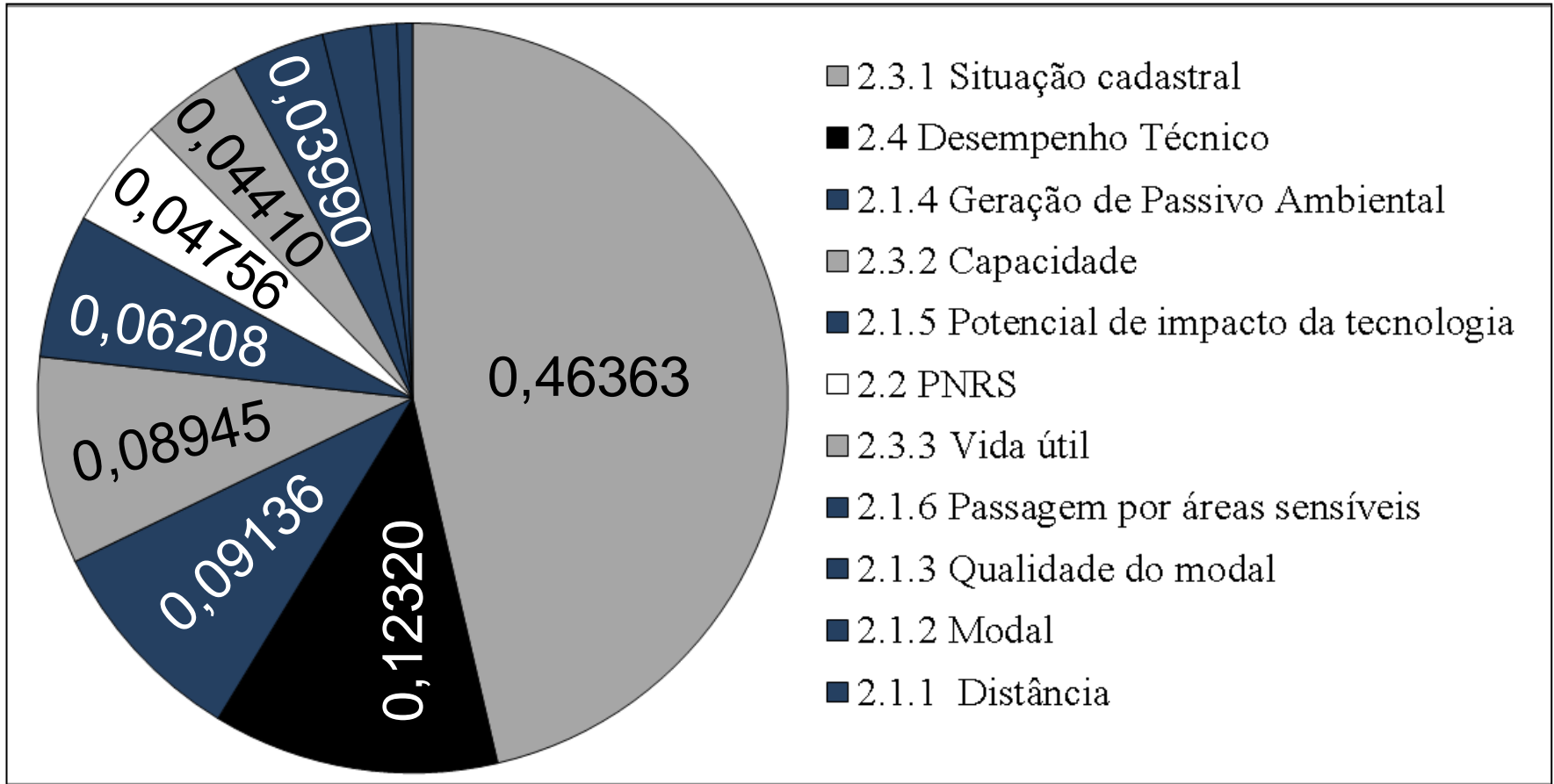
FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso – Construção do Modelo

- Comparações Par a Par - Estrutura hierárquica principal



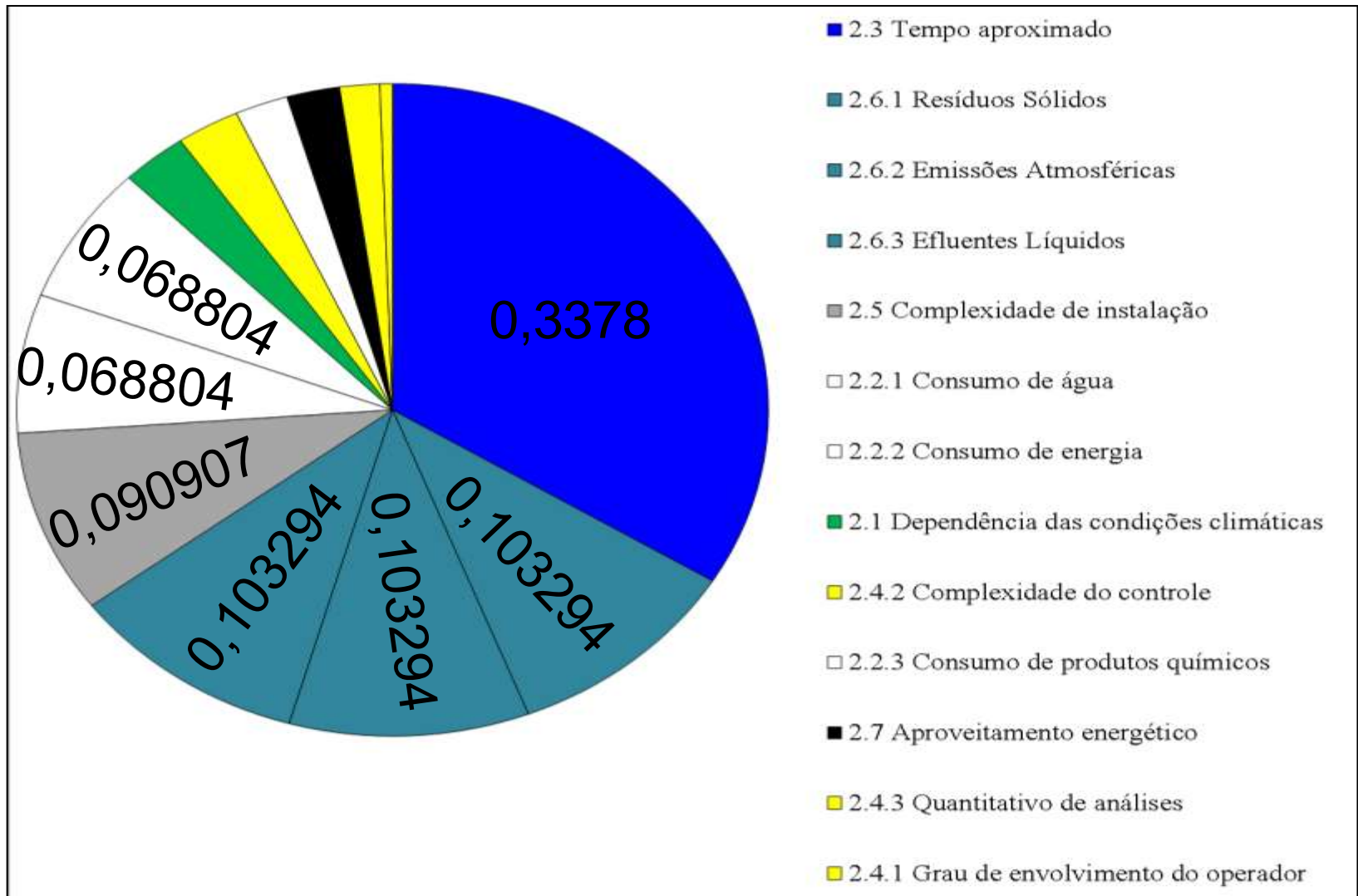
FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso – Construção do Modelo

- Comparações Par a Par - Estrutura hierárquica paralela



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



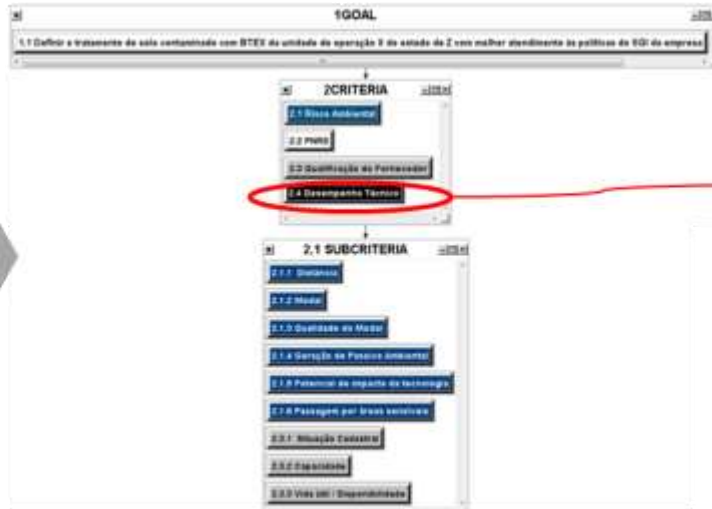
3. Estudo de Caso - Aplicação

- Avaliação das Alternativas da Estrutura Hierárquica Paralela

Alternativas	Totals	2.1 Dependência das condições climáticas	2.2.1 Consumo de água	2.2.2 Consumo de energia	2.2.3 Consumo de produtos químicos	2.3 Tempo aproximado	2.4.1 Grau de envolvimento do operador	2.4.2 Complexidade do controle	2.4.3 Quantitativo de análises	2.5 Complexidade de instalação	2.6.1 Resíduos Sólidos	2.6.2 Emissões Atmosféricas	2.6.3 Efluentes Líquidos	2.7 Aproveitamento energético
TI1	0,534	0,00010	0,16282	0,16282	1,00000	1,00000	0,06800	0,09172	0,09172	0,08013	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010
TI2	0,542	0,00010	0,37513	0,07276	1,00000	1,00000	0,06800	0,09172	0,09172	0,08013	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010
TI3	0,457	1,00000	0,16282	0,07276	1,00000	1,00000	0,06800	0,09172	0,30285	0,08013	0,34668	0,00010	0,00010	0,00010
TI4	0,448	1,00000	0,16282	0,16282	0,37513	1,00000	0,06800	0,09172	0,30285	0,08013	0,34668	0,00010	0,00010	0,00010
TI5	0,401	0,00010	0,37513	1,00000	0,16282	0,09042	0,14955	0,09172	0,30285	0,23112	0,34668	1,00000	1,00000	0,00010
TI6	0,410	1,00000	0,07276	0,16282	0,07276	0,62903	0,06800	0,09172	0,09172	0,08013	0,34668	1,00000	0,00010	0,00010
TI7	0,471	1,00000	0,07276	0,37513	1,00000	1,00000	0,06800	0,09172	0,30285	0,08013	0,34668	0,00010	0,00010	0,00010
TI8	0,556	1,00000	0,16282	0,07276	1,00000	1,00000	0,06800	0,09172	0,09172	0,08013	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010
TI9	0,629	1,00000	1,00000	0,16282	1,00000	1,00000	0,06800	0,30285	0,30285	0,08013	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010
TI10	0,712	1,00000	0,16282	0,16282	0,07276	1,00000	0,06800	0,09172	0,09172	0,08013	1,00000	1,00000	1,00000	0,00010
TI11	0,512	0,00010	0,37513	1,00000	0,16282	0,09042	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,34668	1,00000	1,00000	0,00010
TC1	0,336	1,00000	1,00000	0,37513	1,00000	0,40239	0,14955	0,30285	0,09172	0,08013	0,34668	0,00010	0,00010	0,00010
TC2	0,533	1,00000	1,00000	0,37513	1,00000	0,62903	0,14955	0,30285	0,30285	0,23112	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010
TC3	0,537	0,00010	1,00000	1,00000	1,00000	0,09042	0,37287	0,30285	0,30285	0,23112	1,00000	1,00000	1,00000	0,00010
TC4	0,472	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,09042	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,08013	1,00000	0,00010	0,00010
TC5	0,725	0,00010	0,16282	0,37513	0,16282	1,00000	0,37287	0,30285	0,30285	0,23112	1,00000	1,00000	1,00000	0,00010
TC6	0,735	0,00010	0,37513	0,37513	0,16282	1,00000	0,14955	0,30285	0,09172	0,23112	1,00000	1,00000	1,00000	0,00010
TC7	0,463	0,00010	0,37513	0,37513	1,00000	0,62903	0,37287	0,30285	0,30285	0,23112	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010
TC8	0,839	1,00000	1,00000	0,16282	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00010	1,00000	1,00000
TC9	0,498	1,00000	1,00000	0,16282	1,00000	0,62903	0,06800	0,09172	0,30285	0,08013	0,34668	0,00010	1,00000	0,00010



Estrutura Hierárquica Principal

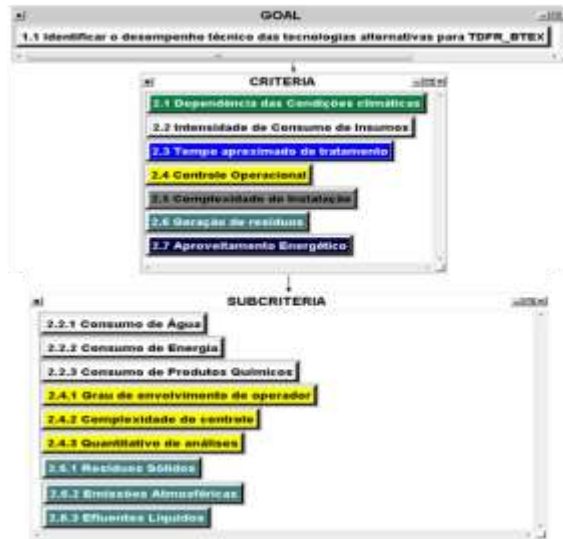


Ratings para o critério Desempenho técnico:

- até 0,40
- de 0,41 até 0,45
- de 0,46 até 0,50
- de 0,51 até 0,55
- de 0,56 até 0,60
- de 0,61 até 0,70
- de 0,71 até 0,80
- de 0,81 até 1,00

Total de 91 ratings

Estrutura hierárquica paralela para avaliação técnica das tecnologias



Tecnologias	Desempenho técnico geral
Tecnologia 7	0,89
Tecnologia 3	0,77
Tecnologia 8	0,63
Tecnologia 6	0,59
Tecnologia 5	0,47
Tecnologia 4	0,44
Tecnologia 1	0,34
Tecnologia 2	0,29

Valores ilustrativos do resultado da avaliação de desempenho técnico

Para avaliar um fornecedor de uma determinada tecnologia no critério desempenho técnico basta enquadrar a alternativa em um rating que contenha o desempenho desta tecnologia avaliado em paralelo.

Fonte: O Autor



FIERGS SENAI

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso - Aplicação

- Interpretação de resultados e análise de sensibilidade

33
alternativas

Posição	Alternativas da estrutura hierárquica paralela		Desempenho (totals)	Enquadramento nas faixas de desempenho técnico
1	TC 23	Biorremediação aeróbia avançada <i>ex situ</i>	0,844	de 0,81 até 1
2	TC 8	Coprocessamento	0,839	de 0,81 até 1
3	TC 22	Biorremediação <i>ex situ</i>	0,829	de 0,81 até 1
4	TC 14	Oxidação química	0,784	de 0,71 até 0,80
5	TC 13	<i>Landfarming ex situ</i>	0,766	de 0,71 até 0,80
6	TC 11	Incineração	0,765	de 0,71 até 0,80
7	TC 6	Biorremediação aeróbia avançada <i>in situ</i>	0,735	de 0,71 até 0,80
8	TC 5	Biorremediação <i>in situ</i>	0,725	de 0,71 até 0,80
9	TI 10	Nanotecnologia	0,712	de 0,71 até 0,80

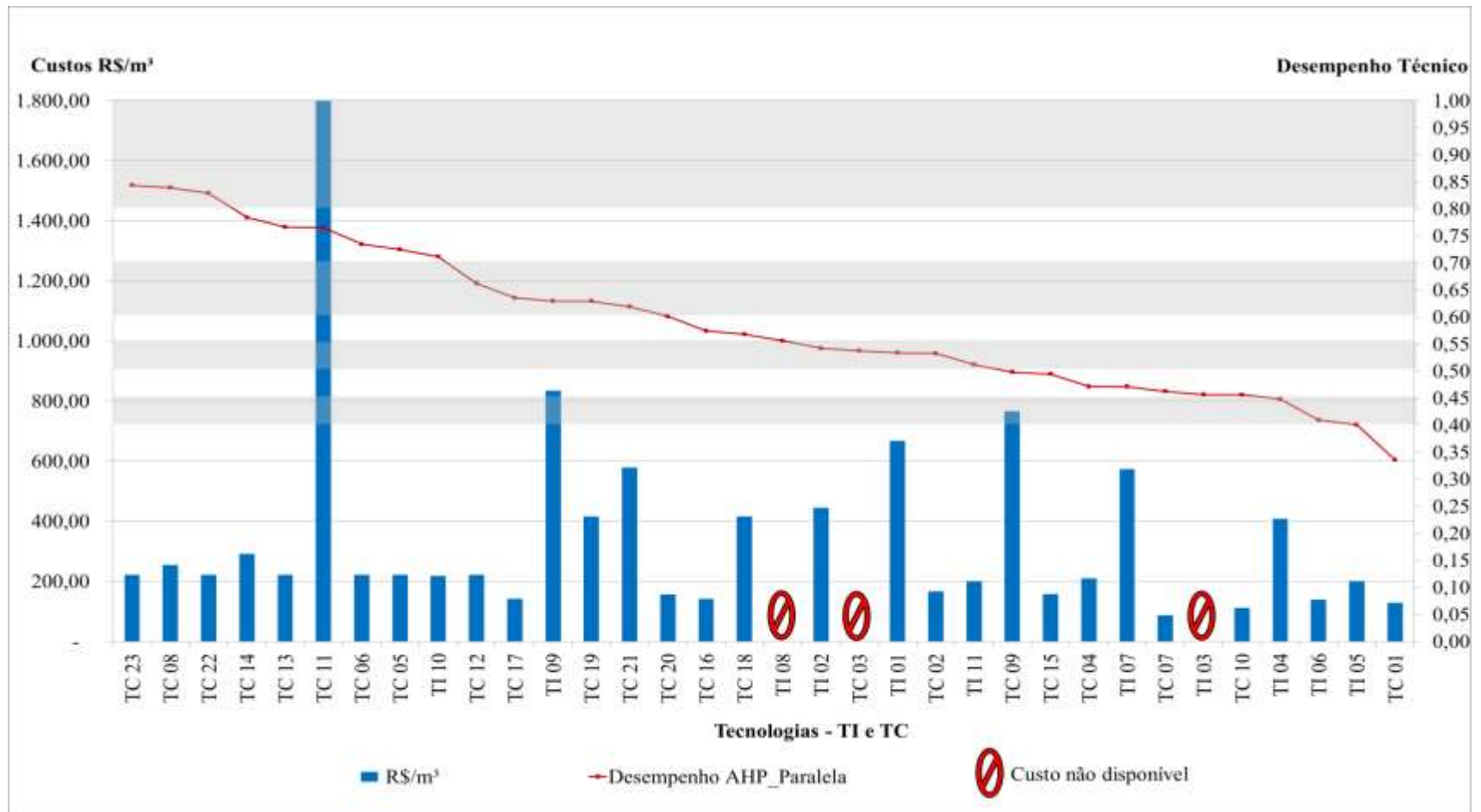


05 tecnologias biológicas (TC 23, TC 22, TC 13, TC 6, TC 5), 02 tecnologias térmicas (TC 8, TC 11), 01 tecnologia química (TC 14) e 01 nanotecnologia (TI 10)



3. Estudo de Caso - Aplicação

- Avaliação das Alternativas da Estrutura Hierárquica Paralela



33 alternativas

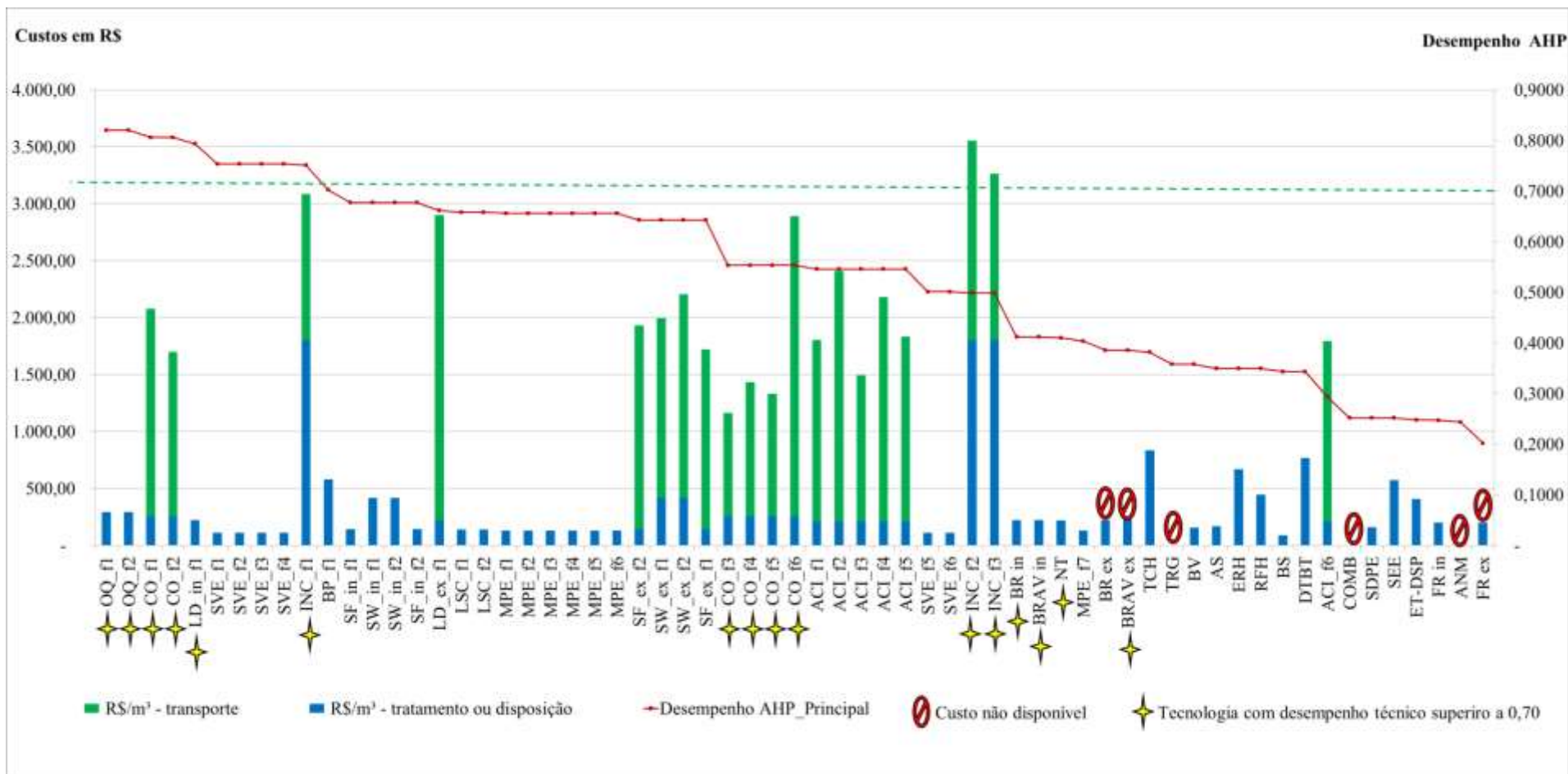


Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



3. Estudo de Caso - Aplicação

- Avaliação das Alternativas da Estrutura Hierárquica Principal



63 alternativas



Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Proporcionou o aprofundamento do conhecimento relativo às tecnologias e aos componentes deste processo decisório
- Critérios estratégicos: aspectos técnicos e ambientais, posteriormente confrontados com os aspectos econômicos
- Auxílio na estruturação de problemas similares relativos ao tratamento e destinação de resíduos sólidos industriais perigosos de organizações
- O ranking obtido na avaliação técnica de alternativas (AHP Paralelo) indicou que as tecnologias inovadoras não apresentaram maior destaque que as tecnologias convencionais



Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL



4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Prioridade para a busca de aprovação da Situação Cadastral daqueles fornecedores de tecnologias com melhor desempenho no AHP Paralelo
- Nos modelos de avaliação multicritério desenvolvidos novas alternativas poderão ser facilmente inseridas, assim como alternativas poderão ser excluídas
- Não foi observada uma correlação entre um melhor desempenho e um maior custo
- O modelo de apoio à decisão proporcionou à empresa a visualização das alternativas tecnológicas com maior alinhamento com os seus critérios estratégicos



OBRIGADO!

Luciano Souto

cntl.pmaisl@senairs.org.br

51 3904-2637



Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI - CNTL

