



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ALEXANDRE CESAR FRASSON

**ESCOLHA DE ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA
TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LODO GERADO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
AGROINDÚSTRIAS COM BASE NO MÉTODO AHP**

Londrina
2011

ALEXANDRE CESAR FRASSON

**ESCOLHA DE ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA
TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LODO GERADO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
AGROINDÚSTRIAS COM BASE NO MÉTODO AHP**

Dissertação de mestrado apresentada a
Universidade Estadual de Londrina, para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Edificações e Saneamento.
Linha de Pesquisa: Gestão e Tratamento
de Resíduos Sólidos

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes

Londrina
2011

Catálogo na Publicação Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F843e Frasson, Alexandre Cesar.
Escolha de alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodo gerado
no tratamento de efluentes líquidos de agroindústrias com base no método AHP
/ Alexandre Cesar Frasson. – Londrina, 2011. 90 f.: il.

Orientador: Fernando Fernandes.
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) –
Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2011.
Inclui bibliografia.

1. Resíduos sólidos – Aterro sanitário – Teses. 2. Lodo – Tratamento – Teses. 3.
Lixiviação – Teses. 4. Método AHP de Saaty – Teses. I. Fernandes, Fernando. II.
Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III.
Título

CDU 628.4

ALEXANDRE CESAR FRASSON

**ESCOLHA DE ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA TRATAMENTO
E DESTINO FINAL DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES LÍQUIDOS DE AGROINDÚSTRIAS COM BASE NO
MÉTODO AHP**

Essa dissertação de Mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E SANEAMENTO e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Fernandes
UEL – Londrina – PR

Profa. Dra. Maria Cristina Borba Braga
UFPR – Paraná – PR

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
UTFPR – Paraná – PR

Londrina, 25 de Fevereiro de 2011



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

Coordenadoria de pesquisa e pós-graduação
Centro de Tecnologia e Urbanismo
Mestrado em engenharia edificações e saneamento
Secretaria de Pós-Graduação



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e onze, na sala de multimeios 02 da Pós-Graduação/CTU, desta Universidade, com início às 13h30min, reuniram-se os membros componentes da Banca Examinadora indicada pela Comissão Coordenadora do Programa e aprovada pelo Colegiado dos Cursos de Pós-Graduação Stricto Sensu, nomeada pela Portaria nº 781 de 16/02/2011 composta pelos professores doutores **Fernando Fernandes, Maria Cristina Borba Braga e Ajadir Fazolo** e que teve por objetivo julgar o trabalho do mestrando **ALEXANDRE CESAR FRASSON**, do Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, intitulado *"METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LODO BIOLÓGICO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE AGROINDÚSTRIAS"*. Os trabalhos foram abertos pelo professor **Fernando Fernandes**, que em seguida deu a palavra ao candidato para a apresentação do seu trabalho, no tempo de cinquenta minutos, com a subsequente arguição pelos professores doutores. Cada examinador dispôs de trinta minutos e o candidato de igual tempo para responder a cada um dos arguidores. Terminadas as arguições, procedeu-se ao julgamento do trabalho. Computadas as notas, o presidente da Banca Examinadora proclamou o candidato APROVADO, completando-se assim as exigências regimentais para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Banca Examinadora. Universidade Estadual de Londrina, em 25/02/2011.

Prof. Dr. Fernando Fernandes

Prof. Dr. Ajadir Fazolo

Prof. Dra. Maria Cristina Borba Braga

O estudante deverá reformular seu trabalho conforme estabelecido no Artigo 55 do regulamento dos Programas de Pós-Graduação Stricto sensu, no prazo de 30(trinta dias): ()Sim (X)Não. Se houver alteração no título do trabalho, informar o novo título: *"ESCOLHA DE ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE AGROINDÚSTRIAS COM BASE NO MÉTODO AHP"*

A minha querida esposa Mônica, aos meus pais Ana e Edison Frasson, aos meus fiéis companheiros e incentivadores com os quais tive o prazer de estudar no mestrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela certeza de Sua companhia em todos os momentos de minha vida, direcionando meus passos, abrindo os meus caminhos, me levando pelas mãos nos momentos de insegurança e sorrindo comigo nos momentos de felicidade!

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Fernandes, pela paciência, apoio, amizade, disponibilidade, sugestões e pela constante orientação em minha vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Ajadir Fazolo e à Profa. Dra. Cristina Braga pelas valiosas contribuições nas bancas de qualificação e defesa.

À minha esposa Mônica pelo carinho, atenção, reciprocidade, companhia, incentivo e apoio nos momentos mais difíceis.

A toda a minha querida família (meus pais Edison e Ana, meus irmãos Karla e Rodrigo por toda a torcida, apoio e incentivo.

À UEL – Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento por oferecer as condições que possibilitaram a concretização desse mestrado.

A todos aqueles que embora não citados participaram de uma alguma forma na realização desse trabalho.

FRASSON, Alexandre Cesar. **Escolha de alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodo gerado no tratamento de efluentes líquidos de agroindústrias com base no método AHP**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.

RESUMO

As agroindústrias são grandes geradoras de efluentes líquidos com alta carga orgânica. Os processos de tratamento de seus efluentes líquidos geram como produto de descarte, o lodo proveniente da sobra dos processos de tratamento, os quais precisam de um destino final ou tratamento. A grande dificuldade neste processo está na escolha da melhor alternativa tecnológica para tratamento e destinação final do lodo, onde deve-se considerar alguns critérios. Nas agroindústrias, há especialistas incumbidos da decisão sobre o destino e tratamento do lodo, mas muitas vezes estes usam da subjetividade e de análises superficiais e isoladas dos diversos critérios na tomada de decisão. Isso ocorre, pois, geralmente, as agroindústrias usam o método de estudos em grupos de trabalho para a tomada de decisão, onde a subjetividade e as opiniões pessoais das pessoas interferem em uma escolha correta. Este trabalho objetiva estudar uma metodologia para auxiliar no processo de decisão e hierarquização das alternativas de destinação e tratamento de lodo de agroindústria, visando à escolha da melhor alternativa tecnológica disponível. O método escolhido foi a análise hierárquica de processos (AHP) de Saaty. Durante o trabalho, foi utilizado questionários para coleta das opiniões de três especialistas na gestão de efluentes líquidos de uma agroindústria de café solúvel, e dois de uma agroindústria de embalagem de grãos e cereais. Estas opiniões ponderaram sobre três alternativas de tratamento e destinação do lodo: aterro sanitário, disposição em solo e incineração com aproveitamento energético. Para a escolha da melhor alternativa, os especialistas ponderaram sobre seis critérios de escolha, sendo eles a legislação ambiental, o desaguamento do lodo, o prazo para implantação do sistema, o custo de transporte, o custo de destinação e o custo de operação. A alternativa escolhida pela agroindústria de café solúvel foi a incineração com recuperação de energia (49% da preferência), e no caso da agroindústria de embalagem de grãos e cereais, a disposição no solo (com 38 % de preferência). Os resultados obtidos indicam ser confiável à utilização do método AHP, pois reduz a subjetividade do avaliador quanto à escolha da alternativa mais viável para destinação e tratamento final dos lodos de agroindústrias, além do que é uma metodologia reconhecida e testada mundialmente, e possui um mecanismo de verificação para possíveis incoerências.

Palavras-chave: Lodo de agroindústria. Método AHP de saaty. Metodologia para tomada de decisão.

FRASSON, Alexandre Cesar. **Choice of technological alternative for treatment and final destination of the sludge generated in the liquid effluent treatment of agribusinesses based on the pha method.** 2011. 90 f. Dissertation (Master's degree in Building Engineering and Sanitation) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.

ABSTRACT

The agribusinesses are big generators of liquid effluents with a high organical load. The treatment processes of their liquid effluents generate as a disposal product the sludge coming from the waste of the treatment processes which need a final destination or treatment. The great difficulty in this process is on the choice of the best technological alternative for treatment and final destination of the sludge where we must consider some criteria. In the agribusinesses there are experts in charge of the decision about the destination and treatment of the sludge, but a lot of times these use of the subjectivity and superficial analysis and isolated from the several criteria in the decision-making. This happens because the agribusinesses generally use the method of studies in teamwork for the decision-making where the subjectivity and the people's personal opinions interfere in a right choice. This paper has as the objective to study a methodology to help in the decision process and hierarchy of the destination alternatives and treatment of the agribusinesses sludge aiming the choice of the best technological alternative available. The method chosen was the Saaty processes hierarchical analyses (PHA). During the study, questionnaires were used to collect opinions of three experts in the management of liquid effluent of an instant coffee agribusiness and two in a beans and grain packing agribusiness. These opinions consider three alternatives of sludge treatment and destination: landfill, soil disposition and incineration with the energy use. To choose the best alternative, the experts consider six criteria of choice, being them the environmental legislation, the sludge dewatering, the time for the system implantation, the transport cost, the destination cost, and the operation cost. The alternative chosen by the instant coffee agribusiness was the incineration with energy recovery (49% preferentially), and in the case of the beans and grain packing agribusiness the soil disposition (38% preferentially). The results gotten show to be reliable on the PHA method because it reduces the evaluator's subjectivity regarding to the most viable alternative choice for destination and final sludge treatment of agribusinesses besides being a methodology recognized and world wide tested, and it has a checking mechanism for possible inconsistencies.

Keywords: Agribusiness sludge. Saaty PHA method. Methodology for decision-making.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo de café solúvel	22
Figura 2 – Foto aérea de uma estação de tratamento de efluentes de indústria de café solúvel pelo processo de aeração prolongada	22
Figura 3 – Fluxograma simplificado de estação de tratamento de efluentes de indústria de café solúvel pelo processo de aeração prolongada ...	24
Figura 4 – Gradeamento e decantador primário	29
Figura 5 – Lodos ativados e decantador secundário	30
Figura 6 – Variação do volume de lodo em função do teor de sólidos	33
Figura 7 – Vista do início do processo de desaguamento do lodo, por uma prensa desaguadora.....	39
Figura 8 – Estrutura Hierárquica Geral do método AHP	44
Figura 9 – Estrutura hierárquica do método AHP para o problema proposto	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de alguns efluentes industriais.....	21
Tabela 2 – Composição média do efluente de café solúvel	23
Tabela 3 – Concentrações de substâncias inorgânicas no biossólido da empresa estudada de acordo com a tabela 2 da Resolução Conama 375 de 29 de agosto de 2005	25
Tabela 4 – Análise do potencial agrônômico do lodo de indústria de café solúvel	26
Tabela 5 – Parâmetros parasitológicos e microbiológicos em lodo de indústria de café solúvel	27
Tabela 6 – Escala numérica de julgamentos de Saaty.....	45
Tabela 7 – Valores de CA em função da ordem da matriz.....	49
Tabela 8 – Comparação dos critérios frente ao foco principal na indústria de café solúvel.....	65
Tabela 9 – Normalização dos critérios frente ao foco principal e determinação das prioridades médias locais – indústria de café solúvel	65
Tabela 10 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o foco principal	66
Tabela 11 – Valores determinados no calculo da razão de consistência	67
Tabela 12 – Avaliação do critério legislação para as 3 alternativas.....	67
Tabela 13 – Avaliação do critério prazo para as 3 alternativas.....	68
Tabela 14 – Avaliação do critério desumidificação para as 3 alternativas	68
Tabela 15 – Avaliação do critério custo do investimento para as 3 alternativas	68
Tabela 16 – Avaliação do critério custo do transporte para as 3 alternativas	68
Tabela 17 – Avaliação do critério custo de destinação para as 3 alternativas	69
Tabela 18 – Normalização das alternativas frente ao critério legislação e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel	69
Tabela 19 – Normalização das alternativas frente ao critério prazo e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel	69

Tabela 20 – Normalização das alternativas frente ao desumidificação e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel	70
Tabela 21 – Normalização das alternativas frente ao critério custo do investimento e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel.....	70
Tabela 22 – Normalização das alternativas frente ao critério custo do transporte e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel.....	70
Tabela 23 – Normalização das alternativas frente ao critério custo de destinação e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel.....	70
Tabela 24 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o critério legislação.....	71
Tabela 25 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o critério prazo.....	71
Tabela 26 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o critério desumidificação.....	72
Tabela 27 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o critério custo do investimento.....	72
Tabela 28 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o critério custo do transporte.....	72
Tabela 29 – Vetor P e vetor Pauxiliar para o critério custo de destinação.....	72
Tabela 30 – Avaliação da RC para os critérios legislação, prazo e desumidificação frente às alternativas	73
Tabela 31 – Avaliação da RC para os critérios custos de investimento, transporte e destinação frente às alternativas	73
Tabela 32 – Valores de RC's para todas as avaliações de consistência	74
Tabela 33 – Prioridades globais das alternativas – Indústria de Café Solúvel	75
Tabela 34 – Prioridades globais das alternativas – Indústria de grãos e cereais	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Análise Hierárquica de Processos
Ca(OH)₂	Hidróxido de cálcio
CCl₄	tetracloreto de carbono
CH₄	Gás metano
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CO₂	Gás carbônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
H₂O	Água
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
M.O	Matéria orgânica
NBR	Norma Brasileira
NO₃	Nitrito
OD	Oxigênio dissolvido
O₂	Gás oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
PR	Paraná
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SO₂	Dióxido de enxofre
SP	São Paulo
SST	Sólidos Solúveis Totais
t	tonelada
UEL	Universidade Estadual de Londrina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1 EFLUENTES DE AGROINDÚSTRIAS	20
3.1.1 Efluentes de Agroindústria de Café Solúvel	21
3.1.1.1 Sistema de tratamento de indústria de café solúvel	23
3.1.2 Características do Lodo Biológico de Indústria de Café Solúvel	24
3.1.3 Critérios para Destinação de Lodo de Estações de Tratamento Biológico de Efluentes de outras Agroindústrias	27
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	28
3.2.1 Sistemas Aeróbios de Tratamento	31
3.2.2 Sistemas Anaeróbios de Tratamento	32
3.3 GERAÇÃO, TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LODOS	32
3.3.1 Processos de Tratamento de Lodos	33
3.3.1.1 Adensamento ou espessamento	34
3.3.1.2 Estabilização do lodo	34
3.3.1.3 Condicionamento do lodo	35
3.3.1.4 Desaguamento e secagem do lodo	36
3.3.1.5 Higienização do lodo	40
3.3.1.6 Tratamento e disposição final do lodo	40
3.4 O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS – AHP	41
3.4.1 As Etapas do Método AHP	43
3.4.2 Aspectos Positivos, Negativos e Limitações do AHP	50
3.4.2.1 Vantagens do método AHP	50
3.4.2.2 Desvantagens e limitações do método AHP	51
4 MATERIAL E MÉTODO	53
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA PESQUISA	53

4.2 MATERIAIS	53
4.3 MÉTODO	54
4.3.1 Aplicação do Método AHP nas Empresas Estudadas.....	54
4.3.2 Elaboração dos Questionários para Análise dos Especialistas.....	54
4.3.3 Critérios e Alternativas para Tomada de Decisão pelos Especialistas das Empresas Estudadas	55
4.3.4 Interpretação dos Critérios para Avaliação das Alternativas	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1 ESTUDO DE CASO.....	62
5.1.1 A Aplicação do Método nas Duas Empresas Estudadas	63
5.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS FRENTE AO FOCO PRINCIPAL PARA A INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL	64
5.3 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS FRENTE AO FOCO PRINCIPAL E DETERMINAÇÃO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS.....	65
5.4 VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA MATRIZ DOS CRITÉRIOS.....	66
5.5 COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS FRENTE AOS CRITÉRIOS.....	67
5.6 NORMALIZAÇÃO DOS QUADROS DE JULGAMENTOS DAS ALTERNATIVAS FRENTE AOS CRITÉRIOS E DETERMINAÇÃO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS	69
5.7 VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA MATRIZ DE JULGAMENTOS DAS ALTERNATIVAS FRENTE AOS CRITÉRIOS	71
5.8 CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS GLOBAIS (PG´S) PARA DECISÃO DA MELHOR ALTERNATIVA DE DESTINAÇÃO E TRATAMENTO DE LODO BIOLÓGICO DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL	74
5.9 CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS GLOBAIS (PG´S) PARA DECISÃO DA MELHOR ALTERNATIVA DE DESTINAÇÃO E TRATAMENTO DE LODO BIOLÓGICO DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE GRÃOS E CEREAIS.....	75
5.10 RESUMO DOS RESULTADOS E REFLEXÕES CRÍTICAS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS.....	76
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	80
6.1 CONCLUSÕES.....	80
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81

REFERÊNCIAS	82
APÊNDICES	86
APÊNDICE A – Determinação do grau de importância dos 6 critérios – Indústria de café solúvel.....	87
APÊNDICE B – Determinação do grau de importância dos 6 critérios – Indústria de embalagem de grãos e cereais.....	88
APÊNDICE C – Julgamento de valor do grau de importância dado para cada alternativa de destino frente aos critérios – Indústria de café solúvel.	89
APÊNDICE D – Julgamento de valor do grau de importância dado para cada alternativa de destino frente aos critérios – Indústria de embalagem de grãos e cereais.	90

1 INTRODUÇÃO

Uma das características marcantes da sociedade moderna é a convivência com a complexidade dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos, o que ocorre devido à grande diversidade de substâncias e materiais utilizados nas mais diversas atividades humanas.

Sendo a água o “solvente universal”, é de se esperar que esta, depois de usada nos mais diferentes processos, carregue os mais diferentes componentes orgânicos e inorgânicos necessitando, assim, de tratamento adequado antes da sua devolução para os corpos receptores sem provocar impactos significativos.

Existem diversas formas de se tratar efluentes líquidos industriais, sendo que a escolha do processo depende de variáveis como volume e a caracterização do efluente, área disponível, custo, entre outras. Entre estes vários processos, tem-se o tratamento biológico de efluentes líquidos.

Os processos de tratamento biológico de efluentes líquidos dividem-se em dois grandes segmentos: os aeróbios e os anaeróbios. A escolha entre um ou outro processo depende de uma série de fatores ligados às características dos efluentes tratados. Estes dois processos dividem-se ainda em diversas tecnologias, compostas por lagoas e reatores dos mais variados tipos e formas.

Como os resíduos de atividades agroindustriais apresentam, em geral, elevada concentração de material orgânico, o seu lançamento em corpos hídricos pode proporcionar grande decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido, cuja magnitude depende da elevada concentração de sólidos, da vazão de efluente e da vazão do curso d'água.

Devido à elevada carga orgânica, geralmente o processo de tratamento de efluentes adotado nas agroindústrias é o tratamento de efluentes por meio de processos biológicos, devido ao seu custo benefício quando comparado com outros tipos de tratamento.

Os processos de tratamento dos resíduos líquidos biológicos de agroindústrias geram o descarte de uma biomassa em excesso, que pode ocorrer em maior ou menor quantidade, dependendo da escolha do tipo de tratamento adotado pela indústria, o qual se convencionou denominar de lodo biológico.

O lodo biológico é composto por biomassa ativa ou inerte. A parte ativa pode ser retornada ao sistema, pois será útil na biodegradação da matéria orgânica. Já a parte não utilizável, chamada de lodo em excesso, deverá ser decantada juntamente com os outros sólidos aglutinados presentes no sistema, os quais precisam ser retirados do processo de tratamento e destinados ou tratados de forma adequada de acordo com o determinado pela legislação ambiental vigente.

O lodo biológico tem, geralmente, alta carga orgânica, e invariavelmente precisa ter sua umidade reduzida, já que quando sai do sistema ainda na fase líquida nos decantadores, apresenta baixo teor de sólidos (entre 1 e 2 %), para depois ser transportado para um destino final ou tratamento adequado.

De uma forma ou de outra, o material que se convencionou chamar genericamente por lodo, tem composição e grau de estabilidade variável, e por isso sua destinação e tratamento se torna muito complexa.

Após sua separação, ainda devem ser aspectos preocupantes, o seu acondicionamento, seu desaguamento (retirada de umidade), tratamento dependendo do tipo do lodo e, por fim, o destino final, o qual deve ser feito por meio de uma alternativa tecnológica viável.

Com isso, as escolhas de alternativas tecnológicas muitas vezes são difíceis, fazendo com que as agroindústrias se deparem com a dificuldade em se escolher qual o melhor tratamento e destino final para este lodo. Os critérios utilizados para decidir sobre o destino variam de uma empresa para outra.

Geralmente, pesam nesta decisão os critérios legais (legislação ambiental federal, estadual e municipal), as limitações técnicas para destino do material como a umidade e a distancia a ser percorrida para a destinação do lodo além, é claro, do critério custo, muito importante na atividade industrial.

O custo é um importante fator na escolha do método de processamento do lodo. Observa-se que no caso do lodo de agroindústria, o custo é elevado e, segundo informações levantadas junto a uma agroindústria de café solúvel do norte do Paraná, representa até 40 % do custo final de destinação e tratamento em uma estação de tratamento biológico de efluente industrial.

A escolha do tratamento e destino final torna-se então, uma decisão que depende de muitas variáveis que devem ser avaliadas pelos especialistas, o que torna necessária a utilização de um processo decisório de análise o mais livre possível de subjetividades.

Existem diversos métodos decisórios que tentam eliminar ou pelo menos reduzir a subjetividade na decisão. Entre estes métodos, pode-se citar o AHP - ANALYTIC HIERARCHY PROCESS ou, Processo de Análise Hierárquica, como é conhecido em português. O método AHP, mostra-se interessante para os processos de tomada de decisão com multicritérios de escolha, pois por meio de comparações sucessivas dos critérios para cada alternativa em pares, termina por reduzir em muito a subjetividade nos julgamentos para escolha do melhor sistema a ser usado em uma determinada aplicação.

O AHP é um método de apoio à tomada de decisão desenvolvido na Wharton School of Business, por Thomas A. Saaty. Esta ferramenta permite aos tomadores de decisão modelarem problemas complexos em uma estrutura hierárquica, mostrando as relações entre metas, objetivos (critérios), sub-objetivos e alternativas. O resultado final é a hierarquização das alternativas baseado nos critérios escolhidos para avaliação.

Assim, devido à relevância do impacto causado pelo lodo biológico proveniente de estações de tratamento biológico de efluentes líquidas de agroindustriais, e à dificuldade em relação à decisão sobre a melhor alternativa de destinação baseada em critérios de avaliação, este trabalho empregou o método AHP de Saaty para auxílio na tomada de decisão e para hierarquizar as alternativas quanto à melhor destinação e tratamento dos lodos biológicos de agroindústrias.

2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O problema desta pesquisa está relacionado a destinação e ao tratamento de lodo biológico de agroindústrias e a tomada de decisão envolvida neste processo complexo.

Portanto, o desafio foi definir uma metodologia que possa ser utilizada para apoiar o processo de destinação e tratamento do lodo das agroindústrias, escolhendo entre alternativas pré-determinadas e hierarquizando-as quanto a sua preferência, com base em critérios definidos, de forma que se possa reduzir a subjetividade inerente aos processos de decisão.

Durante a revisão bibliográfica, foram encontrados trabalhos desenvolvidos com o objetivo de avaliar um processo que auxilie na tomada de decisão, em especial o método AHP mas, no entanto, não se encontrou nenhum que descrevesse este método sendo usado no processo de decisão para destinação de lodo biológico de agroindústria.

2.1 OBJETIVO GERAL

Definir uma metodologia, baseado no método AHP, para determinação da melhor alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodos de estações de tratamento biológico de efluentes de agroindústrias utilizando uma metodologia para apoio na tomada de decisão e hierarquização destas alternativas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir quais seriam as alternativas viáveis para destinação do lodo biológico de agroindústrias.
- Definir quais seriam os critérios a serem utilizados para ponderar sobre o processo de escolha da melhor alternativa.
- Criar uma metodologia que poderia ser empregada para auxiliar no processo de tomada de decisão e hierarquização das alternativas, baseada no método AHP.

Para responder ao primeiro ponto, foram realizadas reuniões com especialistas das agroindústrias estudadas, quanto à possibilidade e viabilidade de alternativas viáveis de tratamento e destinação final do lodo biológico das empresas.

Por outro lado, para a resposta do segundo ponto, optou-se pela utilização das opiniões de especialistas aliada às experiências do orientador e do autor da pesquisa, a fim de determinar quais critérios seriam os ideais para determinar os pesos relativos na hora de ponderar sobre as alternativas.

Quanto ao terceiro ponto, foi realizada uma intensa revisão bibliográfica até que fosse encontrada a melhor metodologia a ser empregada para auxiliar no processo de tomada de decisão quanto à hierarquização das alternativas para destino do lodo biológico das agroindústrias.

Escolheu-se a metodologia AHP – Análise Hierárquica de Processos para este fim. Esta metodologia foi desenvolvida para ser usada no trabalho como um método para tomada de decisão e hierarquização das alternativas para tratamento e destinação final do lodo de agroindústrias.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 EFLUENTES DE AGROINDÚSTRIAS

Chamamos de efluentes industriais ou “águas residuárias industriais” os resíduos líquidos que têm origem na indústria, e de “esgotos sanitários” quando estes resíduos líquidos são originados a partir da atividade humana cotidiana, como descargas de banheiro, banho e lavagem de roupas. (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

O Brasil é um grande produtor e exportador de produtos agrícolas. Uma das formas de se aumentar a renda dos produtores e o valor das mercadorias para a exportação é a agregação de valor ao produto por meio de processamentos agroindustriais.

As agroindústrias produzem grande quantidade de efluentes, com variáveis graus de contaminação e um grande número de substâncias, principalmente matéria orgânica proveniente do processamento de alimentos de origem vegetal e animal.

Os resíduos agroindustriais são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar e álcool, café, grãos, etc., sendo sua produção, geralmente, sazonal e condicionada pela maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima.

As águas residuárias destes processos podem ser o resultado da lavagem do produto, escaldamento, cozimento, pasteurização, resfriamento e lavagem do equipamento de processamento dos produtos e das instalações que as processam (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Águas residuárias do processamento de produtos animais, tais como as geradas em laticínios, matadouros e curtumes, são muito poluidoras, podendo conter gordura, sólidos orgânicos e inorgânicos, além de substâncias químicas que podem ser adicionadas durante as operações de processamento.

Por outro lado as águas residuárias geradas no processamento de produtos de origem vegetal podem conter, além de elevado conteúdo de material orgânico, outros poluentes, tais como minerais que fazem parte do solo de onde a cultura foi colhida, restos de vegetais e pesticidas.

Tabela 1 – Características de alguns efluentes industriais

Agroindústria	Unidade básica de produção	Volume de despejo por unidade de produção (litros)	DBO₅ (20 °C) mg/l
Curtumes	45 Kg de couro cru	9 a 90	400 a 5.000
Matadouro	1 boi, 1 porco	220 a 1.300	800 a 5.000
	1 carneiro	90 a 450	
Laticínios	4,5 L de leite	4,5 a 25	300 a 2.000
Enlatados	1 t de matéria prima	910 a 3.200	300 a 3.000
Cervejarias	4,5 L de cerveja	25 a 130	400 a 1.200

Fonte: Adaptado de Derisio (1992).

Os principais impactos ambientais proporcionados pelo lançamento de águas residuárias agroindustriais, sem tratamento prévio, em corpos hídricos são a elevação da DBO da água, o que provoca diminuição do oxigênio dissolvido no meio, a alteração da temperatura do meio hídrico e o aumento da concentração de sólidos solúveis totais (SST), provocando aumento da turbidez e mudança na cor da água, podendo vir a provocar a eutrofização dos corpos hídricos, mudanças de pH da água e a proliferação de doenças veiculadas pela água (CAVALCANTI, 2009).

3.1.1 Efluentes de Agroindústria de Café Solúvel

Os efluentes provenientes do processo de industrialização do café solúvel possuem uma carga orgânica muito alta, proveniente do processo de higienização de tanques e linhas de extrato de café nos processos de extração, concentração e secagem. Também há uma contribuição importante dos processos de lavagens dos equipamentos spray dry e aglomeradores de pó.

Figura 1 – Fluxograma do processo de café solúvel



Fonte: Indústria de Café Solúvel - Norte do Paraná

As estações de tratamento de efluentes de indústrias de café solúvel são bastante variáveis no Brasil quanto ao processo de tratamento empregado, pois estas dependem da configuração da empresa, dos produtos produzidos (café solúvel spray dry, liofilizado, aglomerado ou misturas com café) e os tipos de equipamentos utilizados no processo produtivo.

No entanto, em todos os casos conhecidos, o processo escolhido é sempre o tratamento biológico, seja por aeração prolongada, lagoas aeróbias, processos anaeróbios ou mistos (anaeróbio e aeróbio), sendo que todos os processos são geradores de lodos em maior ou menor intensidade.

Figura 2 – Foto aérea de uma estação de tratamento de efluentes de indústria de café solúvel pelo processo de aeração prolongada



Fonte: Banco de fotos de indústria de café solúvel

No Brasil as indústrias de café solúvel contam com fábricas de grande porte, onde podemos destacar, a maior fábrica em volume fabricado no

mundo (Araras – SP) e a terceira e a quinta maior fábrica de café solúvel do mundo em volume, instaladas na região sul do país (Londrina e Cornélio Procópio – PR).

São fábricas geradoras de grandes volumes de lodos a ser tratado, o que acabaria por gerar um impacto ambiental significativo, se o tratamento e a disposição final de lodo não fossem realizados de forma adequada. A tabela 2 mostra a composição média deste efluente no ano de 2011 na quinta maior empresa de café solúvel do mundo.

Tabela 2 – Composição média do efluente de café solúvel

Vazão (m ³ /h)	DQO entrada (mg/l)	DBO entrada (mg/l)	pH	DQO saída (mg/l)	DBO saída (mg/l)
72	8.000	3.500	8,7	85	40

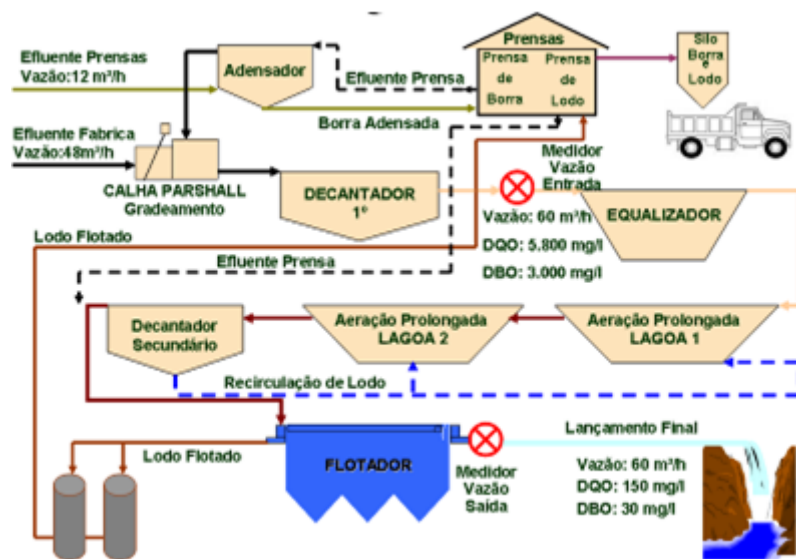
Fonte: Empresa de café solúvel

3.1.1.1 Sistema de tratamento de indústria de café solúvel

Como mencionado, os sistemas de tratamento de efluentes de indústrias de café solúvel são muito variáveis. No Brasil observa-se o uso de tratamento por lagoas de estabilização (região Sudeste), de infiltração em solo e aeração prolongada (região sul), até a combinação de sistemas aeróbios e anaeróbios (Estado de São Paulo).

A quinta maior indústria de café solúvel do mundo, localizada na região sul do Brasil, faz uso de um processo de tratamento biológico por aeração prolongada como tecnologia em sua estação de tratamento, e posterior tratamento terciário por meio de um flotador, operando em condições especiais para melhoria da cor do efluente, devido à necessidade de retirada do tanino (Figura 3).

Figura 3 – Fluxograma simplificado de estação de tratamento de efluentes de indústria de café solúvel pelo processo de aeração prolongada



Fonte: Banco de dados de indústria de café solúvel

Esta estação gera cerca de 75 toneladas de lodo úmido por dia (umidade média de 78 % após deságüe em prensas desaguadoras).

Este grande volume de lodo se explica, pois a carga orgânica de entrada é muito alta (DBO média de 3.500 mg/l), e os processos de tratamento primário, secundário e terciário possuem em conjunto uma eficiência de 97,8%, sendo que o tratamento biológico por aeração é responsável por quase todo o lodo gerado na estação de tratamento.

3.1.2 Características do Lodo Biológico de Indústria de Café Solúvel

Há poucos dados na literatura descrevendo as características de lodos biológicos de agroindústrias. Isto se deve ao fato deste material, devido a sua origem, ter uma composição extremamente variável. Há também um grande número de processos industriais geradores de lodo biológico.

Desta forma, devido ao grande número de substâncias químicas que compõem o lodo biológico agroindustrial, há dificuldade em se realizar uma caracterização precisa (COSSICH, 2006).

Estes fatores dificultam a decisão sobre a alternativa mais viável para destinar ou tratar este material, gerando dúvidas para os especialistas das empresas na hora de decidir seu destino final ou tratamento.

Na tabela 3, tem-se um resumo das características químicas e físicas do lodo de uma indústria de café solúvel. As análises efetuadas seguem as recomendadas da Resolução Conama 375 de 29 de agosto de 2006, resultando em um lodo classe A.

Tabela 3 – Concentrações de substâncias inorgânicas no biossólido da empresa estudada de acordo com a tabela 2 da Resolução Conama 375 de 29 de agosto de 2006

Parâmetros	Resultados (mg/Kg)	Limites (mg/Kg)
Arsênio total	ND*	41
Bário total	ND*	1300
Cádmio total	ND*	39
Chumbo total	3,10	300
Cobre total	6,38	1500
Cromo total	3,90	1000
Mercúrio total	ND*	17
Molibdênio total	1,66	50
Níquel total	1,50	420
Selênio total	ND*	100
Zinco total	7,86	2800

Fonte: laudo de análise da indústria de café solúvel estudada

ND* – Não Detectado

Outro ponto bastante importante a ser considerado na análise do lodo, é o potencial agrônômico do material. Esta análise é solicitado pelos engenheiros agrônomos na ocasião em que estes profissionais verificam se o lodo pode ser usado como complementação na adubação de solos de uma determinada região. A tabela 4 traz o resultado de análises efetuadas no lodo de uma industria de café solúvel.

Tabela 4 – Análise do potencial agrônômico do lodo de indústria de café solúvel

Parâmetros	Resultados	Unidade
Acidez total (como CaCO ₃)	0,45	g/100g
Alcalinidade total (como CaCO ₃)	0,60	g/100g
Cálcio	0,015	g/100g
Carbono orgânico	3,36	g/100g
Cobre	6,29	mg/Kg
Enxofre total	0,25	g/100g
Ferro total	0,92	g/100g
Fósforo solúvel em citrato de amônio (como P ₂ O ₅)	ND	g/100g
Fósforo total	0,032	g/100g
Magnésio	80,42	mg/Kg
Manganês	5,49	mg/Kg
Matéria orgânica total	7,12	g/100g
Materiais voláteis a 110 C	91,37	g/100g
Materiais voláteis a 550 C	98,49	g/100g
Nitrogênio amoniacal	0,11	g/100g
Nitrogênio total	0,22	g/100g
pH	6,8	g/100g
Potássio	0,028	g/100g
Resíduo mineral fixo a 550 C	1,51	g/100g
Sódio	0,053	g/100g
Sólidos totais fixos a 110 C	8,63	g/100g
Zinco	8,18	mg/Kg

Fonte: Indústria de café solúvel do norte do Paraná

Outro ponto importante a ser considerado são os parâmetros parasitológicos do lodo. Estes indicam se um lodo pode ser usado de forma segura no solo, sem pôr em risco a segurança do alimento ali cultivado. Na tabela 5, tem-se o resultado de uma análise de lodo de indústria de café solúvel segundo a Resolução Conama 375 de 29 de agosto de 2006.

Tabela 5 – Parâmetros parasitológicos e microbiológicos em lodo de indústria de café solúvel

Helminto	Média		Total
	Viáveis	Inviáveis	
Ascaris sp.	0	0	0
Toxocara sp.	0	0	0
Trichuris trichiura	0	0	0
Trichuris vulpis	0	0	0
Trichuroidea	0	0	0
Hymenolepis diminuta	0	0	0
Taenia sp.	0	0	0
Total Geral	0	0	0
Protozoários	0		
Contagem de Coliformes Termotolerantes (NMP / g ST)	2,2 x 10 ²		

Fonte: Indústria de café solúvel do norte do Paraná

3.1.3 Critérios para Destinação de Lodo de Estações de Tratamento Biológico de Efluentes de Outras Agroindústrias

Dentre as maiores dificuldades para destinação dos lodos de agroindústrias, está o cumprimento da legislação ambiental, as dificuldades técnicas em realizar o desaguamento do material (retirada da água), os prazos para viabilizar a destinação ou tratamento por meio da compra de equipamentos, dos instrumentos, da construção de benfeitorias e da contratação de pessoal, e os custos de transporte, destinação ou tratamento e de transporte do material.

As alternativas para destinação de lodo agro-industrial também são poucas. A mais comum é o aterro industrial, destino caro e pouco sustentável, pois nestes sistemas a matéria orgânica irá produzir metano, gás causador de efeito estufa. No caso de destinação para solo agrícola, sequer têm-se uma legislação específica para isso, sendo que apenas conta-se com uma legislação para lodos de esgoto sanitário, que é a resolução CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006.

A incineração com aproveitamento energético é uma boa alternativa, mas é cara e só é viável quando há uma necessidade energética próxima da fonte geradora, pois os custos de investimento no equipamento e desumidificação são altos. Todas estas variáveis tornam o processo de decisão do destino ou tratamento do lodo de agroindústria bastante complexo.

3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento de águas residuárias divide-se em operações e em processos unitários, e sua integração compõe um sistema de tratamento. Estas operações são empregadas na remoção de substâncias indesejáveis das águas residuárias, ou na transformação destas substâncias em outras de menor poder poluidor (Von Sperling et al., 1997).

De uma forma geral, podem-se adotar as seguintes definições quando falamos de processos de tratamento de águas residuárias (Metcalf e Eddy, 2003):

- a) Operações físicas unitárias: métodos de tratamento no qual predomina a ação de forças físicas, como nas operações de gradeamento, floculação, flotação, filtração, etc
- b) Processos químicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção ou a conversão de contaminantes ocorre por adição de produtos químicos, os quais removem os poluentes por meio de reações químicas como na precipitação, adsorção e desinfecção.
- c) Processos biológicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica como no caso das lagoas de tratamento aeróbias e anaeróbias, processos de desnitrificação, dentre outros.

A implantação dos diversos níveis de tratamento depende, basicamente, das eficiências que se deseja atingir na eliminação dos contaminantes das águas residuárias.

O tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos em suspensão grosseiros (materiais diversos de maior dimensão e areia), com a utilização de mecanismos físicos como método de tratamento (gradeamento – figura 4 e câmara de desarenação, por exemplo).

O tratamento primário destina se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes com a utilização de mecanismos físicos como método de tratamento (decantadores primário – figura 4, tanques sépticos e outros).

Figura 4 – Gradeamento e decantador primário



Fonte: Banco de fotos de agroindústria de café solúvel

Conforme Von Sperling et al. (1997) o tratamento secundário faz uso de uma etapa para remoção biológica da matéria orgânica fina em suspensão e na forma de sólidos dissolvidos. Neste nível de tratamento os processos podem ser divididos em sistemas mais simples sem mecanização (como lagoas de estabilização ou sistemas anaeróbios) e sistemas mecanizados (lagoas de estabilização com aeração, filtros biológicos, decantadores secundários e lodos ativados – Figura 5).

Figura 5 – Lodos ativados e decantador secundário



Fonte: Banco de fotos de agroindústria de café solúvel

O tratamento biológico de águas residuárias de constituição predominantemente orgânica e biodegradável, se dá pela ação de microorganismos que metabolizam a matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, seja na forma coloidal, em suspensão ou dissolvida, estabilizando-a por meio de sua transformação em gases ou outros subprodutos, entre eles o lodo (VON SPERLING et al., 1997).

Os principais objetivos do tratamento biológico são a remoção de conteúdo orgânico do efluente tratado, em especial matéria orgânica carbonácea, a remoção de nitrogênio e fósforo, e a redução parcial ou total de alguns compostos orgânicos tóxicos ou persistentes (CAVALCANTI, 2009).

Segundo Cavalcanti (2009), os organismos envolvidos nestes processos de decomposição de matéria orgânica são as bactérias, fungos, protozoários, rotíferos e as algas. Este processo é basicamente realizado pelos microorganismos por meio da sua nutrição ou respiração, por meio de reações de oxi-redução.

Nas reações aeróbias, a oxi-redução ocorre sob a ação do oxigênio molecular, que é o receptor de elétrons, produzindo gás carbônico e água, transformado assim a matéria orgânica presente no efluente, diminuindo sua

capacidade de poluir. Neste caso a oxidação é completa, ou seja, a molécula orgânica é totalmente desmembrada, o que resulta em processos mais eficientes de conversão da matéria orgânica que nos outros processos, desde que o este seja bem gerenciado.

Nas reações anaeróbias, a oxi-redução ocorre sem a presença de oxigênio molecular, e desta forma os receptores de elétrons podem ser algumas formas de carbono (CO_2), enxofre (SO_2^-) e nitrogênio (NO_3), além do íon férrico e tetracloreto de carbono (CCl_4), entre outros.

Neste caso a matéria orgânica será em parte transformada em gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4). Neste caso a respiração é apenas parcial, e a degradação dá origem a subprodutos de estrutura molecular mais elevada como metano, alcoóis, ácidos e cetonas, as quais possuem alto potencial energético.

3.2.1 Sistemas Aeróbios de Tratamento

São aqueles nos quais a atividade microbiológica predominante é aeróbia, ou seja, ocorre por meio da respiração celular do oxigênio dissolvido no meio, a qual age para degradar a matéria orgânica presente no efluente (M.O.) resultando como produtos a biomassa, CO_2 (gás carbônico) e H_2O (água), segundo a reação química (CAVALCANTI, 2009):



O fornecimento de O_2 pode ocorrer de forma natural, como por exemplo, nas lagoas de estabilização facultativas (por meio da fotossíntese das algas), ou por meios mecânicos, através de sistemas de aeração. A principal tecnologia de tratamento aeróbio usado no tratamento de efluentes e a de lodos ativados em suas diversas variações como, por exemplo, as lagoas aeróbias e os filtros biológicos.

Para o caso dos sistemas aeróbios, a geração de lodo biológico se dá na ordem de 0,25 g de SSV / g de DQO removida, enquanto que no caso dos sistemas anaeróbios (sem presença de oxigênio), a taxa de geração de lodo é na ordem de 0,1 g de SSV / g de DQO removida (CAVALCANTI, 2009).

3.2.2 Sistemas Aeróbios de Tratamento

São aqueles em que o tratamento de efluentes ocorre na ausência de oxigênio, onde as bactérias realizam o seu metabolismo digerindo a matéria orgânica segundo a reação:



3.3 GERAÇÃO, TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LODOS

No sistema de lodo ativado, o lodo biológico é constituído de duas frações (Andreoli et al., 2001):

Lodo Ativo: microrganismos atuantes na utilização do material orgânico, gerados a partir da síntese de material orgânico do afluente. A composição dos organismos vivos pode variar de um sistema para outro, dependendo da natureza da água residuária e das condições operacionais do sistema, como idade de lodo

Lodo Inativo: material orgânico não biodegradável formado pelo lodo inerte (material orgânico não biodegradável e particulado) e resíduo endógeno. Este lodo inativo precisa ser retirado constantemente do sistema a fim de garantir o seu equilíbrio. Depois de retirado, precisa de um tratamento prévio para poder ser destinado de forma ambientalmente correta.

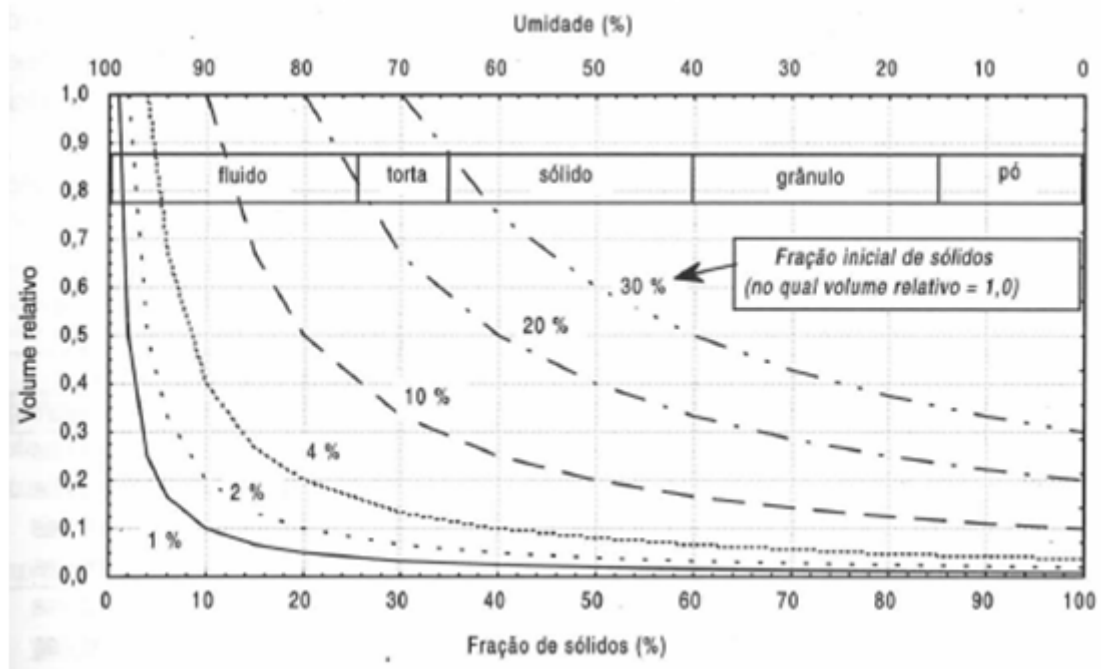
A quantidade de lodo inativo gerado e que precisa ser descartado, depende no nível do tratamento e da tecnologia utilizada. Os sistemas aeróbios produzem mais lodo por grama de DBO removida que os anaeróbios.

O lodo em excesso dos sistemas de tratamento biológico, saem, geralmente em fase líquida por meio de sedimentação em decantadores secundários, sendo que ao sair destes sistemas, apresenta uma baixa concentração de sólidos (entre 1% e 2%).

No entanto, pequenos aumentos na concentração de sólidos, representam uma grande redução no volume de lodo a ser tratado, como pode-se ver na figura abaixo. Este mostra que o aumento de 1% no teor de sólidos, representa uma redução relativa de 50% no do volume de lodo, mostrando que

mesmo em pequenas quantidades, o aumento de sólidos é fundamental para a simplificação do processo de destinação e tratamento, e assim na redução de custos.

Figura 6 – Variação do volume de lodo em função do teor de sólidos



Fonte: Andreoli et. al. (2001)

Neste ponto, fica claro que a questão do desaguamento do lodo (retirada de água) é fundamental, pois determinará o volume de lodo que deverá ser tratado adiante.

3.3.1 Processos de Tratamento de Lodos

Segundo Cavalcanti (2009), a parte dos poluentes removida no fim dos processos biológicos denominado lodo necessita, na maioria dos casos, sofrer um tratamento complementar denominado de condicionamento, que pode ser uma digestão aeróbia ou anaeróbia ou um processo físico (adensamento ou espessamento), ou químico (coagulação).

3.3.1.1 Adensamento ou espessamento

O adensamento ou espessamento é um processo físico de concentração de sólidos que busca a redução da umidade e conseqüentemente do volume do lodo, o que por sua vez facilita as etapas seguintes.

No fluxo do lodo em uma ETE pode haver duas etapas de remoção de umidade: o adensamento ou espessamento, e o desaguamento ou desidratação. O primeiro é mais utilizado nos processos de tratamento primário e lodos ativados, e o segundo para o lodo digerido.

Os principais processos utilizados para o adensamento do lodo são:

- adensadores por gravidade;
- flotadores por ar dissolvido;
- centrífugas.

3.3.1.2 Estabilização do lodo

A estabilização visa remover patógenos, facilitar a desidratação e reduzir os maus odores no processo de tratamento do lodo, através da remoção da matéria orgânica biodegradável.

Os processos de estabilização visam a redução de patógenos, devido ao risco de putrefação e conseqüentes odores ofensivos oriundos da fração biodegradável do lodo. Os processos de estabilização podem ser divididos em:

- estabilização biológica: utilizando bactérias específicas para estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica, por processos de digestão anaeróbia ou aeróbia;
- estabilização química: oxidação química da matéria orgânica através da adição de produtos químicos;
- estabilização térmica: obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados.

3.3.1.3 Condicionamento do lodo

O condicionamento é um processo preparatório, no qual produtos químicos (coagulantes, polieletrólitos) são adicionados ao lodo, visando aumentar a captura de sólidos nos processos de desidratação.

Lodos ativados ou mistos para serem concentrados a teores de sólidos acima de 4 ou 6 %, necessitam de um tratamento prévio de condicionamento, que aumente a aptidão à desidratação e a captura de sólidos.

O condicionamento neutraliza ou desestabiliza as forças químicas ou físicas atuantes nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imerso em meio líquido (VON SPERLING, 1997).

Este processo de desestabilização permite que as partículas pequenas se juntem para formar agregados maiores, ou seja, os flocos. Isto é obtido através da formação de espécies poliméricas – polímeros de hidróxidos metálicos – chamada de coagulação/floculação por varredura.

O condicionamento pode ser realizado pela adição de produtos químicos inorgânicos e, ou orgânicos, aplicados no lodo a montante da unidade de desidratação, e seu papel é o de favorecer a agregação das partículas de sólidos e a formação de flocos.

Os coagulantes inorgânicos mais comuns são: sulfato de alumínio, cloreto ferroso, cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico, cal virgem, cal hidratada. Os mais utilizados são a cal e o cloreto férrico.

O condicionamento químico inorgânico aumenta consideravelmente a massa de lodo a ser gerenciada na estação, pois as quantidades adicionadas de coagulantes são relativamente grandes e tornam-se parte das tortas de lodo produzidas. Apesar de estabilizar o lodo, o condicionamento químico contribui para a redução do potencial de queima para incineração.

Os polieletrólitos são compostos orgânicos sintéticos de alto peso molecular que podem ser usados como coagulantes ou auxiliares de floculação. Dependendo da carga superficial predominante, podem ser classificados como catiônicos, aniônicos e não iônicos ou neutros.

A quantidade de polieletrólito a ser utilizada depende das características do lodo e dos processos mecânicos envolvidos, podendo variar de

0,2 a 15 kg/t de lodo, não implicando em ganho significativo de massa e volume no lodo, como ocorre no condicionamento inorgânico (CAVALCANTI, 2009).

3.3.1.4 Desaguamento e secagem do lodo

A desidratação ou desaguamento visa remover a água e reduzir ainda mais o volume do lodo, aproximando seu comportamento mecânico ao dos sólidos. A remoção da umidade é uma operação fundamental para a redução da massa e volume do lodo produzido na ETE, e conseqüente redução de custos de transporte e disposição.

Os processos de destinação final do lodo biológico pressupõem a secagem prévia do material de forma a garantir a sua segurança ambiental para armazenamento, transporte e destino final, bem como uma melhor condição em relação aos custos de destinação (ANDREOLI et al., 2001). A legislação ambiental e as empresas administradoras de aterros de resíduos perigosos não recebem lodos com água livre ou que apresentem umidade superior a 70% (PROSAB, 2000).

Os processos de secagem de resíduos podem ser classificados em naturais ou mecânicos. A secagem natural pode ser dividida em leitos de secagem ou lagoas de lodo. A secagem mecânica pode ser dividida em: filtros-prensa e a vácuo, “decanter” centrífugas e prensa desaguadora contínua (“belt press”). A secagem de qualquer lodo oriundo de estações de tratamento está intimamente ligada às características de hidratação do lodo e ao destino do mesmo.

No caso de lodos originados em tratamentos biológicos pode-se, como etapa prévia, reduzir a sua massa por meio de processos de digestão aeróbia ou anaeróbia. Neste caso tem-se um aumento de fração de sólidos fixos em relação aos sólidos voláteis.

Estes processos são denominados de estabilização dos lodos e tem como objetivos principais aumentar a concentração de sólidos no lodo, desestabilizar os colóides responsáveis pela hidratação dos lodos e a redução de microorganismos patogênicos no lodo.

Antes da etapa final de secagem utiliza-se o adensamento como uma etapa necessária à concentração do lodo originado nos processos biológicos geradores ou utilizados para a sua estabilização. O condicionamento químico do lodo a ser submetido à secagem mecânica também é muitas vezes necessário seja

pela utilização de floculantes (polieletrólitos) ou pela adição de coagulantes (cal ou sais de ferro ou alumínio), mesmo quando tenha ocorrido o condicionamento biológico prévio.

a) Secagem natural

Pode ser obtida em lagoas de lodo ou em leitos de secagem. Nos dois casos a secagem é obtida por três fatores: ação dos ventos, temperaturas altas e insolação direta (PROSAB, 2000).

A ação dos ventos é o fator mais importante para a secagem do lodo. As temperaturas mais altas favorecem a formação de vapores de água, acelerando a secagem. A insolação direta favorece não só o aumento da temperatura do lodo como também os raios solares promovem a degradação dos lodos e a redução de microorganismos.

Lagoas de lodo são usadas para adensamento, digestão complementar, desaguamento e até mesmo para disposição final de lodos (ANDREOLI et. al., 2001). A secagem do lodo nas lagoas ocorre de forma lenta. Nestas lagoas ocorre anaerobiose nas camadas inferiores e a presença de algas na camada superior. Nas lagoas de lodo ocorre o processo de secagem natural por fatores climáticos, bem como pela redução do volume por biodegradação.

O descarte de lodo para os leitos de secagem deve ser realizado de forma única, ou seja, completando-se a altura máxima da camada de lodo de uma única vez. É uma das técnicas mais antigas utilizadas na secagem de lodos, tendo um baixo custo de implantação se comparado com outras técnicas (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

O processo caracteriza-se por um tanque, geralmente retangular, de paredes de alvenaria ou concreto, formado por uma parte responsável pela drenagem permitindo que o líquido escorra (soleira drenante), por uma camada que serve de suporte durante a raspagem do lodo composta por tijolos (camada suporte), e outra composta por tubos assentados com juntas abertas ou perfuradas para recolhimento do líquido drenante (sistema de drenagem) que recolhe o líquido e o envia para tratamento (ANDREOLI et al., 2001).

Após a drenagem ou desaguamento, inicia-se o processo de secagem propriamente dito, sendo controlada pela ação dos ventos, insolação

direta, temperatura ambiente e características do lodo. Os leitos de secagem devem ser instalados em locais não sombreados e com paredes laterais não superiores a 0,50 m em relação ao nível dos tijolos. Devem ser evitados obstáculos à boa circulação do ar (PROSAB, 2000).

O leito de secagem é o processo que apresenta o lodo seco com menor percentual de umidade e mais estabilizado. São obtidos teores de sólidos de até 80 %.

Apesar da remoção do lodo seco ser manual, este processo apresenta menor envolvimento de mão de obra que os processos mecanizados. Como desvantagens têm uma maior área necessária.

b) Secagem mecânica

Uma das formas utilizadas de secagem mecânica é o filtro a vácuo. São utilizados dois tipos, sendo um que opera com pré-capa e outro que utiliza uma tela que é continuamente limpa.

A vantagem do filtro a vácuo é o teor de sólidos alto, não sendo necessário o condicionamento prévio do lodo. As desvantagens são o alto consumo de energia e a maior quantidade de lodo gerada quando é necessária a formação de pré-capa. O teor de sólidos varia normalmente na faixa de 15 a 30% (CAVALCANTI, 2009).

A prensa desaguadora é um equipamento atualmente de custo relativo inferior aos dos outros sistemas mecânicos de secagem (ANDREOLLI et al, 2001). Para sua operação é necessário o condicionamento de lodo, iniciando pelo adensamento, sendo necessária a adição de polieletrólito para a desestabilização dos colóides e a formação de grumos.

O teor de sólidos a ser atingido depende das características do lodo, mas normalmente varia na faixa de 15 a 30% (PROSAB, 2000). A desvantagem em relação aos outros processos mecanizados é o maior consumo de água, necessário para a lavagem das telas (figura 6).

Figura 7 – Vista do início do processo de desaguamento do lodo, por uma prensa desaguadora.



Fonte: Banco de fotos de agroindústria de café solúvel

Já a centrifugação é um processo de separação sólido-líquido forçada pela ação de uma força centrífuga (ANDREOLI et al., 2001). Para isso é utilizado um equipamento conhecido como decanter-centrífuga, que pode ser única ou instalada em série.

O decanter-centrífuga pressupõe também o condicionamento do lodo, sendo necessária a adição de polieletrólito para desestabilização dos colóides e a formação de grumos. Os teores de sólidos no lodo seco variam na faixa de 15 a 30%. No fim de cada ciclo de operação o decanter-centrífuga deve ser lavado (PROSAB, 2000).

Estão disponíveis no mercado equipamentos que vão desde 2,5 m³/h de deságüe de lodo até 180 m³/h (ANDREOLI et al., 2001)

O filtro-prensa, equipamento que foi originalmente desenvolvido para uso industrial em processos diversos, foi adaptado para deságüe de lodo posteriormente (ANDREOLLI et al., 2001). O filtro-Prensa opera em batelada, com diversas pressões diferentes, sendo utilizados diversos tipos de tecidos ou telas. A seleção dos tecidos ou papel é realizada por meio de testes em filtros piloto e no caso de lodos com características conhecidas, pelos catálogos dos fabricantes.

A desvantagem do filtro-prensa é que o sistema é descontínuo, ou seja, a cada ciclo de operação, o sistema deve ser desligado para a remoção das tortas de lodo. As operações de desmoldagem e remoção das tortas podem ser automatizadas. O lodo seco é o que normalmente apresenta o maior teor de sólidos entre os processos mecanizados (aproximadamente 50 %).

3.3.1.5 Higienização do lodo

A desinfecção ou higienização é uma operação necessária caso o destino do lodo para a agricultura, buscando complementar a digestão aeróbia ou anaeróbia na redução do nível de patógenos a patamares aceitáveis (ANDREOLI et. al, 2001).

Os níveis de patogenicidade do lodo podem ser substancialmente reduzidos através de processos como a digestão anaeróbia. Entretanto muitos parasitas intestinais e principalmente seus ovos são pouco afetados por processos de digestão convencionais, necessitando uma etapa complementar ou conjugada aos processos convencionais para a adequada redução dos níveis de riscos à saúde da população, de acordo com as exigências de cada tipo de utilização.

Os mecanismos de higienização do lodo podem ser realizados por via térmica, via química, biológica e por radiação Beta e Gama.

O processo mais utilizado de higienização de lodo no Brasil é a calagem. A calagem se dá pela adição de quantidade suficiente de cal ao lodo para aumentar o pH para no mínimo 12, resultando em redução de microrganismos e da potencial ocorrência de odores.

A dosagem de cal é função das características do lodo, variando de 190 a 350 kg Ca(OH)_2 por tonelada de sólidos secos para lodo ativado, e de 125 a 225 para lodo digerido. O lodo líquido tratado com cal é facilmente desidratado por meio mecanizado, adequando-se à disposição final.

3.3.1.6 Tratamento e disposição final do lodo

Os principais tipos de tratamento e destinação final de lodo são:

- secagem térmica;
- compostagem;

- incineração com e sem reaproveitamento de energia;
- disposição em aterro sanitário.
- disposição em solo

As três primeiras alternativas produzem resíduos, que por sua vez exigem disposição final, sendo considerados portanto sistemas de tratamento do lodo. Já a disposição em aterro e no solo pode ser classificada como rota de disposição final.

No caso da secagem térmica, usualmente, o lodo pode ser destinado posteriormente para aterro, ou ainda aplicado ao solo seguindo uma taxa de aplicação específica para cada cultura, e segundo orientação de um agrônomo. Para isto ocorrer, é necessário que o lodo seco possua potencial agronômico e não possua contaminante que limite sua aplicação no solo.

No caso da incineração, as cinzas usualmente são enviadas para aterro. A disposição das cinzas no solo depende também de análise do potencial poluidor e da vantagem agronômica.

Quando há reaproveitamento de energia, o calor resultante é usado para geração de vapor para aquecimento ou resfriamento (absorção), ou ainda para co-geração de energia no caso de caldeiras de vapor superaquecido.

Para isto ser possível, é necessário um estudo de viabilidade, pois os equipamentos e benfeitorias necessárias para a queima com reaproveitamento energético têm alto custo, e o poder calorífico do lodo, geralmente, é muito baixo.

No caso da compostagem, a disposição no solo é a alternativa mais usada. Aí valem também as regras de verificação do potencial agronômico e da segurança do material quanto à contaminação física, química e microbiológica.

3.4 O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS - AHP

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) ou Análise Hierárquica de processos em português foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 sendo o método de multicritério mais amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão e na resolução de conflitos negociados em problemas com múltiplos critérios (TREVISANO; FREITAS, 2005).

O AHP é uma técnica de análise de decisão e planejamento desenvolvida em resposta ao planejamento de contingência militar e empresarial,

tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados (SAATY, 1991).

Desde então, tem mostrado ser uma metodologia viável e útil, fornecendo a cientistas de diferentes áreas um novo meio de olhar os seus velhos problemas. O método reflete a maneira pela qual a mente humana conceitualiza e estrutura um problema complexo qualquer.

O método natural de funcionamento da mente humana, quando se defronta com um grande número de elementos que abrangem uma situação complexa, é agregá-los em grupos, segundo características comuns, ou seja, quando o ser humano identifica algum problema complexo para tomar uma decisão, ele decompõe esta complexidade, e quando descobre relações, as sintetiza.

Este é o processo fundamental utilizado nos processos de percepção da realidade e avaliação de possibilidades da mente humana: decomposição e síntese (TREVISANO;FREITAS, 2005).

Assim, vemos que o método AHP baseia-se no modelo newtoniano e cartesiano de pensar, que busca tratar a complexidade das decisões por meio da decomposição e divisão do problema em fatores (critérios), que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo (sub-critérios), todos dimensionáveis, estabelecendo relações entre estes elementos, para depois sintetizar a decisão (SAATY, 1991).

Segundo Barbarosoglu e Pinhas (1995), o método AHP é aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos econômico, político, social e ambiental, devido a sua simplicidade, sólida base matemática e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos.

O AHP baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas por meio de comparações par a par (TOMA; ASHARIF, 2003). Trata-se de uma abordagem flexível que utiliza a lógica aliada à intuição, com a finalidade de obter julgamentos por meio de consenso (SCHIMIDT, 2003).

A metodologia AHP baseia-se ainda no princípio de que, para a tomada de decisão correta, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso quanto os dados utilizados, por isso é fundamental a presença de especialistas no assunto que está sendo estudando a fim de que uma boa decisão final seja tomada pelos decisores.

É um processo flexível, que apela para a lógica no pensamento humano e ao mesmo tempo, utiliza a intuição inerente do ser humano. O ingrediente principal que tem levado as aplicações com o AHP a terem sucesso, é o poder de incluir e medir fatores qualitativos e/ou quantitativos seja eles tangíveis ou intangíveis, e a facilidade de uso, pois apresenta uma matemática não muito complexa.

Na aplicação do método AHP, são consideradas as diferenças e os conflitos de opiniões entre os especialistas (ou decisores, como menciona Saaty, 1991), que se forem exageradas, podem ser medidas e refeitas em termos de opiniões. Assim, o AHP é utilizado para obter julgamentos por meio de consenso (BARBAROSOGLU; PINHAS, 1995).

Uma das características que diferenciam o AHP de outros enfoques para a tomada de decisão é a capacidade para tratar com atributos tangíveis e intangíveis, os quais sempre aparecem no processo de tomada de decisão. Outra característica importante é a capacidade para monitorar a consistência com a qual os tomadores de decisão fazem seus julgamentos.

Jansen, Shimizu e Jansen (2004) mencionam a escolha do método de análise hierárquica para uso em situações onde a utilização de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios se faz necessária, mostrando que o método AHP era vantajoso na análise de problemas multicritérios quando o número de alternativas for inferior a nove e estas forem independentes entre si.

3.4.1 As Etapas do Método AHP

O método AHP se baseia em algumas etapas baseadas no pensamento analítico. Para facilitar a compreensão do método, alguns autores acabam dividindo o método AHP em 4 etapas básicas para uma melhor compreensão:

a) Etapa 1 - Construção de hierarquias:

No método AHP, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo.

Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios, sub-critérios e as alternativas possam ser estruturados, sendo que no primeiro nível da hierarquia, temos o propósito geral do problema (meta decisão), no segundo nível temos os critérios e sub-critérios, e no terceiro as alternativas para tomada de decisão (SAATY, 1991). A ordenação em níveis serve para dois propósitos:

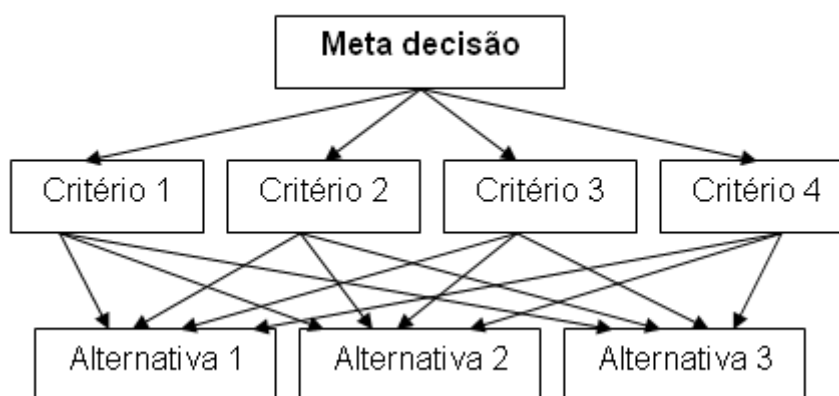
- a) fornecer uma visão global da relação complexa inerente à situação
- b) ajudar o tomador de decisão a avaliar se os critérios de cada nível são da mesma ordem de magnitude.

De acordo com Bornia e Wernke (2001) a ordenação hierárquica possibilita ao “decisor” ter uma visualização do sistema como um todo assim como de seus componentes, bem como das interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema.

Auxilia também ao decisor a compreender o problema de forma global, assim como a relação de complexidade entre seus diversos elementos, ajudando na avaliação da dimensão e conteúdo dos critérios, por meio de da comparação homogênea dos elementos.

A figura 7 apresenta a estrutura hierárquica básica do método AHP proposto por Gartner, 2001. Esta estrutura representa um problema hipotético onde há uma meta decisão, 4 critérios de escolha e 3 alternativas, nas quais queremos determinar qual é a preferida.

Figura 8 – Estrutura Hierárquica Geral do método AHP



Fonte: Adaptado de Gartner (2001)

b) Etapa 2 - Aplicação de questionários para coleta de dados e definição de preferências via escala numérica de Saaty:

Esta parte do método se baseia na habilidade humana em perceber a relação entre objetos e situações observadas e propor valores de intensidade destas preferências.

No AHP, isso é realizado à luz de um determinado foco, ou meta decisão como chama Saaty (1991) segundo critérios de avaliação, realizando julgamentos paritários, para determinar o grau de importância nestas comparações, e assim tornar possível a tomada de decisão baseada em uma escala numérica proposta.

Estas tabelas propostas por vários autores, já foram amplamente discutidas por vários autores, os quais traduziram a escala numérica de Saaty em uma escala verbal que permite um entendimento mais fácil do método. Um exemplo bem claro desta tradução pode ser vista na tabela 6.

Tabela 6 – Escala numérica de julgamentos de Saaty

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos os elementos são de igual importância	Não há preferência sobre as duas comparações
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião dos julgadores favorecem um elemento
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento e fortemente favorecido sobre o outro
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento e muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	Um elemento tem preferência absoluta sobre o outro
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários sobre as opiniões	Usado para graduações mais finas de opiniões pelos julgadores
Recíprocos dos valores acima	Se o elemento j recebe um dos valores acima, quando comparado com o elemento i , então j tem o valor recíproco de i .	A reciprocidade neste caso é visto como uma avaliação lógica na avaliação para uma tomada de decisão coerente

Fonte: adaptado de Trevisano e Freitas (2005) e de Thirumalavaisan e Karmegan (2001).

Para facilitar a coleta de dados, alguns autores como Barros et. al (2009), consideram a aplicação de questionários para coleta de dados adaptados a situação estudada. Esta opção será usada neste estudo.

Os principais entradas para a construção do método AHP são as respostas obtidas para uma série de perguntas que, normalmente, possuem a forma geral: “Qual é a importância ou a preferência do critério 1 em relação ao critério 2?” (DODGSON *et al.* 2001), quando se está comparando par a par os critérios de escolha ou “qual a importância ou preferência da alternativa 1 em relação à alternativa 2 no critério 1?” quando se está comparando duas alternativas par a par frente a um dos critérios de escolha.

Esse procedimento, conhecido por comparação par a par (*pairwise comparison*), é utilizado para estimar a escala fundamental unidimensional em que os elementos de cada nível são medidos (SCHIMIDT, 2003).

c) Etapa 3 - Aplicação do método matemático da análise hierárquica de Saaty (AHP)

Nesta etapa do método, os julgamentos de peso dos critérios e dos valores frente às alternativas segundo os critérios, são transferidos para um processo de cálculo que utiliza a metodologia de Saaty.

O método, portanto, baseia-se na comparação entre pares de critérios e sub-critérios, se existirem, que são transferidos para uma série de matrizes quadradas, onde o número na linha i e na coluna j dá a importância do critério C_i em relação à C_j , como se pode observar na forma matricial indicada abaixo (KATAYAMA et al., 2005).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & 1/a_{3j} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Nessas matrizes, a_{ij} indica o julgamento quantificado do par de critérios (C_i, C_j) e a o valor da intensidade de importância. Para isso, temos que as seguintes condições nesta matriz devem ser atendidas segundo Abreu *et al.* (2000) e Saaty (1991):

- a) seja $a_{ij} = a$, então $a_{ji} = 1/a$ (princípio da reciprocidade);
- b) se $a_{ij} = 1$, então $a_{ji} = 1$ e $a_{ii} = 1$, para todo i .
- c) $a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$ (consistência dos julgamentos)

As comparações par a par, expressas em termos lingüísticos e/ou verbais feita por especialistas no assunto que está sendo avaliado, convertidas em valores numéricos usando a Escala Fundamental de Saaty para julgamentos comparativos, é então transferido para estas matrizes.

Haverá as matrizes de comparação dos critérios, as quais servem para determinar os pesos relativos dos critérios, o que determinará os mais ou menos importantes nos julgamentos das alternativas a luz dos critérios depois. Este julgamento das alternativas a luz dos critérios, dará origem a outro conjunto de matrizes para comparação par a par.

A quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica A é $n*(n-1)/2$, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Esta quantidade é assim representada, pois, estes julgamentos devem gerar matrizes recíprocas, tanto para determinação dos pesos dos critérios como nas matrizes de julgamento de valor das alternativas.

Em seguida, as matrizes são submetidas a uma técnica matemática denominada autovetor, que calcula os pesos locais e globais para cada critério/indicador nos diversos níveis hierárquicos e em relação às alternativas em análise. Este autovetor é calculado somando-se o valor das colunas das matrizes de avaliação recíprocas.

Após determinado o autovetor, temos a etapa de normalização das matrizes de julgamento. Esta etapa consiste em dividir o valor dos julgamentos das matrizes pelo respectivo autovetor determinado na etapa anterior.

Feito isso, calcula-se as prioridades médias locais (PML's). As PML's são as médias aritméticas simples das linhas dos quadros normalizados.

c1) Desenvolvimento de um Vetor de Prioridade Global

Depois devemos efetuar o cálculo das prioridades globais. Nesta etapa deseja-se identificar um vetor de prioridades global (PG), que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal. Esta é uma parte crucial do método (SAATY, 1991).

Neste passo, devemos combinar as matrizes de comparação das alternativas com a matriz de importância dos critérios. Cada matriz de comparação de critério deverá ser multiplicada pela tabela de Vetor de Prioridade de Critérios, conforme é demonstrado abaixo (adaptado de SAATY 1991):

$$PG_{(a1)} = PML_{(Cr1)} * PML_{(a1)Cr1} + PML_{(Cr2)} * PML_{(a1)Cr2} + \dots + PML_{(Crn)} * PML_{(a1)Crn}$$

Em que:

$PG_{(a1)}$ = Prioridade media global da alternativa a_1

$PML_{(Cr1)}$ = Prioridade media local do critério 1

$PML_{(a1)Cr1}$ = Prioridade media local da alternativa 1 no critério 1

$PML_{(Cr2)}$ = Prioridade media local do critério 2

$PML_{(a1)Cr2}$ = Prioridade media local da alternativa 1 no critério 2

$PML_{(Cr n)}$ = Prioridade media local do critério \underline{n}

$PML_{(a1)Cr n}$ = Prioridade media local da alternativa \underline{n} no critério \underline{n}

d) Etapa 4 - Análise de consistência lógica:

O ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou idéias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (SAATY, 1991).

Assim o método AHP se propõe a calcular a chamada Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por RC .

O primeiro passo é a criação da chamada **matriz de consistência**. Esta matriz de ordem n é obtida multiplicando-se o valor dos julgamentos das matrizes pelos seus respectivos PML's.

Feito isso, calculamos um chamado vetor P'' , que consiste em somar o valor das colunas desta matriz de consistência. Depois, calculamos o vetor $P_{auxiliar}$,

que consiste no produto do vetor P” pelo seu respectivo valor da matriz de consistência (Adaptado de SAATY, 1991).

Utilizado isso, calcula-se o RC (razão de consistência). Para isso, devemos calcular o Índice de Consistência (IC), que é dado por $IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, onde λ_{\max} é o maior autovalor da matriz de julgamentos e n a ordem da matriz.

Para calcular o λ_{\max} , devemos usar a equação:

$$\lambda_{\max} = \left| P_{\text{auxiliar } 1} + P_{\text{auxiliar } 2} \dots + P_{\text{auxiliar } i} \right| / n \quad (\text{PAMPLONA et al 1999}).$$

Calculamos então o RC, que pode ser obtido pela equação $RC = IC/IR$, aonde IR é um índice de consistência aleatória, apresentado na tabela 7, proveniente de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de tamanho até 11 por 11, geradas aleatoriamente (Saaty 1991). Este valor é tabelado e foi proposto por Saaty após estudos realizados em sua metodologia, e foi apresentado por Pamplona et al (1999).

Tabela 7 – Valores de CA em função da ordem da matriz

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Pamplona et al (1999).

Têm-se então todos os valores para calcular o RC. Segundo Saaty (1991) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$. Este critério possibilita verificar a consistência dos julgamentos par a par realizados, e desta forma ter a certeza que a análise foi feita de forma coerente, indicando assim a necessidade de correções para que a decisão final sobre as alternativas seja correta.

3.4.2 Aspectos Positivos, Negativos e Limitações do AHP

Diversos autores escreveram trabalhos a respeito da metodologia AHP. Alguns apontaram aspectos positivos para o uso do método, enquanto outros apresentaram argumentos contrários aos seus usos, ou limitações dependendo da aplicação do AHP.

Para Chwolka e Raith (1999), a maior vantagem encontrada no AHP é que ele requer que os avaliadores façam somente comparações entre pares de alternativas, mecanismo que se assemelha a forma como a mente humana trabalha. Boritz (1992) aponta que um dos pontos mais fortes do AHP é a capacidade de medir o grau de inconsistência presente nos julgamentos par a par e, desse modo, ajudar a assegurar que somente ordenamentos justificáveis

sejam utilizados como a base para avaliações, permitindo ajustes na avaliação.

Por outro lado, Bana et al. (2001) e Dodgson *et al.* (2001), em intensos debates com especialistas sobre métodos multicritérios de análise para decisão, suscitam algumas dúvidas sobre o AHP e Ishizaka (2004), Steiguer et al. (2005) e Schimidt (2003) apresentam várias críticas em relação ao método.

Os subitens abaixo mostram um resumo dos artigos dos autores Schimidt (2003), Abreu *et al.* (2000), Ishizaka (2004), Finnie e Wittig (1999), Chwolka e Raith (1999), Boritz (1992), Bana et al. (2001), Dodgson *et al.* (2001) e Steiguer et al. (2005) a respeito dos aspectos positivos e negativos do método AHP.

3.4.2.1 Vantagens do método AHP

Algumas vantagens observadas durante o uso do método AHP segundo vários autores são:

- a) Simplicidade, clareza e facilidade de uso devido ao farto material disponível explicando a metodologia passo a passo;
- b) Permite a interação entre o analista do método matemático proposto e o especialista que fez a avaliação baseado na escala de Saaty;

- c) Permite a identificação de julgamentos inconsistentes e assim realização de ajustes na avaliação dos critérios e das alternativas;
- d) Permite que todos os envolvidos no processo decisório entendam o problema da mesma forma, pois permite que os critérios tenham a mesma base de avaliação para todos, o que é representado pela escala numérica de Saaty que é a única base para avaliação usada pelos decisores;
- e) Permite o desenvolvimento de sistemas estruturados hierarquicamente parecidos com a forma do ser humano estruturar seu pensamento e principalmente decisões de consenso de grupos de decisores;
- f) Capacidade em lidar com problemas que envolvam variáveis tanto quantitativas como qualitativas, sendo que a forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, o que contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo mais realistas;
- g) Uma vez estruturado hierarquicamente um problema, os usuários são capazes de ordenar e comparar os critérios e alternativas de forma rápida e objetiva, pois sintetiza os resultados dentro de uma lista ordenada que permita a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator;

3.4.2.2 Desvantagens e limitações do método AHP

Algumas desvantagens observadas durante o uso do método AHP segundo vários autores são:

- a) É fundamental que haja consenso na priorização dos critérios e alternativas para uma correta decisão;
- b) Os critérios representados devem ser independentes ou, pelo menos, suficientemente diferentes, em cada nível;
- c) Em qualquer processo de interação de grupo, não deve haver idealismo demais nem forte predisposição para liderança entre os

- envolvidos, sob o risco que a decisão seja subjetiva ou baseada em opiniões pessoais e preconceitos;
- d) Requer um procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências;
 - e) O trabalho computacional é sensivelmente maior quando se eleva o número de Alternativas, sendo que há um limite de 9 alternativas no máximo para uso do método segundo Saaty;
 - f) O número de comparações requeridas pode ser muito alto se você trabalha com muitos critérios ou muitas alternativas;
 - g) O número máximo de critérios que podem ser analisados é nove.
 - h) Alternativas incomparáveis não são permitidas;
 - i) Uma ausência de fundamento de teoria estatística, pois não há um trabalho que associe o método matemático com a estatística moderna;

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA PESQUISA

O trabalho objetiva avaliar uma metodologia para identificação da melhor alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodos de estações de tratamento biológico de efluentes de agroindústrias utilizando uma metodologia para apoio à tomada de decisão, hierarquizando as alternativas.

Para isso, foi utilizado o método de análise de multicritério AHP, desenvolvido por Thomas Saaty.

Para isso foram definidas 3 possíveis alternativas de destinação final ou tratamento do lodo biológico de agroindústria, e 6 critérios que servirão para que o avaliador especialista (ou decisor como menciona Saaty) possa ponderar sobre a escolha do melhor destino.

O trabalho consistiu, basicamente, em aplicar o método AHP por meio de um questionário que servisse de apoio na coleta dos dados de avaliação de especialistas de duas agroindústrias que possuem estações de tratamento biológico de efluentes e precisam destinar seus lodos.

Em seguida estes dados foram organizados em planilhas do software Microsoft Excel. O resultado final dos cálculos deve indicar qual das alternativas para destino dos lodos estudados é a mais adequada para cada empresa em uma ordem de hierarquia das preferências dos especialistas.

4.2 MATERIAIS

- indústrias agro-alimentares estudadas
- método AHP “adequado” ao estudo realizado (sem alterar o método proposto por SAATY).
- consulta a especialistas das empresas estudadas
- questionários para coleta de dados para estudo
- planilhas Excel utilizadas para cálculos referentes a aplicação do método AHP

4.3 MÉTODO

4.3.1 Aplicação do Método AHP nas Empresas Estudadas

O método AHP foi adaptado para ser aplicado como ferramenta lógica para auxiliar uma agroindústria do ramo de café solúvel e outra de processamento e embalagem de grãos e cereais na tomada de decisão sobre a melhor alternativa para destinação e tratamento final de lodos de suas estações de tratamento biológico de efluentes e na hierarquização destas alternativas.

4.3.2 Elaboração dos Questionários para Análise dos Especialistas

Para facilitar a coleta de dados, foram elaborados dois questionários para facilitar coleta de dados sobre as opiniões dos especialistas a cerca das alternativas para destino do lodo e dos critérios de escolha, usando para isto a escala numérica do método AHP.

Os questionários foram construídos de forma que os especialistas, mesmo sem conhecerem os procedimentos e a lógica do método AHP, pudessem participar do trabalho dando suas opiniões sobre as alternativas e os critérios para destinação e tratamento do lodo biológico das empresas.

O fato dos especialistas desconhecerem o método AHP era inclusive desejável, para que desta forma, fosse impedida ao máximo uma decisão tendenciosa, uma vez que as empresas possuem lodos sendo destinados para alternativas escolhidas anteriormente. Os especialistas de ambas as empresas são da área industrial e de gestão da empresa e estão assim divididos:

Indústria de Café Solúvel: 1 coordenador de meio ambiente, 1 coordenador de utilidades e 1 coordenador de suprimentos

Indústria de embalagem de grãos e cereais: 1 chefe da estação de tratamento de efluentes e 1 gerente industrial da agroindústria

Os questionários são apresentados nos anexos A a D desta dissertação.

4.3.3 Critérios e Alternativas para Tomada de Decisão pelos Especialistas das Empresas Estudadas

Para o estudo, a meta decisão ou foco principal foi a destinação do lodo biológico das agroindústrias. Para isso foram especificadas 3 alternativas viáveis: aterro industrial, disposição em solo agrícola e incineração com aproveitamento energético.

Estas alternativas foram as escolhidas, pois os especialistas julgaram que seriam as mais viáveis devido ao tipo dos lodos e a localização das empresas estudadas, já que há aterros industriais que recebem o material no estado do Paraná, há solos em abundância para receber lodo nas regiões onde as indústrias estão localizadas, e há demanda para queima de lodos em caldeiras de biomassa para gerar energia para obtenção de vapor para ambas.

Para aplicação do método AHP, foi necessário definir de critérios de escolha para a tomada de decisão. Segundo levantamento feito consultando livros, os especialistas das 2 empresas, e analisando as possibilidades mais utilizadas para destino e tratamento final de lodo, verificou-se que existem barreiras legais, técnicas e de custos que afetam fortemente a escolha do melhor destino e tratamento de lodos, sendo estes os critérios que serão usados no estudo proposto. Estes critérios de escolha podem ser assim descritos:

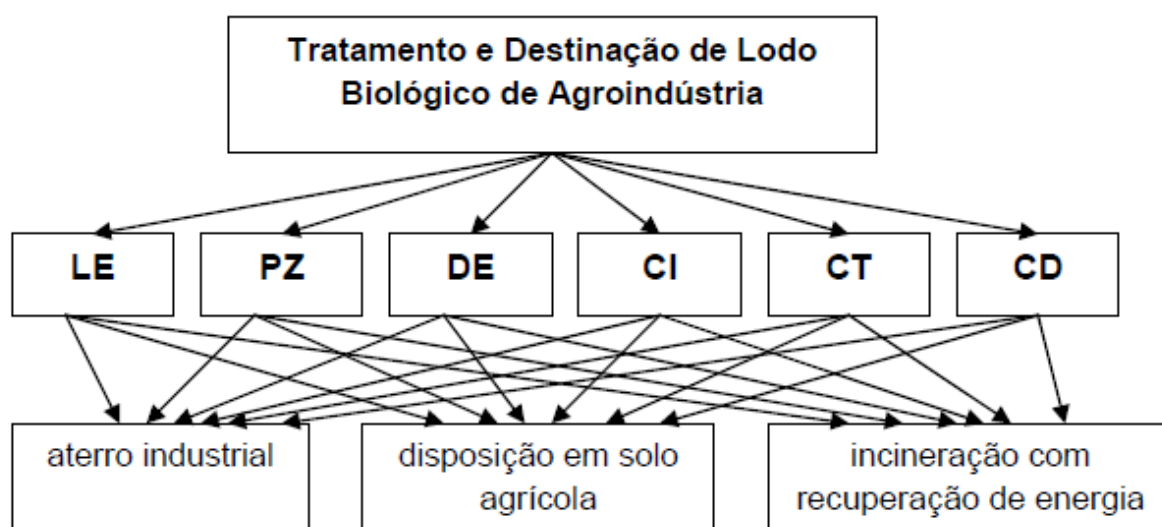
- a) Critério 1 - cumprimento da legislação ambiental federal, estadual e municipal aplicada a lodos biológicos, que será a sigla “**LE**” para facilitar as explicações nos quadros e textos.
- b) Critério 2 - prazo para implantação do sistema de destinação e tratamento final do lodo, que será a sigla “**PZ**” para facilitar as explicações nos quadros e textos.
- c) Critério 3: Tecnologia para desumidificação do lodo, que será a sigla “**DE**” para facilitar as explicações nos quadros e textos.
- d) Critério 4: custo do investimento para criar o sistema de destinação e tratamento final do lodo, que será a sigla “**CI**” para facilitar as explicações nos quadros e textos.
- e) Critério 5: custo do transporte do lodo, que será a sigla “**CT**” para facilitar as explicações nos quadros e textos.

f) Critério 6: custos para destinação final ou tratamento, que será a sigla “CD” para facilitar as explicações nos quadros e textos.

O método foi aplicado avaliando-se as 3 alternativas frente aos 6 critérios, par a par, por meio de um questionário previamente elaborado com a finalidade de coletar as avaliações dos especialistas.

Desta forma, a hierarquia do método AHP para este exemplo é descrita conforme a figura 8.

Figura 9 – Estrutura hierárquica do método AHP para o problema proposto



As alternativas e os critérios para os dois processos (indústria de café solúvel e embalagem de grãos e cereais) são as mesmas. Estas alternativas apresentam vantagens e desvantagens para a sua utilização como alternativa para destinação final ou tratamento do lodo biológico das agroindústrias:

a) Aterros sanitários Industriais:

As principais vantagens na destinação de lodos para aterros são:

- podem-se utilizar aterros já construídos operados por empresas especializadas na destinação de resíduos industriais, podendo assim ser utilizados imediatamente e de acordo com a quantidade de lodo descartado.

- preocupações como contratação de pessoal especializado, com os custos de manutenção, com investimento para construção, custos com monitoramento periódico, dentre outras preocupações, ficam a cargo de uma empresa terceirizada que opera o aterro.
- a legislação ambiental em vigor para disposição de resíduos em aterro é clara, e permite a destinação de grande parte dos resíduos, variando apenas o custo para destino.

Por outro lado, as principais desvantagens são:

- os custos de destinação e transporte do lodo são maiores em comparação com outros destinos;
- o fator desumidificação pode ser um limitante (alguns aterros estabelecem limites máximos para recebimento);
- trata-se de um destino não sustentável, pois gera gases e lixiviado;
- o aterro necessita de monitoramento por 25 a 30 anos após seu encerramento (responsabilidade solidária), resultando desta forma, um “passivo ambiental” que estará legalmente associado à empresa.

b) Disposição em solo agrícola

As vantagens em se dispor lodo no solo são:

- o custo de investimento inicial que pode ser menor, na maioria das vezes, se comparado a alternativa de incineração;
- o custo baixo de transporte caso haja solo próximo disponível para a disposição próximo da empresa;
- a não limitação quanto à umidade do lodo para disposição no solo;
- o baixo custo de manutenção e monitoramento;
- a pouca necessidade de pessoal especializado no processo;
- a sustentabilidade ambiental elevada (material orgânico e micro nutrientes sendo adicionados ao solo).

Por outro lado as desvantagens são:

- as dosagens no solo precisam ser controladas para não haver sobrecarga;

- dificuldade de aprovação de autorização devido a não haver legislação específica para este caso (lodo industrial no solo);
- custos elevados caso os solos disponíveis esteja distante da planta;
- necessidade de acompanhamento do agricultor de forma constante até a aplicação do lodo no solo para evitar riscos ao meio ambiente e responsabilização legal da empresa geradora.

c) Incineração com aproveitamento energético

As vantagens do uso desta alternativa são:

- a redução do custo de combustíveis utilizados nas caldeiras;
- o baixo custo com transporte, pois a caldeira está localizada no interior da unidade;
- a legislação ambiental bem definida sobre o tema, tanto sobre lodo, como no caso das emissões atmosféricas resultantes da queima.

As desvantagens são:

- a baixa tolerância a umidades de lodo muito altas na incineração;
- o custo de monitoramento das emissões na queima do lodo;
- o custo de investimento na caldeira preparada para receber o lodo biológico.

4.3.4 Interpretação dos Critérios para Avaliação das Alternativas

Para a correta avaliação dos critérios por parte dos especialistas, ficaram estabelecidos os seguintes conceitos em relação à avaliação dos pesos das alternativas e da avaliação das alternativas frente aos critérios:

- 1) **Critério de cumprimento da legislação ambiental (LE):** de acordo com o destino escolhido, deve-se levar em consideração que existem limites legais a serem obedecidos para que um lodo biológico de uma agroindústria possa ou não ser enviado para determinada destinação. Assim, após uma pesquisa na legislação estadual e federal relacionada a lodos, temos que:

- a) Aterros industriais: não há uma lei que proíba ou limite o envio de lodo para este destino. No entanto, é importante que o lodo seja classificado de acordo com a Norma NBR 10.004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. Esta norma determina requisitos para a classificação dos lodos em classes I ou II A, o que será importante para verificar a viabilidade de envio para um determinado tipo de aterro.
- b) Disposição em solo agrícola – Não há no Brasil uma legislação específica para destinação de lodos biológicos industriais no solo. Em consulta ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP), foi recomendado um estudo de viabilidade baseado nos limites estabelecidos na legislação resolução CONAMA nº. 375, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
- c) Incineração com aproveitamento energético – para este fim, deve ser considerada a legislação a Resolução Conama 382 de 26 de dezembro de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Além disso, no Estado do Paraná, local do estudo, deve-se observar a Resolução SEMA nº 54 de 2006 que define critérios para o Controle da Qualidade do Ar de fontes fixas e móveis e a Resolução SEMA n ° 42 de 22 de 2008, que estabelece critérios para a queima de resíduos em caldeiras e dá outras providências.
- 2) **Critérios tecnológicos:** As principais variáveis referentes a este requisito, de acordo com a avaliação dos especialistas das empresas estudadas, são o prazo que se levaria para a implantação do sistema de destinação de lodos e a tecnologia para desumidificação do lodo.

a) Prazo para implantação do sistema (PZ) – O prazo necessário entre a concepção do projeto e sua operação, pode ser um fator decisivo para a decisão do destino e tratamento final do lodo biológico. O tempo despendido para projetar o sistema, no processo de compra, para construir os equipamentos e prédios, para contratar e treinar o pessoal qualificado, além de outras variáveis, pode inviabilizar uma alternativa de tratamento ou destinação final do lodo, caso a necessidade de destinação do volume de lodo seja imediata ou crescente em razão de mudanças de processo ou aumento de capacidade. Cabe ao especialista decidir se um destino ou tratamento do lodo pode ou não ser aceitável em relação ao tempo necessário para entrada em processo da alternativa.

b) Tecnologia para desumidificação (DE) – A retirada de umidade de um lodo é um procedimento complexo. Existe várias alternativas como leito de secagem, centrífugas, prensas desaguadoras, filtros prensas, “bags” desidratadores, entre outras, apresenta vantagens e desvantagens, assim como limitações quanto à retirada de água do material. Dependendo da eficiência do método, um lodo pode apresentar teor de umidade final tal que, um determinado destino ou tratamento possa ser inviável.

3) **Crítérios relacionados ao custo:** Na opinião dos especialistas, os custos do investimento das estruturas para implantação da alternativa de destino e tratamento do lodo, os custos do transporte do lodo e o custo para destinação final ou tratamento do material.

a) Custo do investimento para implantação e operação (CI) – a compra de máquinas, equipamentos, instrumentos, peças de reposição, pessoal para implantação e operação do sistema e manutenção, devem ser checados e comparados para uma

decisão sensata para escolha dos 3 destinos propostos a fim de se chegar ao mais viável.

- b) Custo do transporte (CT) – O custo para o transporte do lodo depende da distância e de algumas características do material, como a classificação do resíduo quanto ao seu risco potencial para causar impacto ambiental. Este custo deve ser ponderado, pois representa uma parcela importante dos gastos na sua destinação e tratamento. Deve-se ponderar sobre o custo do transporte dentro da unidade, como a retirada do lodo da ETE para outro ponto e o custo do carregamento e do transporte até o destino final ou para tratamento do material. No caso de serem produzidas cinzas, como na incineração com recuperação de energia, o custo na disposição também deve ser considerado.

- c) Custo de destinação final ou tratamento (CD) – dependendo do destino escolhido, os custos envolvidos poderão ser elevados, como no caso de disposição em aterros industriais ou ainda custos eventuais na disposição do lodo no solo, como nas análises para monitoramento do lodo no solo. No caso da incineração, deve-se pagar para destinar as cinzas, mas também podem acontecer receitas advindas da queima do lodo em substituição a outro combustível, o qual teria que ser comprado para gerar energia. O custo de monitoramento do sistema de incineração também foi ponderado neste critério.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa do estudo, foi aplicado o método AHP com a participação de três especialistas de uma agroindústria fabricante de café solúvel localizada no norte do Paraná.

Esta conta com estação de grande porte para tratamento biológico de efluente com aeração prolongada, cuja vazão média é de 70 m³/h, descartando 75 toneladas / dia de lodo biológico com umidade média de 78%, proveniente de sua estação de tratamento de efluentes, após a passagem por prensas desaguadoras.

No caso da agroindústria de processamento e embalagem de grãos e cereais, a produção de lodo é variável, devido ao regime sazonal de produção em opera.

Possui uma estação de tratamento biológico com aeração prolongada de médio porte, cuja vazão fica entre 8 a 20 m³ / h dependendo da época do ano, e descarte de 1 a 4 toneladas dia de lodo biológico com umidade média de 60% após passagem em leito de secagem natural (ao sol).

O número reduzido de especialistas em lodo usado no estudo nestas duas empresas (três na de solúvel e dois na de grãos) deve-se ao fato de haver poucas pessoas com capacidade para ponderar sobre as alternativas e critérios para escolha do melhor destino ou tratamento do lodo, e infelizmente não foi possível identificar outros especialistas que pudessem participar do trabalho.

Também não foi possível encontrar outras agroindústrias que aceitassem participar do trabalho, apesar de várias insistências junto a empresas de vários segmentos. A explicação básica era que não havia interesse, pois a questão lodo seria delicada para o caso destas (o destino atual não é autorizado pelo órgão ambiental, sendo utilizado sem critérios técnicos definidos)

A escolha dos especialistas foi baseada no fato de serem conhecedores dos critérios legais ambientais, técnicos e de custos envolvidos na tomada de decisão sobre a melhor destinação dos lodos biológicos de ambas as empresas.

Outro fator considerado foi a sua prévia participação em um grupo de estudos composto por 15 pessoas e que trabalhou por 11 meses para decidir

sobre a melhor alternativa de destinação do lodo da empresa de café solúvel, e de um grupo de oito pessoas que trabalhou, por cerca de cinco meses, na empresa de embalagem de grãos e cereais.

Para a coleta dos dados com as opiniões dos especialistas, foram elaborados dois questionários, sendo um para avaliar o peso dos critérios (anexos A e C), que serviu para determinar o grau de importância de cada um dos seis critérios, e outro para o julgamento de valor (anexo B e D), que serviu para julgar o grau de importância dado para cada alternativa de destino frente aos critérios.

Estes então ponderaram a respeito das preferências entre as três alternativas frente aos seis critérios e sobre a relevância de cada um deles para proporcionar uma decisão final sobre a melhor alternativa para destinação e tratamento do lodo biológico.

Os especialistas eram reunidos em sessões que duravam entre 30 e 45 minutos cada uma, para opinar quanto à relevância dos critérios e alternativas, comparando par a par como especifica a método AHP. O questionário era aplicado aos especialistas reunidos, e estes chegavam a um consenso sobre o valor a ser atribuído de acordo com a escala de Saaty, ou seja, juntos chegaram a um único valor da escala numérica de Saaty que expressava a opinião comum entre eles. Foram realizadas duas reuniões, uma para cada empresa.

Os valores coletados nos questionários eram então transferidos para a planilha do software Microsoft Excel, onde foi inserido o método matemático descrito por Saaty na forma de um algoritmo, tendo sido possível avaliar os julgamentos, definir as matrizes normalizadas, os vetores de cálculo e os graus de consistência.

Este método foi aplicado para a definição dos pesos relativos aos critérios de avaliação e para a hierarquização das alternativas para destinação final e tratamento dos lodos biológico das estações de tratamento biológico de efluentes de ambas as agroindústrias.

5.1.1 A Aplicação do Método nas Duas Empresas Estudadas

Neste ponto, será descrito passo a passo o cálculo efetuado para determinar qual alternativa de destinação e tratamento final do lodo das agroindústrias é a mais adequada por meio da aplicação do método AHP de Saaty.

Também será apresentada a seqüência de cálculo para o estudo realizado na indústria de Café solúvel a fim de facilitar a aplicação do método, e posteriormente, o quadro com o resultado final para o caso da indústria de processamento e embalagem de grãos e cereais.

5.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS FRENTE AO FOCO PRINCIPAL PARA A INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL

Os três especialistas da indústria de café solúvel preencheram os dois questionários, sendo que o anexo A serviu para avaliar os pesos relativos dos seis critérios, para determinar aqueles mais relevantes na opinião dos especialistas das empresas frente ao foco principal, que é a destinação e tratamento de lodos das agroindustriais.

O questionário que pode ser visto no anexo B, serviu para avaliar as alternativas de destino final e tratamento do lodo (aterro, disposição no solo e incineração com recuperação de energia) frente os seis critérios de decisão. Este questionário serviu para determinar as preferências dos especialistas por meio de comparações par a par dos destinos frente aos critérios de avaliação.

Os julgamentos ali feitos foram então traduzidos para a escala de Saaty e resultaram em sete quadros, sendo seis relativas às alternativas diante dos critérios e um quadro relativo às preferências dos seis critérios frente ao foco principal.

Nesta etapa, os critérios foram comparados par a par com a finalidade de avaliar seus pesos relativos, definindo os de maior grau de importância. Estes resultados estão apresentados na tabela 8. Os valores marcados em cinza indicam os julgamentos paritários que são exigidos na aplicação do método.

Tabela 8 – Comparação dos critérios frente ao foco principal na indústria de café solúvel

FOCO PRINCIPAL (FP)	LE	PZ	DE	CI	CT	CD
Legislação (LE)	1	2	2	1/5	1/3	1/5
Prazo (PZ)	1/2	1	3	1/5	1/4	1/8
Desumidificação (DE)	1/2	1/3	1	1/6	1/6	1/7
Custo Investimento (CI)	5	5	6	1	1/2	1/5
Custo Transporte (CT)	3	4	6	2	1	1/2
Custo Destinação (CD)	5	8	7	5	2	1
SOMA	15,00	20,33	25,00	8,57	4,25	2,17

5.3 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS FRENTE AO FOCO PRINCIPAL E DETERMINAÇÃO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS

Após feito a comparação dos critérios frente ao foco principal, as matrizes foram normalizadas segundo o método proposto por Saaty, que consiste em dividir o valor de cada julgamento pelo vetor soma correspondente. A média simples das linhas da matriz normalização possibilita a obtenção das prioridades médias locais (PML). Este cálculo é apresentado na tabela 9.

Tabela 9 – Normalização dos critérios frente ao foco principal e determinação das prioridades médias locais - indústria de café solúvel

FOCO PRINCIPAL (FP)	LE	PZ	DE	CI	CT	CD	PML
Legislação (LE)	0,07	0,10	0,08	0,02	0,08	0,09	0,07
Prazo (PZ)	0,03	0,05	0,12	0,02	0,06	0,06	0,06
Desumidificação (DE)	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04	0,07	0,04
Custo Investimento (CI)	0,33	0,25	0,24	0,12	0,12	0,09	0,19
Custo Transporte (CT)	0,20	0,20	0,24	0,23	0,24	0,23	0,22
Custo Destinação (CD)	0,33	0,39	0,28	0,58	0,47	0,46	0,42

5.4 VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA MATRIZ DOS CRITÉRIOS

O próximo passo foi verificar a consistência da matriz de julgamento dos critérios. Para isso, devemos determinar primeiramente o chamado vetor P. Este passo consiste em multiplicar o valor do julgamento da matriz pelo seu PML correspondente e somar o valor das colunas.

Feito isso, o valor do vetor P foi dividido pelo seu valor correspondente na matriz de julgamento, e com isso foi determinado o vetor P_{auxiliar} . Um exemplo desta etapa para o cálculo dos vetores P e P_{auxiliar} está representado na tabela 10, que corresponde ao estudo de caso da indústria de café solúvel.

Tabela 10 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o foco principal.

Análise de consistência	LE	PZ	DE	CI	CT	CD
Legislação (LE)	0,07	0,11	0,07	0,04	0,07	0,08
Prazo (PZ)	0,04	0,06	0,11	0,04	0,06	0,05
Desumidificação (DE)	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,06
Custo Investimento (CI)	0,37	0,29	0,21	0,19	0,11	0,08
Custo Transporte (CT)	0,22	0,23	0,21	0,38	0,22	0,21
Custo Destinação (CD)	0,37	0,46	0,25	0,95	0,45	0,42
Vetor P"	0,46	0,35	0,22	1,25	1,48	2,89
P auxiliar	6,22	6,09	6,17	6,56	6,63	6,88

Após estes cálculos, foi realizado o teste de consistência dos julgamentos em que foi calculada a Razão de Consistência (RC) dos julgamentos propostos por Saaty. Para isso calculou-se o valor de λ_{max} , **IC** e, finalmente, o **RC** para os critérios frente ao foco principal. Primeiro faz-se o cálculo do índice *lâmbda* máximo (λ_{max}). Este índice é determinado pela média dos valores obtidos pela divisão do valor de cada peso pelo valor de cada vetor P_{auxiliar} , o que resultou em $\lambda_{\text{max}} = 6,4240$.

Após esta etapa, foi calculado o valor do índice de inconsistência (IC) por meio da fórmula $IC = (\lambda_{\text{max}} - n)/(n-1)$, sendo n a ordem da matriz dos seis critérios. Com isso o valor de IC foi de 0,0848. Para a matriz de ordem seis, tem-se que o valor de IR é 1,24 (vide Tabela 6).

Substituindo os números na fórmula $RC = IC/IR$, temos o valor de RC de 0,0864, que é menor de 0,1, e desta forma satisfaz a condição de Saaty ($RC < 0,1$). Isso indica que o julgamento dos pesos dos critérios realizado pelos especialistas foi consistente. O resumo dos cálculos está representado na tabela 11.

Tabela 11 – Valores determinados no cálculo da razão de consistência

λ_{max}	6,4240
IC	0,0848
IR	1,24
RC	0,0684

5.5 COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS FRENTE AOS CRITÉRIOS

Para a seqüência da metodologia, necessita-se determinar quanto cada uma das três alternativas de destinação e tratamento final do lodo das empresas apresentadas satisfaz ou impacta cada critério. Para tanto, foi construída uma matriz de comparação das três alternativas aos pares, analisando-as em relação a cada um dos seis critérios estabelecidos.

Sendo assim, as tabelas 12 a 17 mostram os resultados dos julgamentos realizados para as três alternativas frente aos seis critérios. Os valores marcados em cinza indicam os julgamentos paritários.

Tabela 12 – Avaliação do critério legislação para as três alternativas

Legislação (LE)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	1	3	5
Solo	1/3	1	3
Incineração	1/5	1/3	1
SOMA	1,53	4,33	9,00

Tabela 13 – Avaliação do critério prazo para as três alternativas

Prazo (PZ)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	1	3	5
Solo	1/3	1	3
Incineração	1/5	1/3	1
SOMA	1,53	4,33	9,00

Tabela 14 – Avaliação do critério desumidificação para as três alternativas

Desumidificação (DE)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	1	1/5	1/2
Solo	5	1	3
Incineração	2	1/3	1
SOMA	8,00	1,53	4,50

Tabela 15 – Avaliação do critério custo do investimento para as três alternativas

Custo Investimento (CI)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	1	3	4
Solo	1/3	1	2
Incineração	1/4	1/2	1
SOMA	1,58	4,50	7,00

Tabela 16 – Avaliação do critério custo do transporte para as três alternativas

Custo Transporte (CT)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	1	1/4	1/9
Solo	4	1	1/5
Incineração	9	5	1
SOMA	14,00	6,25	1,31

Tabela 17 – Avaliação do critério custo de destinação para as três alternativas

Custo Destinação (CD)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	1	1/5	1/9
Solo	5	1	1/3
Incineração	9	3	1
SOMA	15,00	4,20	1,44

5.6 NORMALIZAÇÃO DOS QUADROS DE JULGAMENTOS DAS ALTERNATIVAS FRENTE AOS CRITÉRIOS E DETERMINAÇÃO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS

Feito isso, foi realizada a normalização das matrizes de julgamentos e a determinação das prioridades médias locais (PML), apresentadas nas tabelas 18 a 23.

Tabela 18 – Normalização das alternativas frente ao critério legislação e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel

Legislação (LE)	Aterro	Solo	Incineração	PML (LE)
Aterro	0,65	0,69	0,56	0,63
Solo	0,22	0,23	0,33	0,26
Incineração	0,13	0,08	0,11	0,11

Tabela 19 – Normalização das alternativas frente ao critério prazo e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel

Prazo (PZ)	Aterro	Solo	Incineração	PML (PZ)
Aterro	0,65	0,69	0,56	0,63
Solo	0,22	0,23	0,33	0,26
Incineração	0,13	0,08	0,11	0,11

Tabela 20 – Normalização das alternativas frente ao critério desumidificação e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel

Desumidificação (DE)	Aterro	Solo	Incineração	PML (DE)
Aterro	0,13	0,13	0,11	0,12
Solo	0,63	0,65	0,67	0,65
Incineração	0,25	0,22	0,22	0,23

Tabela 21 – Normalização das alternativas frente ao critério custo do investimento e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel

Custo Investimento (CI)	Aterro	Solo	Incineração	PML (CI)
Aterro	0,63	0,67	0,57	0,62
Solo	0,21	0,22	0,29	0,24
Incineração	0,16	0,11	0,14	0,14

Tabela 22 – Normalização das alternativas frente ao critério custo do transporte e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel

Custo Transporte (CT)	Aterro	Solo	Incineração	PML (CT)
Aterro	0,07	0,04	0,08	0,07
Solo	0,29	0,16	0,15	0,20
Incineração	0,64	0,80	0,76	0,74

Tabela 23 – Normalização das alternativas frente ao critério custo de destinação e determinação das prioridades médias locais para o estudo da indústria de café solúvel

Custo Destinação (CD)	Aterro	Solo	Incineração	PML (CD)
Aterro	0,07	0,05	0,08	0,06
Solo	0,33	0,24	0,23	0,27
Incineração	0,60	0,71	0,69	0,67

5.7 VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA MATRIZ DE JULGAMENTOS DAS ALTERNATIVAS FRENTE AOS CRITÉRIOS

O próximo passo foi verificar a consistência da matriz de julgamento das alternativas. Para isso, foram determinados os vetores P e P_{auxiliar} . O cálculo dos vetores para as alternativas frente aos critérios segue a mesma sistemática do cálculo para o peso dos critérios. Esta etapa do cálculo dos vetores P e P_{auxiliar} são apresentadas nas tabelas 24 a 29 para o estudo de caso da indústria de café solúvel.

Tabela 24 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o critério legislação

Legislação (LE)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	0,63	0,78	0,53
Solo	0,21	0,26	0,32
Incineração	0,13	0,09	0,11
Vetor P"	1,95	0,79	0,32
P auxiliar	3,07	3,03	3,01

Tabela 25 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o critério prazo

Prazo (PZ)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	0,63	0,78	0,53
Solo	0,21	0,26	0,32
Incineração	0,13	0,09	0,11
Vetor P"	1,95	0,79	0,32
P auxiliar	3,07	3,03	3,01

Tabela 26 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o critério desumidificação

Desumidificação (DE)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	0,12	0,13	0,11
Solo	0,61	0,65	0,69
Incineração	0,24	0,22	0,23
Vetor P''	0,37	1,95	0,69
P auxiliar	3,00	3,01	3,00

Tabela 27 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o critério custo do investimento

Custo Investimento (CI)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	0,62	0,72	0,55
Solo	0,21	0,24	0,27
Incineração	0,16	0,12	0,14
Vetor P''	1,89	0,72	0,41
P auxiliar	3,03	3,01	3,01

Tabela 28 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o critério custo do transporte

Custo Transporte (CT)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	0,07	0,05	0,08
Solo	0,26	0,20	0,15
Incineração	0,59	1,00	0,74
Vetor P''	0,20	0,61	2,32
P auxiliar	3,01	3,05	3,16

Tabela 29 – Vetor P e vetor P_{auxiliar} para o critério custo de destinação

Custo Destinação (CD)	Aterro	Solo	Incineração
Aterro	0,06	0,05	0,07
Solo	0,32	0,27	0,22
Incineração	0,57	0,80	0,67
Vetor P''	0,19	0,81	2,04
P auxiliar	3,01	3,03	3,06

O cálculo da razão de consistência (RC) para as alternativas frente aos critérios, segue a mesma sistemática descrita para o seu cálculo no caso dos pesos dos critérios descritos no item 5.3. Neste caso a matriz tem ordem três ($n=3$), com o valor de $IR = 0,58$ (vide Tabela 7). As tabelas 30 e 31 apresentam os valores de λ_{max} , IC e RC para as alternativas frente aos critérios.

Tabela 30 – Avaliação da RC para os critérios legislação, prazo e desumidificação frente às alternativas

Legislação (LE)		Prazo (PZ)		Desumidificação (DE)	
λ_{max}	3,04	λ_{max}	3,04	λ_{max}	3,00
IC	0,019	IC	0,019	IC	0,002
RC	0,033	RC	0,033	RC	0,003

Tabela 31 – Avaliação da RC para os critérios custos de investimento, transporte e destinação frente às alternativas

Custo Investimento (CI)		Custo Transporte (CT)		Custo Destinação (CD)	
λ_{max}	3,02	λ_{max}	3,07	λ_{max}	3,03
IC	0,009	IC	0,036	IC	0,015
RC	0,016	RC	0,062	RC	0,025

Cabe aqui comentar que no caso do critério custo de investimento, foi necessária uma nova avaliação por parte dos especialistas, pois o RC inicial havia sido 0,125 na primeira rodada de avaliação, acima portando do valor máximo sugerido por Saaty.

Nesta segunda avaliação os especialistas perceberam que havia incoerência na avaliação quando comparadas as preferências das alternativas aterro e solo frente ao critério custo de investimento, sub-valorizando a preferência de um frente ao outro.

Foi observado que a segunda avaliação produziu melhores resultados, pois estava mais “condizente com a realidade da empresa e mais lógico que a análise anterior”.

Tem-se então como resultado final que todos os RC, tanto o dos critérios frente ao foco principal, como das alternativas frente aos critérios,

satisfazem a condição de Saaty de $RC < 0,1$. A tabela 32 apresenta um resumo de todos os RC.

Tabela 32 – Valores de RC's para todas as avaliações de consistência

Alternativa/critério	RC
Legislação (LE)	0,033
Prazo (PZ)	0,033
Desumidificação (DE)	0,003
Custo Investimento (CI)	0,016
Custo Transporte (CT)	0,062
Custo Destinação (CD)	0,025
FOCO PRINCIPAL (FP)	0,068

5.8 CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS GLOBAIS (PG'S) PARA DECISÃO DA MELHOR ALTERNATIVA DE DESTINAÇÃO E TRATAMENTO DE LODO BIOLÓGICO DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL

Uma vez que todos os julgamentos se mostraram consistentes ($RC < 0,1$), determinou-se o vetor das prioridades globais (PG). O vetor PG tem a finalidade de armazenar a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal ou meta decisão. Com isso, pode-se verificar qual das três alternativas, à luz dos critérios estabelecidos, é a melhor escolha segundo os especialistas.

Para a determinação das prioridades médias globais, foi utilizada a equação:

$$PG_{(aterro)} = PML_{(LE)} * PML_{(aterro)} Cr_{LE} + PML_{(PZ)} * PML_{(aterro)} Cr_{PZ} + \dots + PML_{(Crn)} * PML_{(aterro)} Cr_n$$

E, por similaridade, foram calculados o $PG_{(disposição\ no\ solo)}$ e o $PG_{(incineração)}$. Os resultados destas equações encontram-se descritos na tabela 33:

Tabela 33 – Prioridades globais das alternativas – Indústria de Café Solúvel

PG₁ - Aterro	0,25	Prioridade da alternativa aterro industrial frente ao foco principal
PG₂ - Disposição no solo	0,26	Prioridade da alternativa disposição em solo frente ao foco principal
PG₃ - Incineração	0,49	Prioridade da alternativa incineração com recuperação de energia frente ao foco principal

Por esta avaliação, pode-se observar que a melhor escolha para o lodo biológico da indústria de café solúvel na opinião dos três especialistas, seria a incineração com recuperação de energia, que possui prioridade global de 0,49 (ou 49% da preferência), seguido da disposição do lodo em solo agrícola (0,26 ou 26% da preferência) e, por último, destinação em aterro (0,25 ou 25% da preferência).

5.9 CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS GLOBAIS (PG'S) PARA DECISÃO DA MELHOR ALTERNATIVA DE DESTINAÇÃO E TRATAMENTO DE LODO BIOLÓGICO DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE GRÃOS E CEREAIS

Para o caso da agroindústria de grãos e cereais, foi realizado o mesmo processo matemático utilizado para a avaliação da indústria de café solúvel.

O resultado final para esta agroindústria é apresentado na Tabela 34, em que podem ser observados os resultados calculados das prioridades médias globais.

Tabela 34 – Prioridades globais das alternativas – Indústria de grãos e cereais

PGA₁ - Aterro	0,27	Prioridade da alternativa aterro industrial frente ao foco principal
PGA₂ - Disposição no solo	0,38	Prioridade da alternativa disposição em solo frente ao foco principal
PGA₃ - Incineração	0,35	Prioridade da alternativa incineração com recuperação de energia frente ao foco principal

Por esta avaliação, observa-se que a melhor escolha para este lodo biológico da indústria de grãos e cereais, na opinião dos dois especialistas, seria a disposição em solo agrícola, que apresentou prioridade global de 0,38 (ou 39% da

preferência), seguido da incineração com recuperação de energia (0,35 ou 35% da preferência) e, por último, destinação em aterro (0,27 ou 27% da preferência).

5.10 RESUMO DOS RESULTADOS E REFLEXÕES CRÍTICAS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

A fim de facilitar uma visão mais clara dos resultados obtidos e de algumas limitações e observações a cerca do estudo realizado, será utilizado um resumo geral sobre o capítulo 5.

Depois de aplicado o método AHP no caso do estudo da indústria de café solúvel, o método AHP proporcionou a escolha da melhor alternativa tecnológica para destinação de seu lodo biológico:

- a) melhor alternativa: Incineração com aproveitamento energético, com 49 % da preferência dos especialistas.
- b) segunda melhor alternativa: Disposição em solo agrícola, com 26 % da preferência dos especialistas.
- c) terceira melhor alternativa: Disposição em aterro sanitário industrial, com 25 % da preferência dos especialistas.

A aplicação do método na indústria de café solúvel levou cerca de seis semanas. A escolha da incineração com aproveitamento energético foi à mesma escolha determinada durante um estudo realizado para decisão por parte da empresa por meio de uma análise pelo método tradicional, onde um grande numero de pessoas, de diversas áreas, tiveram que se reunir para ponderar sobre a decisão em reuniões tipo com os grupos de trabalho da empresa, e também por meio de estudos de viabilidade financeira, realizadas pela área financeira da empresa, o que levou cerca de 11 meses segundo relatos dos especialistas.

No caso do estudo da indústria de embalagens e processamento de cereais, o método AHP resultou nas seguintes escolhas quanto à melhor alternativa tecnológica para destinação de seu lodo biológico:

- a) melhor alternativa: Disposição em solo agrícola, com 38 % da preferência dos especialistas.
- b) segunda melhor alternativa: Incineração com aproveitamento energético, com 35 % da preferência dos especialistas.

c) terceira melhor alternativa: Disposição em aterro sanitário industrial, com 27 % da preferência dos especialistas.

No caso da empresa de processamento de grãos e cereais, a aplicação do método levou cerca de duas semanas. Por outro lado, no método tradicional (brainstorming e estudos de viabilidade financeira), o resultado havia sido o mesmo (melhor escolha – destinação em solo agrícola), mas o tempo de análise havia sido maior (cerca de quatro meses).

No estudo, procurou-se evitar que os especialistas tivessem acesso ao método AHP passo a passo, limitando o contato dos especialistas apenas aos questionários A a D. O intuito foi o de evitar que, devido ao fato das empresas já terem feito suas escolhas para destinar o lodo biológico anteriormente ao uso do método AHP, o preenchimento segundo a escala de Saaty fosse tendenciosa.

No entanto foi difícil concluir, com absoluta certeza, que em nenhum momento os especialistas deixaram o seu conhecimento prévio sobre o assunto influenciar em suas decisões.

Pensou-se em incluir na avaliação pessoas sem conhecimento técnico em lodo, ou com conhecimento limitado sobre o assunto. No entanto, após duas reuniões com pessoas sem esta habilidade nas empresas, constatou-se que, muito possivelmente, a avaliação feita por estes profissionais sem experiência seria muito difícil.

Isso se explica, pois, as pessoas que não são especialistas, não conseguiram entender os critérios utilizados nas escolhas e principalmente sua relação com as alternativas. Isso ocorreu, pois lhes faltava o conhecimento prévio sobre as questões técnicas envolvidas na destinação do material.

Por outro lado, o número baixo de especialistas avaliando os destinos, pode transparecer que faltou um número maior de opiniões, principalmente no caso da indústria de grãos e cereais. No entanto, não se encontrou na literatura sobre o método AHP, argumento que ponderassem a respeito da limitação no número de avaliadores na aplicação do método.

A literatura também não cita o que fazer no caso de vários especialistas opinando sobre uma decisão. No estudo, foi escolhido o consenso entre os especialistas, mas poderia ter sido utilizado, por exemplo, a média simples das opiniões. Não foi avaliado se esta escolha mudaria os resultados finais.

O número de empresas disponíveis para aplicação do método também foi outro ponto importante de discussão. Infelizmente, não se conseguiu um número maior de agroindústrias que concordassem em participar do estudo devido à falta de interesse destas. As duas empresas participantes inclusive pediram para que seus nomes não fossem citados no estudo em nenhum momento.

O uso do software Microsoft Excel foi uma boa escolha, pois trata-se de um software comum no mercado, e com um número grande de pessoas treinadas no seu uso. Este software, inclusive, permite que mesmo uma pessoa leiga possa ler as fórmulas e as equações do método, assim como as dependências entre as células no software, facilitando o entendimento do método AHP.

O sistema montado no Excel permite inclusive que o número de alternativas e critérios escolhidos em outro eventual estudo, possam ser expandidos sem muita dificuldade, permitindo o uso da mesma base de equações e fórmulas em estudos futuros com alguns ajustes.

A escolha de três alternativas apenas, que no início foi feita em razão dos especialistas terem opinado que estas seriam as viáveis para os dois casos estudados, também facilitou a compreensão e a criação do método no Excel. A precisão nos cálculos foi boa, pois usou-se uma precisão 15 casas após a vírgula.

Durante a adaptação do método AHP para a análise das alternativas de tratamento e destinação, o método se mostrou simples e de fácil uso.

Foi encontrado um farto material disponível explicando a metodologia passo a passo, e desta forma a explicação do método matemático proposto, assim como os julgamentos nos questionários de coleta e da escala de Saaty, foram rapidamente assimilados pelos especialistas.

Isso permitiu que todos os envolvidos no processo decisório entendessem o problema da mesma forma, e que os critérios fossem avaliados sobre a mesma base por todos, devido a esta escala numérica única a ser seguida.

Outro ponto importante do método é que este permitiu a identificação de julgamentos inconsistentes e assim realização de ajustes na avaliação dos critérios e das alternativas, evitando avaliações que pudessem convergir para resultados subjetivos, e desta forma a uma decisão sobre o destino do lodo biológico não muito adequada à realidade e a necessidade da empresa. Esta é uma ferramenta poderosa para avaliação da eficácia do método AHP de Saaty.

Presume-se que, este mesmo método, poderia ser utilizado em outros processos de tomada de decisão a respeito do destino de lodo biológico de outras agroindústrias, podendo, portanto este método ser reproduzido outras vezes no mesmo formato proposto.

Por fim, apesar das limitações impostas ao estudo, vê-se que foi possível alcançar os objetivos do trabalho que foi o de avaliar uma metodologia de apoio a tomada de decisão quanto ao destino de lodos de agroindústrias, hierarquizando as alternativas.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado, pôde-se chegar a algumas conclusões:

- A alternativa apontada como a melhor para a destinação de lodo biológico foi, para o caso da indústria de café solúvel, hierarquicamente em primeiro lugar, a incineração com aproveitamento energético, seguida da disposição em solo agrícola e da disposição em aterro sanitário industrial.
- No caso da indústria de embalagens e processamento de cereais, a alternativa apontada como a melhor para a destinação de lodo biológico foi definida hierarquicamente em primeiro lugar, a disposição em solo agrícola, seguida da incineração com aproveitamento energético e da disposição em aterro sanitário industrial.
- Não foi possível determinar se o fato dos especialistas das duas empresas estudadas já ter tomado uma decisão inicial sobre o destino do lodo biológico, tornou a opinião dada nos questionários anexos A a D tendenciosa, fazendo com que marcassem pontuações mais altas para as alternativas e critérios mais significativos para as escolhas já feitas anteriormente.
- Presume-se que o uso de uma escala numérica como a proposta por Saaty, tenha contribuído para reduzir a subjetividade nas decisões dos especialistas. Este fator foi citado por eles como um ponto positivo do método, pois permitiu dar um valor a opinião, e não simplesmente passar uma sensibilidade baseado em opiniões pessoais sobre as decisões tomadas.

- O fato de o método ter uma forma de checar a consistência dos julgamentos (RC – Razão de consistência), também foi avaliado como positivo, e permitiu em um dos casos estudados (indústria de café solúvel), reavaliarem uma opinião dada que depois se mostrou inconsistente pelos próprios especialistas, podendo ser refeita, melhorando a coerência e reduzindo a subjetividade na avaliação.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a realização de trabalhos futuros recomenda-se à:

- A aplicação do método em outras agroindústrias diferentes;
- O uso de um número maior de especialistas nas análises;
- O uso da metodologia para outros lodos, como o de esgoto;
- Incluir pessoas não especialistas nas análises, comparando com o resultado obtido por meio das pessoas especialistas;
- O uso de outras alternativas e critérios, diferentes das escolhidas neste trabalho, para checar a aplicabilidade do método;
- Aplicação do método em empresas que não tenham decidido previamente sobre o destino de seus lodos biológicos;
- O uso, após uma adequação, da planilha organizada no software Microsoft Excel em um problema com um número maior de alternativas e critérios que as utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. M. de; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I.; BERNARDES, R. S. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2000; v. 4, n. 2, p. 257-262.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. 3 ed. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004, Resíduos sólidos – classificação**; Rio de Janeiro, 2004

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J.. **A fundamental criticism to Saaty's use of the eigenvalue procedure to derive priorities**. 2001. Londres. The London School of Economics and Political Science. Disponível em: <<http://www.lse.ac.uk/collections/operationalResearch/pdf/Working%20paper%2001.42.doc>>. Acesso em: 14 abr. 2010.

BARBAROSOGLU, G.; PINHAS, D.. **Capital rationing in the public sector using the analytic hierarchy process**. 1995. Disponível em: <<http://bw-www.ie.uryuky.ac.jp/~j94033/study/finalpeper2.html>>. Acesso em: 10 dez.2009.

BARROS, M. S.; MARINS, C. S.; SOUZA, D. O. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. ENEGEP, 29., Salvador, 6 -9 out. 2009.

BRAILE, P.M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: Cetesb, 1993.

BORITZ, J. E. **Pairwise comparison - the analytic hierarchy process**. University of Waterloo, Waterloo. 1992. Disponível em: <<http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2010.

BORNIA, Antonio Cezar; WERNKE, Rodney. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**. FIPECAPÍ – FEA – USP. v.14, n. 25, p. 60-71, jan./abr. 2001.

CAVALCANTI, J.E.W. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1 ed. São Paulo, SP: Engenho Editora Técnica, 2009.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA/UFMG; 1997. v. 5.

CHWOLKA, A.; RATH, M. G. **Supporting group decisions with the AHP: harmonization vs. aggregation of preferences**, in decision theory and optimization in theory and practice. In: WANKA, G; SHAKER, Aachen (Org.). 1999; 17 - 32 p.

COSSICH, E. S. **Curso de especialização em gestão ambiental, tratamento de efluentes**, São Paulo, 2006.

DERÍSIO J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 1 ed. São Paulo: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1992, p. 23-106.

DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A.; PHILLIPS, L.. **DTLR multi-criteria analysis manual**. Reino Unido: DTLR – Department for Transport, Local Government and the Regions, (2001) Disponível em: <http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_about/documents/pdf/odpm_about_pdf_608524.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2010.

FINNIE, G.R.; WITTIG, G.E. (1999). **An intelligent web tool for collection of comparative survey data**. Austrália: School of Information Technology Bond University, Disponível em: <<http://www.it.bond.edu.au/publications/99TR/99-10.PDF>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

GARTNER, I. R. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas**. Brasília: Editora Universa. 2001.

ISHIZAKA, A. **Advantages of clusters and pivots in AHP**. Suíça: University of Basel. Disponível em: <<http://www.wvz.unibas.ch/wi/members/ishizaka/MUDSM04.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2010.

JANSEN, L. K. C.; SHIMIZO, T.; JANSEN, J. U.. Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., Florianópolis, 2004. Disponível em: <http://www.producaoonline.inf.br/artigos/PDF/Enegep0304_0389.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2009.

KATAYAMA, K.; KOSHIISHI, T.; NARIHISA, H.. **Reinforcement learning agents with primary knowledge designed by analytic hierarchy process**. Okayama: University of Science, Okayama, 2005. Disponível em: <<http://k2x.ice.ous.ac.jp/~katayama/paper/2005-SAC-ahp-agent.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2010.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S.; **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso**; Disponível em: <http://www.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2010.

METCALF & EDDY – **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Boston: Editora Mc Graw Hill, 2003, p 349-819.

PAMPLONA, Edson de Oliveira. **Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP**. Itajubá, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1999. Disponível em: <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Artavalahp.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2010.

PROSAB. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro: Projeto PROSAB, 2000; Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm>>. Acesso em 14 set 2010.

RESOLUÇÃO SEMA 42, de 22/07/08 - **estabelece critérios para a queima de resíduos em caldeiras e dá outras providências.**

RESOLUÇÃO SEMA 54/06, de 22/12/2006 - **define critérios para o Controle da Qualidade do Ar de fontes fixas e móveis.**

RESOLUÇÃO CONAMA 382 de 26/12/06 **que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.**

RESOLUÇÃO CONAMA 375, de 29/08/06 **que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.**

ROPER-LOWE, G. C., SHARP, J. A. The analytic hierarchy process and its application to an information technology decision. **Journal of Operational Research Society**, v. 41, n.1, p. 49-59, 1990.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica.** Rio de Janeiro: Makron Books; editora McGraw-Hill, 1991.

SCHMIDT, Â. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão – abordagens: AHP e MACBETH.** Dissertação (Mestrado) – UFSC, Florianópolis. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>. Acesso em: 06 set. 2010.

SHIAU, Y.; TSAI, T.; WANG, W.; HUANG, M. **Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system.** Chung Hua University. Disponível em: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02143.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2009.

SILVA, J. S. V.; FEITOSA, R. G. F. Fatores que influenciam na velocidade de venda dos imóveis: um estudo de caso usando a Metodologia AHP. **Revista Tecnologia.** Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 229-237, dezembro 2007.

SALOMON, V. P.; MONTEVECHI, J. A. B.; PAMPLONA, E. O. Justificativas para Aplicação do Método de Análise Hierárquica. ENEGEP, 19., Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Artahp99.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2010.

STEIGUER, J. E.; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. **The analytic hierarchy process as a means for integrated watershed management.** Disponível em: <<http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2005.

THIRUMALAIIVASAN, D.; KARMEGAM, M. **Aquifer vulnerability assessment using Analytic Hierarchy Process and GIS for upper palar watershed.** Singapura: 22nd Asian Conference on Remote Sensing. Disponível em: <<http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001/pdf/267THIRU.PDF>>. Acesso em: 14 abr. 2010.

TOMA, T.; ASHARIF, M. R. **AHP coefficients optimization technique based on GA**. Japão: Department of Information Engineering of University of Ryukyus. Disponível em: <<http://bw-www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpaper2.html>>. Acesso em: 07 abr.2010.

TREVIZANO, Waldir Andrade; FREITAS, André Luíz Policani. **Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores**. ENCONTRO NAC. DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15., Porto Alegre, 29 out., 2005.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. 1 ed. UFPR, Campina Grande - PB, 1994.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA -UFMG.1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias Vol. I. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA-UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias vol. III. lagoas de estabilização**. 1 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA-UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1997, v. 4,

APÊNDICES

APÊNDICE A – Determinação do grau de importância dos 6 critérios – Indústria de café solúvel.

Alternativa / critério	Aterro	Julgamento	Solo	Alternativa / critério	Aterro	Julgamento	Incineração	Alternativa / critério	Solo	Julgamento	Incineração
Legislação (LE)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Legislação (LE)	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Legislação (LE)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Prazo (PZ)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Prazo (PZ)	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Prazo (PZ)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Desumidificação (DE)	() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	Desumidificação (DE)	() Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	Desumidificação (DE)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Custo Investimento (CI)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Custo Investimento (CI)	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Custo Investimento (CI)	(x) Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Custo Transporte (CT)	() Preferência	() Igual (x) Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	Custo Transporte (CT)	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	(x) Preferência	Custo Transporte (CT)	() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência
Custo Destinação (CD)	() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	Custo Destinação (CD)	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	(x) Preferência	Custo Destinação (CD)	() Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência

APÊNDICE B – Determinação do grau de importância dos 6 critérios – Indústria de embalagem de grãos e cereais.

Alternativa / critério	Aterro	Julgamento	Solo	Alternativa / critério	Aterro	Julgamento	Incineração	Alternativa / critério	Solo	Julgamento	Incineração
Legislação (LE)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Legislação (LE)	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte (x) Muito forte () Absoluta	() Preferência	Legislação (LE)	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Prazo (PZ)	() Preferência	(x) Igual () Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Prazo (PZ)	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	() Preferência	Prazo (PZ)	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	() Preferência
Desumidificação (DE)	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte (x) Absoluta	(x) Preferência	Desumidificação (DE)	() Preferência	(x) Igual () Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Desumidificação (DE)	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	() Preferência
Custo Investimento (CI)	(x) Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	Custo Investimento (CI)	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	() Preferência	Custo Investimento (CI)	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte (x) Absoluta	() Preferência
Custo Transporte (CT)	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	(x) Preferência	Custo Transporte (CT)	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	(x) Preferência	Custo Transporte (CT)	() Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência
Custo Destinação (CD)	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte () Muito forte (x) Absoluta	(x) Preferência	Custo Destinação (CD)	() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	Custo Destinação (CD)	() Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência

APÊNDICE C – Julgamento de valor do grau de importância dado para cada alternativa de destino frente aos critérios – Indústria de café solúvel.

Prazo (PZ)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Investimento (CI)	Julgamento	Desumidificação (DE)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Legislação (LE)
() Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte (x) Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Desumidificação (DE)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Prazo (PZ)
() Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte (x) Absoluta	() Preferência
Desumidificação (DE)	Julgamento	Prazo (PZ)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Prazo (PZ)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Desumidificação (DE)
() Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	() Preferência
Custo Investimento (CI)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Desumidificação (DE)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Custo Investimento (CI)
(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte (x) Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Custo Investimento (CI)	Julgamento	Prazo (PZ)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Custo Investimento (CI)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Custo Transporte (CT)
(x) Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	(x) Preferência	(x) Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência

APÊNDICE D – Julgamento de valor do grau de importância dado para cada alternativa de destino frente aos critérios – Indústria de embalagem de grãos e cereais.

Prazo (PZ)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Investimento (CI)	Julgamento	Desumidificação (DE)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Legislação (LE)
() Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência
Desumidificação (DE)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Prazo (PZ)
() Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência
Desumidificação (DE)	Julgamento	Prazo (PZ)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Prazo (PZ)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Desumidificação (DE)
(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência
Custo Investimento (CI)	Julgamento	Legislação (LE)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Desumidificação (DE)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Custo Investimento (CI)
() Preferência	() Igual () Moderada (x) Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	(x) Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência
Custo Investimento (CI)	Julgamento	Prazo (PZ)	Custo Transporte (CT)	Julgamento	Custo Investimento (CI)	Custo Destinação (CD)	Julgamento	Custo Transporte (CT)
() Preferência	() Igual () Moderada () Forte (x) Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	() Igual (x) Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	(x) Preferência	() Preferência	(x) Igual () Moderada () Forte () Muito forte () Absoluta	() Preferência