

## PROPOSTA DE INDICADORES DE GESTÃO DO PROGRAMA DE ÁGUA DE REUSO NAS CERVEJARIAS BRASILEIRAS SOB AS ÓPTICAS ECONÔMICA, AMBIENTAL, SOCIAL E GOVERNANÇA: UMA ABORDAGEM PELO MÉTODO HÍBRIDO PROCESSO DE HIERARQUIA ANALÍTICA NA TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO X REDES DE CRENÇAS BAYESIANAS

**Marcelo Póvoas**

[marcelopovoas@id.uff.br](mailto:marcelopovoas@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, RJ, Brasil.

**Amanda Espósito**

[amandaea@id.uff.br](mailto:amandaea@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, RJ, Brasil.

**Lana Priscila Cavadas da Silva**

[lanapriscula@id.uff.br](mailto:lanapriscula@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, RJ, Brasil.

**Lincoln Campelo Dias**

[lincolndias@id.uff.br](mailto:lincolndias@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, RJ, Brasil.

**Jéssica Freire Moreira**

[jeje\\_freire@hotmail.com](mailto:jeje_freire@hotmail.com)  
Universidade Católica de Petrópolis  
– UCP, Petrópolis, RJ, Brasil.

**Marcelo Miguel da Cruz**

[cruzmarcelo@id.uff.br](mailto:cruzmarcelo@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, RJ, Brasil.

**Gilson Brito Alves de Lima**

[glima@id.uff.br](mailto:glima@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, RJ, Brasil.

### RESUMO

**Destaques:** Os fatores EESG definidos são de extrema importância para os projetos de redes de drenagem, segundo as metodologias utilizadas. Os fatores foram definidos pelo trabalho descrito por Giordano (1999). A metodologia AHP-GDM x BBN calcula o impacto e a probabilidade de ocorrência dos fatores de risco que possam impactar águas de reuso em cervejarias brasileiras. Cinco especialistas responderam ao questionário enviado pelas redes sociais. **Objetivo:** Apresentar uma proposta original de indicador sustentável que permita combinar a análise dos fatores de risco EESG influentes no processo de água de reuso nas indústrias cervejeiras brasileiras, por meio das metodologias *AHP-GDM* e *BBN*. **Desenho/Metodologia/Abordagem:** Para a modelagem foram identificados, na literatura, os fatores de risco seguida da aplicação de questionários a especialistas, de forma a possibilitar a análise comparativa entre os critérios e subcritérios para a atribuição dos pesos locais e individuais, por meio das metodologias *AHP-GDM* e *BBN*. **Resultados:** Dentre os resultados obtidos, destaca-se a legislação ambiental regional como o fator mais crítico, enquanto que no âmbito das dimensões do *EESG*, o critério *Environmental* foi o mais importante. **Limitações da investigação:** Destaca-se que o modelo a ser proposto no presente trabalho se limita a apresentar uma função objetivo que será tratada como um “Indicador EESG das Cervejarias”, cabendo a cada uma das empresas que optarem por sua adesão definir as métricas e/ou seus indicadores internos mais adequados a cada um dos fatores/subcritérios, conforme a sua própria estratégia de negócio. Ou seja, da forma como foi apresentada no presente trabalho, cada empresa adota o indicador que lhe convém para cada um dos subcritérios analisados. **Implicações práticas:** Neste sentido, os autores apresentam um modelo que permite calcular o desempenho do nível de utilização de água de reuso em operações inerentes à indústria cervejeira brasileira, sugerindo a replicação do modelo em outras áreas. **Originalidade/valor:** A originalidade da abordagem consistiu no fato de não ter sido identificada na literatura qualquer estudo semelhante de abordagem híbrida dos métodos AHP e Redes Bayesianas no contexto EESG, existindo, portanto, uma lacuna para a elaboração de um modelo voltado à sustentabilidade com uso destes métodos concomitantemente.

**Palavras-chave:** Água de reuso; AHP-GDM; BBN; EESG; Cervejarias.

## INTRODUÇÃO

O consumo de água é uma das maiores preocupações modernas, ainda mais agravada por existir grande parte da população mundial sem acesso à água potável. Mitigar possíveis riscos e manter a água limpa se torna algo imprescindível para manter a vida na Terra. Inserida no contexto da Agenda 6 dos UN-ODS's (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) das Nações Unidas que, segundo Nações Unidas Brasil (2021), abordam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo. A agenda referente à "Água Potável e Saneamento" leva em consideração a garantia da disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.

Dentre os subobjetivos elencados pelas Nações Unidas se destacam os objetivos 6.3. e 6.4., sendo que o primeiro trata da melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente (Nações Unidas Brasil, 2021). O segundo objetivo visa aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água e reduzir substancialmente o número de pessoas afetadas até o ano de 2030 (Nações Unidas Brasil, 2021).

No âmbito do Brasil, o relatório anual da Agência Nacional de Águas - ANA, de 2019 – revelou importantes e alarmantes dados sobre o consumo nacional e a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Este relatório trouxe à tona que a demanda é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. O relatório oficial do Ministério do Desenvolvimento Regional ainda revela que a previsão é de que, até 2030, a

retirada de água por parte da população brasileira aumente em 26%. Este histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (Agência Nacional de Águas, 2019).

Neste contexto, surgem as seguintes questões que norteiam a presente pesquisa: **QP1:** Qual o grau de importância das dimensões do EESG quanto à utilização de água de reuso em indústrias cervejeiras brasileiras (abordagem pelo método AHP-GDM)? **QP2:** Qual o nível de criticidade dos fatores de risco envolvidos no processo de utilização de água de reuso nos processos industriais das cervejarias brasileiras (abordagem pelo método BBN)? **QP3:** Seria possível a construção de um modelo/função que possibilite estabelecer uma relação de desempenho para as operações (abordagem pelo método híbrido AHP-GDM x BBN)?

O artigo está estruturado em 05 itens. Esse primeiro apresenta uma breve contextualização sobre o tema e apresenta as questões de pesquisa. O segundo apresenta a revisão da literatura estado da arte sobre o tema proposto. O terceiro apresenta a abordagem metodológica, sendo assim, as ferramentas utilizadas para a obtenção dos resultados. No quarto são apresentados os resultados e uma breve discussão sobre eles, comparando com trabalhos anteriores. No quinto está localizada a conclusão, a resposta para as questões da pesquisa, assim como a proposta de trabalhos futuros.

## REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico serão citadas as pesquisas anteriores acerca do tema (vide Apêndice I, quadro de referencial teórico), o contexto da utilização da água de reuso nos processos industriais, as dimensões do EESG e os métodos AHP-GDM e BBN.

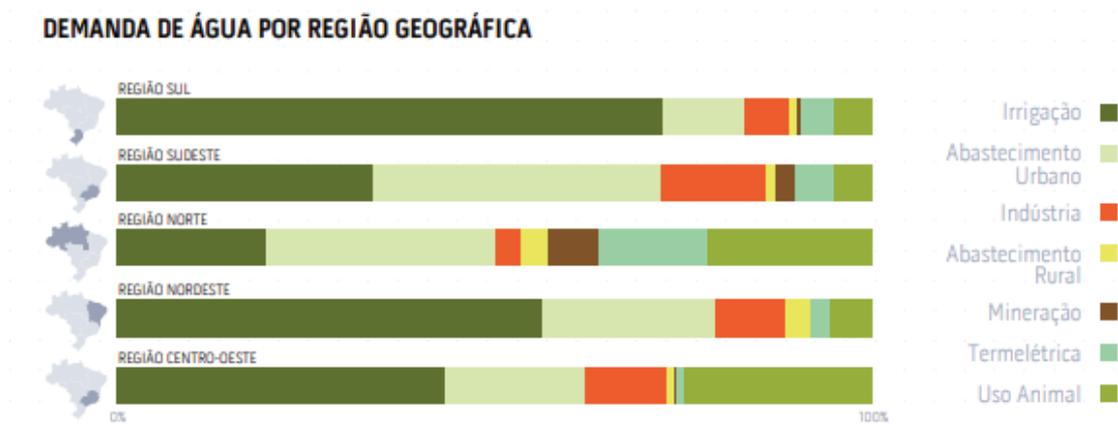


Figura 1. Demanda Brasileira por água em 2019

Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

## Legislação brasileira

A Organização Mundial de Saúde - OMS (World Health Organization, 1973) – classifica água de reuso em reuso indireto (planejado e não planejado), reuso direto e reciclagem interna. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº 13.969/97 (ABNT, 1997) classifica de modo diferente por considerar qual será a forma de reaproveitamento e reuso local, reuso direto planejado e reuso indireto (planejado e não planejado). Moura (2020) declara que tais parâmetros da Norma nº 13.969 de 1997 não concordam com as legislações vigentes: balneabilidade pela Resolução CONAMA nº 274 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2001) e potabilidade pela Portaria de Consolidação.

Por não haver legislações específicas e padrões reguladores no país para esse insumo de gestão ambiental, pesquisas são determinantes para compreender a utilização da água de reuso, pois o que se vivencia no Brasil e em diversos países do mundo é a situação de escassez hídrica extrema, considerando que milhares de pessoas morrem pela falta de água todos os dias. O relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos - CRH – é a referência para o acompanhamento sistemático e anual das estatísticas e indicadores relacionados à água no país. A Agência Nacional de Águas – ANA – publicou ainda o relatório “ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os Indicadores e um painel interativo que consolidam o cálculo de todos os indicadores do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 – Água Limpa e Saneamento para o Brasil”, compreendendo séries históricas e desagregações espaciais dos dados, detalhando a realidade do país quanto ao monitoramento de suas metas.

Entre as normatizações nacionais para aplicação de água de reuso existe a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 54, de 28 de novembro de 2005 (CNRH, 2005), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para regulamentar e estimular a prática de reuso direto não potável de água em todo o território nacional. A resolução apresenta, em seu art. 3º, as modalidades (e seus componentes) do reuso direto não potável de água:

- I. Reuso;
- II. Reuso para fins agrícolas e florestais;
- III. Reuso para fins ambientais;
- IV. Reuso para fins industriais;
- V. Reuso na aquicultura.

Já o estado do Rio de Janeiro tem a Lei nº 7.424 de 2016 (Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2016), que obriga a utilização de água de reuso não potável pelos órgãos inte-

grantes da administração pública estadual direta, das autarquias, das fundações instituídas ou mantidas pelo poder público, das empresas que têm participação no capital do Estado do Rio de Janeiro, bem como pelas demais entidades por ele controladas, direta ou indiretamente. Além desta Lei, o estado do Rio de Janeiro conta com a Lei nº 7.599 de 2017 (Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2017), que dispõe sobre a obrigatoriedade das indústrias situadas no estado de instalar equipamentos de tratamento e reutilização de água.

## Aspectos EESG

Considerado como uma das variações do ESG (*Environmental, Social and Governance*), o acrônimo EESG, do inglês, *Economic, Environmental, Social and Governance* (Econômico, Ambiental, Social e Governança), tem sido utilizado por organizações que estão preocupadas com a dimensão econômica (que visam o lucro econômico), mas que não deixam de lado a preocupação com os aspectos ligados aos fatores ambientais, sociais e de governança.

Como os indicadores ESG informam às empresas sobre os resultados mais importantes e especificam o que é esperado deles pelas partes interessadas, eles podem, da mesma forma, servir como ferramentas e/ou inspiração para destacar os tópicos e metas específicos nos quais as organizações deveriam se concentrar (Veenstra e Ellemers, 2020) analogamente, por meio do EESG, com o acréscimo da dimensão econômica, a ideia de percepção de lucro através da agregação de valor também se faz presente, fato que estaria diretamente relacionado à sustentabilidade econômico-financeira das próprias companhias em termos de negócio.

Há estudos científicos publicados em revistas que apontam a tendência da aplicação de *frameworks* ligados às dimensões que compõem o acrônimo EESG em diversas áreas (García-Pérez, Muñoz-Torres e Fernández-Izquierdo, 2016; Hiller *et al.*, 2013, Martin e Ritchie, 2018), o que leva a crer que as organizações estão levando em conta a capacidade de interligação destas dimensões, trabalhando no desenvolvimento de indicadores cada vez mais interligados com as suas operações internas e a lucratividade do negócio no qual a companhia opera, com foco na redução dos impactos e/ou possíveis prejuízos nos âmbitos ambiental, social e de governança, que por sua vez, são constantemente cobrados pelos *stakeholders* (partes interessadas) externos.

## Modelagem AHP-GDM x BBN

Nesta seção são transcritas as metodologias aplicadas na elaboração do presente estudo.

## AHP-GDM

Sobre este tema, Bhushan e Rai (2004) trazem um importante estudo sobre o processo de hierarquia analítica (AHP), no qual descrevem que o AHP foi desenvolvido na década de 1970 por Thomas L. Saaty e tem sido extensivamente estudado desde então. Atualmente é aplicado na tomada de decisões em diversos cenários complexos, nos quais as pessoas trabalham juntas para tomar decisões e as percepções, julgamentos e consequências humanas têm repercussão de longo prazo (Lyu *et al.*, 2020). Segundo Liang *et al.* (2019), o primeiro estágio na metodologia proposta é determinar os projetos de configuração ideal de múltiplos objetivos de otimização e probabilidades posteriores de risco de vários eventos, que ocorrem usando um modelo que reflete os riscos associados à seleção da configuração ideal do produto. Aqui, segundo Liu e Liu (2008), para desenvolver um ciclo de vida total multiobjetivo de otimização, quase sempre se utiliza a geração de um diagrama de dependência para definir o escopo da otimização, a modelagem de estratégias de recuperação de fim de vida, considerando o fluxo de multiciclo de vida, formulando o problema de otimização multiobjetivo e a solução do problema de otimização.

O processo de hierarquia analítica é amplamente utilizado na tomada de decisão em grupo (GDM), tendo dois métodos tradicionais de agregação da preferência coletiva em AHP-GDM: agregação dos julgamentos individuais (AIJ) e agregação das prioridades individuais (AIP). No entanto, a AHP-GDM às vezes é menos confiável apenas sob a condição de AIJ e AIP por causa do consenso e consistência das matrizes de comparação de pares individuais (PCMs) e métodos de priorização (Lin *et al.*, 2020). A sobrevivência no longo prazo de uma AIP depende da garantia de que o benefício entregue seja superior à sua taxa associativa, para superar os problemas de ações coletivas em grupos heterogêneos, os incentivos seletivos por grupos estratégicos e uma estrutura de governança adequada pode evitar conflitos internos e custos desnecessários (Conejero, 2011).

Em um contexto geral e assumindo um cenário com vários atores e uma hierarquia comum, os métodos de priorização convencionalmente aplicados em AHP-GDM (Saaty, 1989) usam filtros para “reduzir” julgamentos iniciais, embora isso restrinja seu alcance total. Os dois métodos mais amplamente empregados para obter as prioridades do grupo no AHP são: (i) a agregação de julgamentos individuais (AIJ) e (ii) a agregação de prioridades individuais (AIP). No primeiro caso (AIJ), um julgamento matriz é construído para o grupo. Cada entrada nesta matriz recíproca de comparações de pares é obtida como a média geométrica ponderada de julgamentos individuais, e as prioridades para as alternativas comparadas são calculadas nesta base usando qualquer procedimento de priorização. No segundo caso (AIP), as prioridades locais de cada indivíduo são calculadas, primeiro usando qualquer

procedimento de priorização, e as prioridades do grupo são então obtidas. Com base nessas pontuações usando um procedimento de síntese, o mais comumente usado é a média geométrica ponderada (Altuzarra, Moreno-Jimenez e Salvador, 2006), no entanto não há impedimento do decisor em relação à escolha de qual a melhor média a ser utilizada.

Em ambos os casos, assume-se que as matrizes de comparação par a par contendo os julgamentos expressos para os tomadores de decisão são completos e precisos. No entanto, quando a análise envolve valores para atributos intangíveis, não é realmente apropriado considerar tais valores tão precisos, como tem sido o caso até agora. Ao mesmo tempo, matrizes incompletas, incluindo posições vazias, muitas vezes têm de ser utilizadas em grandes problemas. Também pode às vezes ser preferível, pelo menos temporariamente, ignorar os julgamentos que incluem posições opostas a fim de aumentar o consenso entre os tomadores de decisão, mantendo apenas as entradas da matriz de comparação de pares que fornecem um grau de consenso coletivo. Em vista disso, a abordagem empregada no processo AHP-GDM deve funcionar adequadamente tanto para matrizes precisas e imprecisas quanto para matrizes incompletas (Altuzarra *et al.*, 2006).

## BBN

Um dos métodos escolhidos para a resolução do problema foram as redes bayesianas. As redes bayesianas surgiram por volta da década de 1980 e têm sido aplicadas em uma grande variedade de atividades (Bobbio *et al.*, 2001). Rede de crença bayesiana é uma estrutura gráfica para modelar incertezas (Shakeri *et al.*, 2020), e são frequentemente usadas para representação causal dos fenômenos envolvidos em um sistema ou processo complexo, no qual a informação é baseada em conhecimento especializado. Esta abordagem permite uma melhor análise de um sistema confiável, adequado a um grande número de aplicações na análise de risco, na qual o uso combinado de métodos convencionais e não convencionais é necessário e utilizado (Groth e Swiler, 2013). A utilização de BBNs, como apoio à tomada de decisão em ambiente de incerteza para aumento de confiabilidade de processos, foi objeto de vários trabalhos em diversos campos do conhecimento (Dias, Moreira e Pereira, 2019). O uso da BBN na construção tem como foco a melhoria das operações de construção e análise de risco na engenharia de construção (Adams, 2006; McCabe, Abourizk e Goebel, 1998).

## Aplicações AHP-GDM x BBN

No que tange à relação entre ambos os métodos, algumas aplicações atuais da utilização das metodologias em conjunto são as ligadas às áreas como a financeira (Chang

et al., 2000), saúde e segurança (Abicalaffe, Amaral e Dias, 2004), desenvolvimento de jogos e tecnologia da informação (Vieira Filho e Albuquerque, 2007), ou seja, são modelos de representação do conhecimento que trabalham com o conhecimento incerto e incompleto. Como a tecnologia de simulação está em constante progresso, os sistemas de simulação envolvem uma ampla gama de disciplinas, grande escala de simulação e amplo campo técnico. Para evitar preferências unilaterais ou fictícias e redução de erros, a avaliação da credibilidade do sistema de simulação exige que especialistas em avaliação em diferentes áreas participem do grupo. Portanto, avaliação de grupo e métodos de simulação de credibilidade estão se tornando um tema quente para sistemas complexos (Lin e Kou, 2015).

## ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente artigo foi estruturado de modo a sugerir um modelo capaz de abarcar tamanha importância do reuso de água em cervejarias pelo método híbrido proposto com o objetivo de concluir a pesquisa com a proposta de um indicador EESG.

O delineamento das etapas de pesquisa foi caracterizado por um levantamento bibliométrico para a definição dos Fatores Críticos/Critérios baseando-se em Gioradano (1999) para a sua definição, seguida da modelagem dos dados a partir da combinação dos métodos AHP-GDM; aplicação da BBN e Matriz de Riscos.

A originalidade da abordagem consistiu no fato de não ter sido identificado na literatura qualquer estudo semelhante de abordagem híbrida dos métodos AHP e redes bayesianas no contexto EESG, existindo, portanto, uma lacuna para a elaboração de um modelo voltado à sustentabilidade com uso destes métodos concomitantemente.

### Levantamento bibliométrico

O estudo realizado neste artigo contou com uma análise bibliográfica com foco em efluentes hídricos, métodos AHP – *Analytic Hierarchy Process* – e BBN – *Bayesian Belief Network*. Os documentos selecionados para análise se limitaram a materiais acadêmicos extraídos da base *Web of Science* (WoS), acessado por meio do portal Capes ([www.capes.gov.br](http://www.capes.gov.br)), nos meses de setembro, outubro e novembro de 2021. A escolha da base WoS foi selecionada pela variedade de materiais e facilidade de extração e utilização dos dados, principalmente pela confiabilidade de qualidade na base de dados acadêmica.

Foi utilizado o seguinte encadeamento de termos-chave para a obtenção de material bibliográfico: *brewery or water*

(todos os campos) and *Bayesian Belief Network* or BBN (todos os campos) or *Analytic hierarchy process* or AHP (todos os campos), retornando 33.968 documentos. A respeito do tratamento de dados, a ocorrência mínima de palavras foi restringida a 5, o que provocou a redução de 382 palavras encontradas a 12 termos. Para a análise bibliográfica foi utilizado o *software VOSviewer*, gerando as representações referentes à **Figura 2**.

Esta análise gerada pelo software *VOSviewer* permite verificar, através de um mapa baseado em informação bibliográfica, a coautoria, as palavras-chave, citações e demais termos de pesquisa que tenham em sua composição as palavras relacionadas ao assunto do presente artigo. Como resultado da análise de co-ocorrência foram gerados 2 *clusters* exibindo a conexão dos termos em um grafo, delimitado pelas cores verde e vermelha e apresentado na **Figura 2**. Estes termos foram organizados conforme exibe a **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Clusters de co-ocorrência

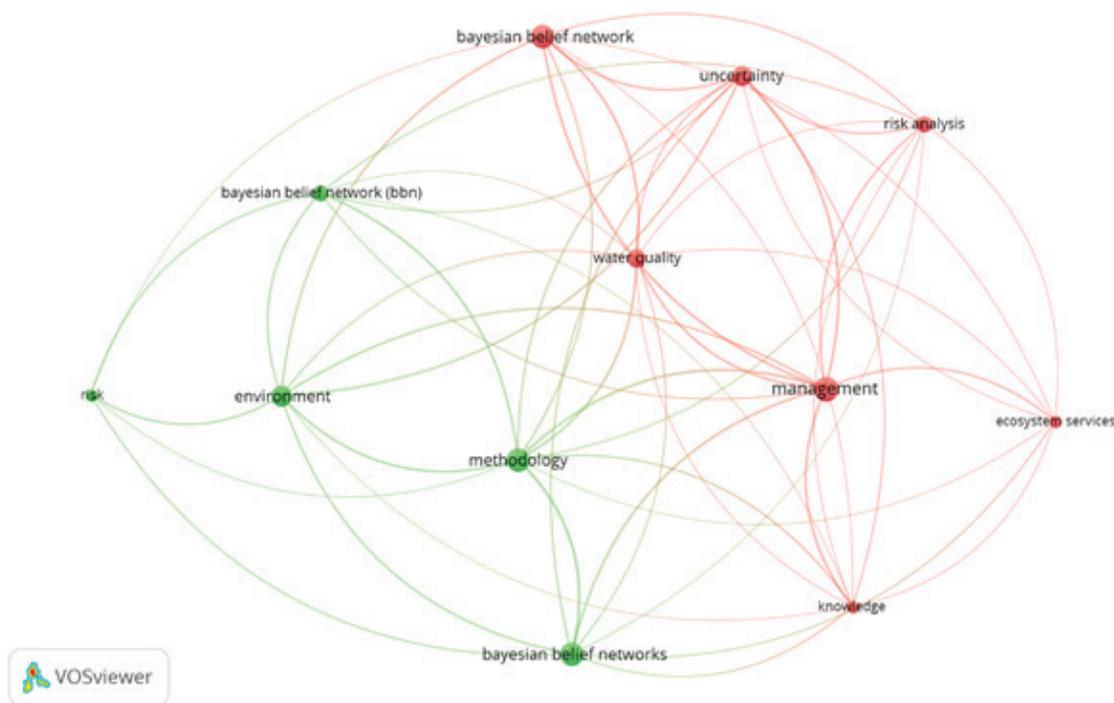
<b>CLUSTER 1</b> (7 itens)	<i>bayesian belief network; ecosystem services; Knowledge; Management; risk uncertainty; water quality</i>
<b>CLUSTER 2</b> (4 itens)	<i>bayesian belief network (bbn); environment; methodology; risk</i>

Fonte: Os próprios autores (2021)

De posse destes resultados, foram elicitados por meio da aplicação de questionário junto a stakeholders da indústria cervejeira brasileira os fatores de maior importância quanto à reutilização de recursos hídricos pela aplicação dos métodos AHP e BBN.

### Definição dos fatores críticos/critérios

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica para identificar os fatores críticos que poderiam fazer com que o processo de tratamento de efluentes fosse adotado, e um estudo de campo foi feito para validar esses fatores com os profissionais que atualmente trabalham com esses processos. A pesquisa realizada para este estudo, feita em formulários do *Google Docs*, foi respondida por profissionais experientes na área. Este estudo teve como objetivo obter o grau de importância na perspectiva de cada profissional sobre cada uma das externalidades apontadas por Giordano (1999), no qual, dentre os processos de tratamento a serem adotados, suas formas construtivas e os materiais a serem utilizados são considerados com base nos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; custos de investimento; custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; segurança operacional relacionada a vazamentos de



**Figura 2.** Visualização de *Network*

Fonte: Os próprios autores (2021)

produtos químicos usados ou efluentes; geração de odores; a interação com a vizinhança; confiabilidade para cumprir a legislação ambiental; possibilidade de reaproveitamento de efluentes tratados.

Destarte, os sistemas de tratamento devem ser utilizados não apenas com o objetivo mínimo de tratar os efluentes, mas também para atender outras premissas. Um ponto importante a ser destacado é que não se deve gerar resíduos desnecessários com o uso do tratamento (Giordano, 2003).

### Aplicação da AHP-GDM

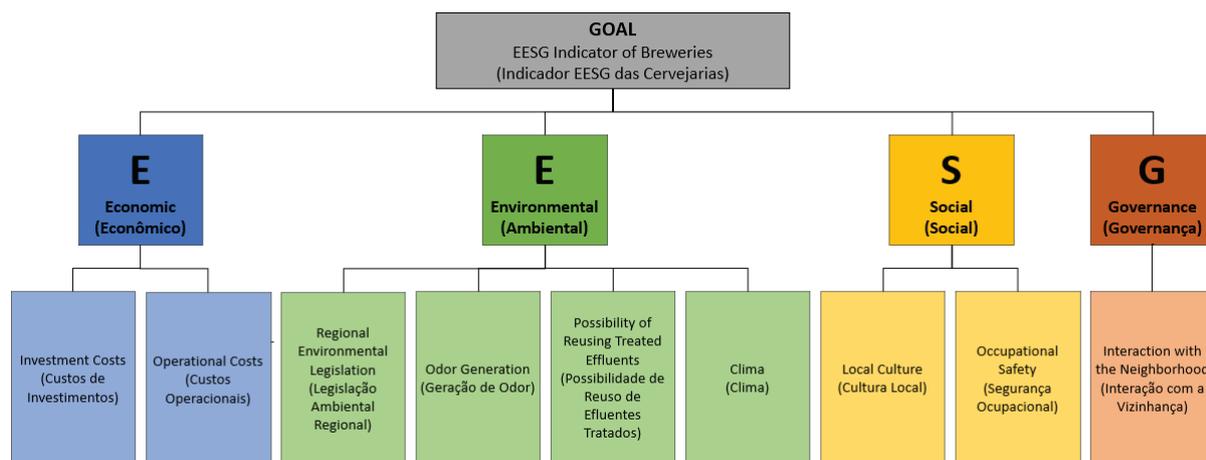
Baseando-se no constructo do EESG, os fatores críticos identificados no tópico anterior foram distribuídos e organizados em uma árvore hierárquica de tomada de decisão, destacando a interdependência entre tais fatores e as respectivas dimensões do EESG, em que o objetivo é elaborar um modelo que possibilite, de forma quantitativa, indicar a performance das cervejarias à luz do EESG. Vide **Figura 3**.

Os fatores relacionados ao econômico foram reduzidos em relação à contribuição da desigualdade, crescente insegurança econômica e insatisfação vividas no período vigente deste estudo, causadas pela pandemia do vírus SARS-CoV-2, gerador da COVID-19 em todo o mundo (Strine, Smith e Steel, 2020). Já no fator governança existe um desafio atual

que não pode ser ignorado: a proliferação de diferentes abordagens EESG, sendo esta proliferação ineficiente, incentivando a descaracterização das classificações de governança (Strine, Smith e Steel, 2020).

Os fatores relacionados ao econômico levaram em consideração todos aqueles definidos por Giordano (1999) que fossem envolvidos no custo de inserção das redes de drenagem de efluentes. Já o ambiental é formado por aqueles que envolvam a legislação ambiental local, a possibilidade de reuso, ou seja, reutilizar a água dos efluentes sem que ocorra poluição, o clima local sendo um dos fatores determinantes do ambiente (contando flora e fauna) e a possibilidade de poluição que possa ocorrer. O social é determinado por aqueles fatores que dependem da população do entorno onde será inserida. Já governança é a vivência entre a população e as redes locais de drenagem que deve ser gerenciada.

Diante do exposto, foi elaborado de forma gratuita no *Google Forms* um questionário para encontrar os pesos relativos de cada uma das dimensões do acrônimo EESG (tratados como critérios nesta fase), bem como de cada um dos fatores críticos (tratados como subcritérios nesta fase), que foi submetido aos profissionais do setor cervejeiro, cujas atribuições nas empresas teriam alguma afinidade com o objeto central de análise deste estudo – água de reuso. Ou seja, coube aos especialistas, contactados via *LinkedIn*, e-



**Figura 3.** Árvore hierárquica do modelo

Fonte: Os próprios autores (2021)

Group	Economic	Environmental	Social	Governance	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Economic	1	1/3	2/3	1 3/8	0,741	0,180	4,145	0,048
Environmental	3	1	1 2/9	1 2/9	1,452	0,352		
Social	1 5/9	4/5	1	8/9	1,030	0,250	CI	0,048
Governance	5/7	4/5	1 1/8	1	0,903	0,219	RI	0,900
	6,231	2,969	3,996	4,496	4,125	1,000	CR	0,054

**Figura 4.** Matriz agregada das respostas dos especialistas para os critérios (EESG)

Fontes: Os próprios autores (2021)

-mails e contatos telefônicos, contribuir com as suas percepções acerca do assunto.

Assim, como o questionário contou com a contribuição de profissionais de diversas empresas diferentes, dentre as opções de abordagem AIJ e AIP ligadas ao método AHP, os autores optaram por utilizar a agregação de respostas por meio da abordagem AIP para encontrar as matrizes e os pesos atribuídos pela análise AHP, uma vez que a abordagem AIP do AHP seria a mais adequado para casos como este, em que os decisores são de empresas diferentes e tendem a não estar entrosados entre si, agindo conforme as suas próprias preferências (interesses intrínsecos de cada decisor ou diretrizes empresariais às quais estes estariam submetidos – o que geralmente muda de uma empresa para outra). Desta forma, a utilização da média geométrica simples para o cálculo dos vetores das matrizes de decisão, atende a condição que visa sintetizar as prioridades individuais dos decisores para este caso, o que não impossibilita a utilização da média geométrica em alguns casos.

Conforme Forman e Peniwati (1998) citam, o emprego de AIJ viola o princípio de Pareto da teoria da escolha. Insistindo que o princípio deve ser aplicado, propõe que um AIP ponderado deve ser usado, considerando que o princípio de Pareto é relevante e em que circunstâncias AIJ ou AIP devem

ser usados. O princípio de Pareto essencialmente diz que dadas duas alternativas, A e B, se cada membro de um grupo de indivíduos prefere A a B, então o grupo deve preferir A a B. O princípio foi formulado e aplicado nas ciências sociais no contexto AIP (Forman e Peniwati, 1998).

Seguido a estes passos e de posse dos dados obtidos via questionários, resposta de 5 (cinco) respondentes, foram elaboradas as matrizes e calculados os respectivos vetores prioridades, tanto para os critérios (E, E, S e G) quanto para os subcritérios (fatores críticos) (vide Apêndice II), para então estabelecer uma matriz agregada das respostas dos especialistas para os critérios EESG. Vide **Figura 4**.

Da mesma forma, o Apêndice III apresenta as respostas individuais dos 5 (cinco) especialistas quanto aos subcritérios (Fatores Críticos) que, por sua vez, foram agregadas em uma única matriz (vide **Figura 5**).

Ressalta-se que na agregação das respostas dos especialistas foi utilizada a média geométrica dos valores. Ou seja, foi calculada a média geométrica entre as respostas dos 5 (cinco) respondentes.

Após a aplicação da análise AHP-GDM em ambas as matrizes foi possível chegar aos resultados dos pesos locais e in-

Group	Regional Environmental Legislation	Odor Generation	Possibility of Reusing Treated Effluents	Climate	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Regional Environmental Legislation	1	2 5/8	4/7	8/9	1,075	0,242	4,253	0,084
Odor Generation	3/8	1	1/6	8/9	0,481	0,108		
Possibility of Reusing Treated Effluents	1 3/4	6 1/3	1	1	1,823	0,411	CI	0,084
Climate	1 1/8	1 1/8	1	1	1,061	0,239	RI	0,900
	4,251	11,077	2,731	3,778	4,440	1,000	CR	0,094

Figura 5. Matriz agregada das respostas dos especialistas para os subcritérios (Fatores Críticos)

Fontes: Os próprios autores (2021)

Criteria	Weight	Critics Factors	Weight	Ind. Weight
E - Economic	17,95%	Investment Costs	50,00%	8,98%
		Operational Costs	50,00%	8,98%
E - Environmental	35,20%	Regional Environmental Legislation	24,22%	8,53%
		Odor Generation	10,83%	3,81%
		Possibility of Reusing Treated Effluents	41,06%	14,45%
		Climate	23,89%	8,41%
S - Social	24,96%	Local Culture	50,00%	12,48%
		Occupational Safety Relating to Leaks of Chemicals Used of Effluents	50,00%	12,48%
G - Governance	21,89%	Interaction with the Neighborhood	100,00%	21,89%
			100,00%	100,00%

Figura 6. Pesos locais e individuais dos critérios (EESG) e subcritérios (Fatores Críticos)

Fontes: Os próprios autores (2021)

individuais para cada um dos critérios e subcritérios utilizados no presente trabalho. Vide Figura 6.

### Aplicação da BBN

O primeiro passo foi realizar uma pesquisa bibliográfica em bases de dados para identificar o estado da arte da literatura sobre problemas relacionados a águas em indústrias. Assim, foi possível determinar os fatores críticos que mais impactam no processo de água de reuso.

Como parte do processo de elicitação, os questionários foram respondidos por uma amostra de 100 (cem) especialistas (profissionais de diferentes áreas da indústria de tratamento de efluentes). Estes profissionais foram contatados via rede social *LinkedIn*, levando-se em consideração o ramo da empresa em que atuam ou atuavam, com foco no ramo cervejeiro e/ou se conheciam o processo industrial.

Os respondentes foram solicitados a classificar os fatores listados por meio dos seguintes critérios: “é importante”, “importância alta”, “importância média” e “importância

baixa”. O critério “é importante” foi considerado como algo que não deveria ser deixado fora do projeto e os outros três critérios (“alta importância”, “média importância”, “baixa importância”) expressaram que, apesar de serem importantes, não se classificavam como essenciais. O resultado, em porcentagem, pode ser visto na Tabela 2.

Após identificar os principais fatores de risco foi possível atribuir às suas respectivas probabilidades de ocorrência, definindo os fatores mais relevantes para a operação. O *software BayesFusion* foi utilizado para gerar a rede BBN.

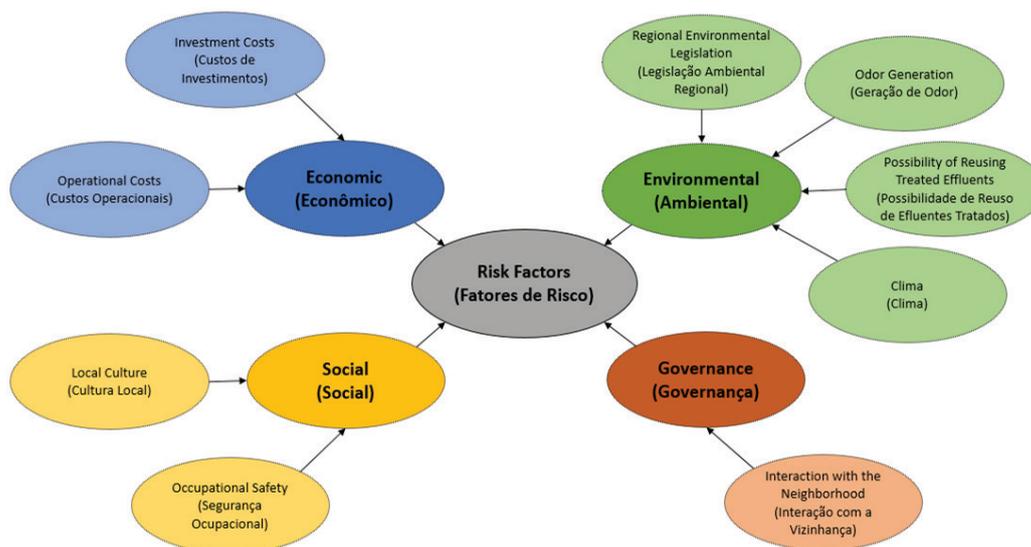
Para melhor ilustrar a relação de interdependência entre os critérios EESG e os fatores críticos identificados, a Figura 7 foi elaborada.

Diante das respostas obtidas nos questionários foi elaborada a matriz ordenada de forma decrescente com os valores das probabilidades referentes à ocorrência dos fatores de risco. Vide Tabela 3, a seguir.

**Tabela 2.** Porcentagem de resultados

Fator de Risco	É importante	Importância Alta	Importância Média	Importância Baixa
Legislação ambiental regional	74%	26%	0%	0%
Clima	15%	85%	0%	0%
Cultura local	5%	26%	34%	35%
Custos de investimento	27%	16%	42%	15%
Custos operacionais	61%	22%	0%	17%
Segurança operacional relacionada a vazamentos de produtos químicos usados ou efluentes	67%	30%	3%	0%
Geração de odores	88%	11%	1%	0%
Interação com a vizinhança	78%	10%	7%	5%
Possibilidade de reaproveitar os efluentes tratados	95%	4%	1%	0%

Fonte: Dorino, Moreira e Póvoas (2021)



**Figura 7.** Rede Bayesiana dos Resultados

Fonte: Os próprios autores (2021)

**Tabela 3.** Probabilidade de ocorrência de fatores de risco

Fatores de Risco	Probabilidade
Legislação ambiental regional	0,88
Clima	0,87
Cultura local	0,85
Custos de investimento	0,84
Custos operacionais	0,83
Segurança operacional relativa a vazamentos de produtos químicos ou efluentes	0,83
Geração de odores	0,79
Interação com a vizinhança	0,74
Possibilidade de reaproveitar os efluentes tratados	0,65

Fonte: Pereira e Dorino (2021)

### Matriz de riscos

Com os valores de impacto da AHP e as probabilidades obtidas com a BBN, a **Tabela 4** foi utilizada para se obter os pontos respectivos para se utilizar a matriz de riscos da **Tabela 5**. Os riscos apresentam as probabilidades de ocorrência e impacto em porcentagem, mas, para a utilização da matriz de probabilidade x impacto, esses riscos em porcentagem devem receber valores (chamados de pontos) de acordo com a faixa de variação, apresentados na **Tabela 5**, para que a classificação da matriz de probabilidade x impacto ocorra através da multiplicação dos pontos.

Após realizar a multiplicação e classificação de risco de cada etapa, os valores finais de pontuação dos riscos para cada categoria de riscos foram finalmente encontrados utilizando a **Tabela 5**, a qual mostra uma representação utilizando cores para facilitar a compreensão, sendo o amarelo-cla-

**Tabela 4.** Nível de pontos de probabilidade e impacto

Nível de pontos de probabilidade			Nível de pontos de impacto		
Pontos	Nível de probabilidade	Probabilidade	Pontos	Nível de impacto	Impacto
5	Esperado	Mais de 0,80	5	Alto	Mais de 0,16
4	Muito provável	0,51 - 0,80	4	Elevado	0,12 - 0,16
3	Provável	0,31 - 0,50	3	Moderado	0,08 - 0,11
2	Improvável	0,11 - 0,30	2	Baixo	0,04 - 0,07
1	Quase não há probabilidade	Menos de 0,11	1	Limitado	Menos de 0,04

\* O impacto e a probabilidade são medidos em níveis: limitado, baixo, moderado, elevado e alto, de acordo com a matriz AHP normalizada.

\*\* A coluna pesos encontrados na matriz normalizada são transformados em pontos (valores numéricos inteiros de 1 a 5) utilizando esta tabela de pontuação da metodologia.

Fonte: Os próprios autores (2021)

ro, riscos insignificantes para o estudo; o amarelo “ovo”, ou mais escuro, riscos toleráveis; o laranja, riscos indesejáveis e que devem ser mitigados; e o vermelho, riscos que devem ser urgentemente eliminados ou, pelo menos, mitigados. A matriz de probabilidade x impacto com as devidas cores está descrita na **Tabela 6**.

Define-se como sendo uma ferramenta de gerenciamento de riscos que permite de forma visual identificar quais são os riscos que devem receber mais atenção. Por se tratar de uma ferramenta para priorização de riscos, pode ser aplicada na etapa de avaliação de riscos.

Na **Tabela 6** os riscos são classificados através da multiplicação dos pontos definidos nas **Tabelas 4 e 5**.

Os fatores ESG possuem cor vermelha, significando que todos são de extrema importância para os projetos de redes de drenagem. A avaliação de probabilidade e impacto é feita

para cada risco identificado através de entrevistas, reuniões ou outras técnicas. A probabilidade e o impacto podem ser classificados através de um domínio específico, sendo uma ferramenta visual que possibilita ver rapidamente quais são os riscos que devem receber mais atenção, o que torna muito mais fácil o entendimento e engajamento das equipes no processo.

### Modelagem

Por meio da combinação dos pesos encontrados no método AHP-GDM e as probabilidades da BBN, foi possível estabelecer as seguintes equações:

**Tabela 5.** Matriz de risco

			Riscos				
			Limitado	Baixo	Moderado	Elevado	Alto
Probabilidade	Quase não há probabilidade	1	1	2	3	4	5
	Improvável	2	2	4	6	8	10
	Provável	3	3	6	9	12	15
	Muito provável	4	4	8	12	16	20
	Esperado	5	5	10	15	20	25
1 - 5 Insignificante		6 - 9 Tolerável		10 - 16 Indesejável		17 - 25 Intolerável	

Fonte: Os próprios autores (2021)

**Tabela 6.** Tabela de Probabilidade x Impacto

Fatores de Risco	Probabilidade	Impacto	Probabilidade	Impacto	Final
Econômico	0,83	0,19	5	5	25
Ambiental	0,80	0,35	5	5	25
Social	0,84	0,24	5	5	25
Governança	0,74	0,22	4	5	20

Fonte: Os próprios autores (2021)

$$f(\text{Econ.}) = Ec1.\text{prob}(\text{inv. costs}) + Ec2.\text{prob}(\text{oper. costs})$$

$$f(\text{Env.}) = En1.\text{prob}(\text{reg. env. leg.}) + En2.\text{prob}(\text{odor gen.}) + En3.\text{prob}(\text{p. reuse efflu.}) + En4.\text{prob}(\text{clim.})$$

$$f(\text{Soc.}) = S1.\text{prob}(\text{loc. cult.}) + S2.\text{prob}(\text{occup. safety})$$

$$f(\text{Gov.}) = G1.\text{prob}(\text{int. neighborhood})$$

### Equação 1. Funções das dimensões EESG

$$f(\text{EESG}) = (0,08976.0,84.X1 + 0,08976.0,83.X2) + (0,08526.0,88.X3 + 0,03812.0,79.X4 + 0,14450.0,65.X5 + 0,08407.0,87.X6) + (0,12481.0,85.X7 + 0,12481.0,83.X8) + (0,21885.0,74.X9)$$

### Equação 2. Fórmula da função objetivo do problema

Desta forma, foi possível chegar à seguinte equação:

$$f(\text{EESGi}) = f(\text{EESGc}) / f(\text{EESGp})$$

### Equação 3. Relação de desempenho

Onde  $f(\text{EESGi})$  é a relação de desempenho entre o valor calculado para a empresa  $f(\text{EESGc})$  e o valor máximo para o modelo em questão  $f(\text{EESGp})$  e:  $X1 = X2 = X3 = X4 = X5 = X6 = X7 = X8 = X9 = 1$ .

Ou seja, o modelo compara o resultado da empresa  $f(\text{EESGi})$  com o valor máximo obtido pelo modelo  $f(\text{EESGp})$ .

## DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O reaproveitamento de efluentes pode ocorrer em fins potáveis e não potáveis. O reuso da bebida gera custos elevados e pode gerar riscos à saúde humana, e sua prática está condicionada a situações de escassez. O reaproveitamento para fins não potáveis ocorre nas seguintes atividades: agrícola (irrigação de plantas comestíveis ou não); urbano (prevenção de incêndios, descargas sanitárias, lavagens de ruas, torres de refrigeração, entre outros). O reaproveitamento em uma cervejaria requer primeiro a adoção de boas práticas operacionais capazes de orientar a tomada de decisão, como: monitoramentos, aperfeiçoamentos na produção e dados de consumo de água e energia (Nordheim e Barrasso, 2007).

Em relação ao odor, a resposta das pessoas é variável, conforme demonstrado nesta pesquisa. Essa variabilidade é o resultado de diferentes percepções de odor (a percepção varia devido a diferentes classes de compostos odoríferos). Além disso, o fato de aceitar ou rejeitar um odor depende muito de experiências anteriores, das circunstâncias em que

ele é sentido, a idade, saúde e atitudes do receptor humano. Deve-se ter cuidado na escolha dos materiais que farão o tratamento, pois eles podem influenciar mais no odor do que os próprios efluentes. Facilmente reconhecido por seu odor de ovo podre, o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) é responsável pela maioria dos problemas de odores associados ao tratamento de efluentes de cervejaria e processamento de alimentos. Mais pesado que o ar, incolor, corrosivo e extremamente tóxico, ele levanta sérias questões de saúde e segurança no local de trabalho (Robbins e Brillat, 2002).

Outro fator considerado importante foi a interação com a vizinhança. Um bom estudo deste fator deve levar em consideração o estabelecimento de parâmetros caso sejam necessárias reformas para a viabilização do projeto e estudos de impacto ambiental apresentando propostas de ajustes ambientais. As empresas que implementam tais práticas podem vislumbrar benefícios concretos como agregação de valor ao produto, conquistas de novos mercados, melhor aproveitamento dos recursos naturais, redução de custos e aumento da produtividade (Leite, Santos e Oliveira, 2011).

A legislação é a primeira condição para um projeto de tratamento de efluentes. É importante observar que as diferenças na legislação muitas vezes impossibilitam a cópia de um projeto de tratamento bem-sucedido de um estado para outro. Uma estação de tratamento de esgoto (ETE) pode ser suficiente para atender à legislação de um estado, mas não atende a todos os limites estabelecidos por outro estado. Empresas como a Ambev possuem programas como o Bacias & Florestas, sendo uma iniciativa com missão de colaborar na recuperação e preservação de importantes bacias hidrográficas do país por meio de um amplo diagnóstico de cada bacia, reunindo uma série de parceiros e traçando um plano local com ações que incluem educação ambiental, restauração ecológica, práticas de conservação e Pagamento por Serviços Ambientais (Ambev, s. d.).

Os parâmetros de controle da carga orgânica são aplicados de forma muito diferente entre alguns estados. No estado do Rio de Janeiro, a avaliação é feita pelos parâmetros de demanda biológica de oxigênio e demanda química de oxigênio. Em relação à demanda biológica de oxigênio, a eficiência está diretamente ligada à carga orgânica em duas faixas: até 100 kg DBO/d 70% e acima de 100 kg DBO/d 90%. Em relação à demanda química de oxigênio, o controle é feito por concentração, com uma tabela em que a tipologia da indústria é o indicador (Giordano, 2003). No que diz respeito aos metais, o que varia entre as diferentes legislações estaduais é a concentração dos parâmetros.

Os fatores da multiplicação AHP-GDMxBBN mostraram que todos os fatores EESG são de suma importância, necessitando serem mitigados para que a inserção ocorra com qualidade e segurança. As equações encontradas são uma fonte importante de informações para as empresas que querem implementar o EESG utilizando metodologias de análise de riscos.

## CONCLUSÕES

No entanto, destaca-se que o modelo a ser proposto no presente trabalho se limita a apresentar uma função objetivo que será tratada como um “Indicador EESG das Cervejarias”, cabendo a cada uma das empresas que optarem por sua adesão definir as métricas e/ou seus indicadores internos mais adequados a cada um dos fatores/subcritérios, conforme a sua própria estratégia de negócio. Ou seja, da forma como foi apresentado no presente trabalho, cada empresa adota o indicador que lhe convém para cada um dos subcritérios analisados.

Sendo assim, são apresentadas as respostas para as perguntas da pesquisa:

**QP1:** Qual o grau de importância das dimensões do EESG quanto à utilização de água de reuso em indústrias cervejeiras brasileiras (abordagem pelo método AHP-GDM)?

**Resposta:** A **Tabela 7** apresenta o grau de impacto encontrado nas dimensões EESG segundo este estudo:

**Tabela 7.** Tabela de Probabilidade x Impacto.

Fatores de Risco	Impacto
Econômico	0,19
Ambiental	0,35
Social	0,24
Governança	0,22

Fonte: Os próprios autores (2021)

**QP2:** Qual o nível de criticidade dos fatores de risco envolvidos no processo de utilização de água de reuso nos processos industriais das cervejarias brasileiras (abordagem pelo método BBN)?

**Resposta:** A **Tabela 8** apresenta o grau de probabilidade de ocorrência encontrado nas dimensões EESG segundo este estudo:

**Tabela 8.** Tabela de Probabilidade x Impacto.

Fatores de Risco	Probabilidade
Econômico	0,83
Ambiental	0,80
Social	0,84
Governança	0,74

Fonte: Os próprios autores (2021).

**QP3:** Seria possível a construção de um modelo/função que possibilite estabelecer uma relação de desempenho para as operações (abordagem pelo método híbrido AHP-GDM x BBN)?

**Resposta:** Sim, é possível, sendo demonstrado pelas **Equações 1, 2, 3**, encontradas no capítulo 3, tópico 3.6 deste trabalho.

Dado contexto de delimitações da pesquisa de propor um indicador que possibilitasse analisar a perspectiva do EESG em companhias cervejeiras, dentre as sugestões de desdobramentos da pesquisa vislumbra-se potenciais reflexões quanto a:

Realizar um levantamento bibliográfico ou via consulta direta às empresas do setor, acerca de quais são os indicadores mais frequentemente utilizados pelas cervejarias quando precisam quantificar cada um dos fatores críticos identificados no presente trabalho. A fim de avaliar se haveria uma gama de indicadores similares e/ou convergentes entre as empresas que poderiam ser utilizados como uma forma de quantificar ou de atribuir valores às variáveis da função proposta. Possibilitando a criação de uma ferramenta alternativa para a realização de benchmarking entre as empresas do setor, sob forma de ranking (ranqueamento conforme a pontuação obtida na função objetivo);

Realizar um estudo de caso com algumas empresas que permitam utilizar seus dados, de forma que seja possível analisá-los com foco na geração de novos modelos.

Aplicação do modelo em outras empresas e/ou setores que utilizam intensivamente a água em seus processos, como, por exemplo, a indústria civil, siderúrgica, química, alimentos, energia (termelétricas).

## REFERÊNCIAS

- Abicalaffe, C., Amaral, V. & Dias, J. (2004), “Aplicação da Rede Bayesiana na Prevenção da Gestão de Alto Risco”, artigo apresentado no IX Congresso Brasileiro de Informática Médica, Ribeirão Preto, SP, 7-10 de nov.
- Agência Nacional de Águas (2017), *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno*, ANA, Brasília, p. 169 p.
- Agência Nacional de Águas (2019), *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual*, ANA, Brasília.
- Altuzarra, A., Moreno-Jimenez, J.M. & Salvador, M. (2006), “A Bayesian prioritization procedure for AHP-group decision making”, *European Journal of Operational Research*, vol. 182, pp. 367–382.
- Ambev (n. d.), *A água é da nossa conta!*, disponível em: <https://www.ambev.com.br/esg/agua/> (acesso em: 21 dez. 2021)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997), *NBR 13.969/97: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*, ABNT, Rio de Janeiro.
- Bhushan, N. & Rai, K. (2004), *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*, Springer, New York.
- Bobbio, A. et al. (2001), “Improving the Analysis of Dependable Systems by Mapping Fault Trees into Bayesian Networks”, *Reliability Engineering & Systems Safety*, vol. 71, no. 3, pp. 249-260.
- Brasil (1997), Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*, Diário Oficial da União, Brasília.
- Brasil (2016), Projeto de Lei do Senado nº 58, de 2016, *Disciplina o abastecimento de água por fontes alternativas e altera as Leis nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 [...]*, Diário Oficial da União, Brasília.
- Chang, K. et al. (2000), “Bayesian networks applied to credit scoring”, *Journal of Mathematics Applied in Business and Industry*, vol. 11, pp. 1-18.
- Conejero, M. (2011), *Planejamento e Gestão Estratégica de Associações de Interesse Privado do Agronegócio: uma Contribuição Empírica*, Tese de Doutorado em Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (2015), *Dia Mundial da Água merece revisão de posturas individuais e coletivas*, CONFEA, Brasília.
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2005), Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, *Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências*, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2010), Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010, *Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005*, Brasília.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2001), Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, *Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras*, Diário Oficial da União, Brasília.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005), Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*, Diário Oficial da União, Brasília, no. 53, p. 58-63.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008), Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*, Diário Oficial da União, Brasília, no. 66, seção 1, pp. 64-68.
- Dias, L., Moreira, J. & Pereira, J. (2019), “Análise de Riscos no Processo Eddy-Current Utilizando Bayesian Belief Networks (BBN)”, artigo apresentado no Congresso ABRISCO 2019, Rio de Janeiro, RJ, 2-4 dez.
- Forman, E. & Peniwati, P. (1998), “Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process”, *European Journal of Operational Research*, vol. 108, pp. 165-169.
- García-Pérez, I., Muñoz-Torres, M.J. & Fernández-Izquierdo, M.Á. (2016), “Microfinance literature: A sustainability level perspective survey”, *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-14, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.128
- Giordano, G. (1999), *Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos*, Dissertação de Mestrado em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 137 p.
- Giordano, G. (2003), *Análise e formulação de processos para tratamento dos chorumes gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos*, Tese de Doutorado em Engenharia de Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 257.
- Governo do Estado do Rio de Janeiro (2016), Lei nº 7.424, *Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de água de reúso pelos órgãos integrantes da administração pública*, Governo do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- Governo do Estado do Rio de Janeiro (2017), Lei nº 7.599 de 24 de maio de 2017, *Dispõe sobre a obrigatoriedade de indústrias situadas no Estado do Rio de Janeiro instalarem equipamentos de tratamento e reutilização de água*, Governo do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Groth, K.M. & Swiler, L.P. (2013), "Bridging the gap between HRA research and HRA practice: a Bayesian network version of SPAR-H", *Reliability Engineering & Systems Safety*, vol. 115, pp. 33–42.
- Hiller, B.T., Melotte, B.J. & Hiller, S.M. (2013), "Uncontrolled Sprawl or Managed Growth? An Australian Case Study", *Leadership and Management in Engineering*, pp. 144-170, DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000238
- Leite, K.O., Santos, M.J.V. & Oliveira, J.C. (2011), "Sustentabilidade: fator preponderante nas micro e pequenas empresas", *Revista Eletrônica Opet: Administração & Ciências Contábeis*, no. 6, ago.-dez.
- Liang, S. et al. (2019), "Analytic Hierarchy Process as a Tool to Explore the Success Factors of BIM Deployment in Construction Firms", artigo apresentado no 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Banff Alberta, Canada, 21-24 may.
- Lin, C. & Kou, G. (2015), "Bayesian revision of the individual pair-wise comparison matrices under consensus in AHP-GDM", *Applied Soft Computing*, vol. 35, pp. 802-811.
- Lin, C. et al. (2020), "Aggregation of the nearest consistency matrices with the acceptable consensus in AHP-GDM", *Annals of Operations Research*, vol. 316, pp. 179-195.
- Liu, Y. & Liu, Z. (2008), "Multi-objective product configuration involving new components under uncertainty", *Journal of Engineering Design*, vol. 21, pp. 473-494.
- Lyu, H. et al. (2020), "Risk Using a New Consulting Process in Fuzzy AHP", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 146., no. 3.
- Mannarino, C. et al. (2013), "Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática", *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 18, no. 11, pp. 3235-3243.
- Martin, S.A. & Ritchie, R. (2018), "A social science index and conceptual framework for assigning weights in surf tourism planning and development", *Tourism Planning & Development*, vol. 16, no. 3, pp. 281-303, DOI: 10.1080/21568316.2018.1470999
- McCabe, B., Abourizk, S. & Goebel, R. (1998), "Belief networks for Construction Performance Diagnostics", *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 93-100.
- Ministério da Saúde (2017), Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, *Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde*, Diário Oficial da União, no. 190, seção 1, supl., p. 360.
- Moura, P. et al. (2020), "**Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil**", *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 25, no. 6, p. 791-808.
- Nações Unidas Brasil (2021), *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*, Nações Unidas Brasil, Brasília, disponível em: <https://brasil.un.org/index.php/pt-br/sdgs> (acesso em: 27 out. 2021)
- Nordheim, E. & Barrasso, G. (2007), "Sustainable development indicators of the European aluminium industry", *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, pp. 275–279.
- Pereira, J.C. & Dorino, Y. (2021), "Definitions of Critical Risks Factors in an Effluent Drainage Network Project Using AHP: A Case of Study", in Tavares Thomé, A. M. et al. (eds.), *Industrial Engineering and Operations Management*, 2th ed, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol. 367, Springer, Cham, pp. 211-224.
- Robbins, L. & Brillat, B. (2002), "Control of Odors in the Brewing and Food Processing Industries", *Techican Quarterly Master Brewing Association of America*, vol. 39, no. 1, pp. 29-31.
- Saaty, T. L. (1989), "Group decision-making and the AHP", in Golden, B. L., Wasil, E. A. & Harker, P.T. (eds.), *The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies*, Springer-Verlag, New York, pp. 59–67.
- Shakeri, M. et al. (2020), "Green Supply Chain Risk Network Management and Performance Analysis: Bayesian Belief Network Modeling", *Environmental Energy and Economic Research*, vol. 4, no. 3, pp. 165-183.
- Strine, L., Smith, K. & Steel, R. (2020), "Caremark and ESG, Perfect Together: A Practical Approach to Implementing an Integrated, Efficient, and Effective Caremark and EESG Strategy", *Iowa Law Review*, vol. 106, pp. 1885-1922.
- Veenstra, E.M. & Ellemers, N. (2020), "ESG Indicators as Organizational Performance Goals: Do Rating Agencies Encourage a Holistic Approach?", *Sustainability*, vol. 12, no. 24, p. 10228.

Vieira Filho, V. & Albuquerque, M. (2007), "Abordagem Bayesiana para Simulação de Jogos Complexos", artigo apresentado no SBGames, São Paulo, SP, 10-12 nov.

World Health Organization (1973), *Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards, report of a WHO meeting of experts [meeting held in Geneva from 30 November to 6 December 1971]*, World Health Organization, Geneva.

#### Apêndice I - Quadro de referencial teórico

Número	Título	Palavras-chave	Ano	Autores	Período	Método	Resultados Obtidos
1	Aggregation of the nearest consistency matrices with the acceptable consensus in AHP-GDM	Group decision making (GDM), Pair-wise comparison matrix (PCM), Consistency, Consensus, Nearest consistent matrix	2020	Chang-sheng Lin, Gang Kou, Yi Peng, Fawaz E. Alsaadi	Annals of Operations Research	Neste artigo propuseram a agregação do mais próximo das matrizes consistentes (ANCM) com o consenso aceitável em AHP-GDM, simultaneamente considerando o consenso e a consistência dos PCMs individuais. ANCM é independente de métodos de priorização em conformidade com o princípio de Pareto da teoria da escolha social.	Dois exemplos numéricos ilustram as aplicações e vantagens do ANCM proposto.
2	A Bayesian prioritization procedure for AHP-group decision making	Analytic Hierarchy Process (AHP), Group decision making, Bayesian prioritization procedure (BPP), MCMC, Negotiation	2007	Alfredo Altuzarra, José María Moreno-Jiménez, Manuel Salvador	European Journal of Operational Research	O procedimento é baseado em uma análise bayesiana do problema e, em geral, fornece estimativas mais eficientes do que as técnicas convencionalmente aplicadas na literatura para AHP-GDM: agregação de julgamentos individuais (AIJ) e agregação de prioridades individuais (AIP).	O procedimento proposto naturalmente se estende à análise de matrizes de comparação par a par incompletas e/ou imprecisas, aumentando o realismo, praticidade e escopo. A metodologia foi ilustrada pela análise de um estudo de caso.
3	Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process	Analytic Hierarchy Process, Aggregating individual judgments, Aggregating individual priorities, Geometric mean	1988	Ernest Forman, Kirti Peniwati	European Journal of Operational Research	Propõe que a escolha do método depende se o grupo se assume que atuam juntos como uma unidade ou como indivíduos separados e explicam por que o AIJ é apropriado para o primeiro, enquanto AIP é apropriado para o último. Também as relações entre a escolha do método, a aplicabilidade do princípio de Pareto e o uso de meios aritméticos ou geométricos na agregação.	Discutem Ramathan e o método de Ganesh para derivar prioridades para tomadores de decisão individuais que podem ser usados ao agregar preferências de grupo de indivíduos cujos julgamentos não são todos igualmente ponderados. Concluem que, embora este método possa ser útil, é aplicável apenas em circunstâncias especiais.

Apêndice II - Matrizes

R.01	Economic	Environmental	Social	Governance	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Economic	1	1/9	1/9	1	0,333	0,069	4,470	0,157
Environmental	9	1	1	1	1,732	0,361		
Social	9	1	1	1	1,732	0,361		
Governance	1	1	1	1	1,000	0,208		
	20,000	3,111	3,111	4,000	4,797	1,000	CR	0,174

Figura 8. Matriz - Respondente 01

R.02	Economic	Environmental	Social	Governance	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Economic	1	1/5	1	5	1,000	0,177	4,348	0,116
Environmental	5	1	5	5	3,344	0,593		
Social	1	1/5	1	5	1,000	0,177		
Governance	1/5	1/5	1/5	1	0,299	0,053		
	7,200	1,600	7,200	16,000	5,643	1,000	CR	0,129

Figura 9. Matriz - Respondente 02

R.03	Economic	Environmental	Social	Governance	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Economic	1	1/5	1/5	1/5	0,299	0,044	5,333	0,444
Environmental	5	1	1/9	1/9	0,498	0,074		
Social	5	9	1	1/9	1,495	0,221		
Governance	5	9	9	1	4,486	0,662		
	16,000	19,200	10,311	1,422	6,779	1,000	CR	0,494

Figura 10. Matriz - Respondente 03

R.04	Economic	Environmental	Social	Governance	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Economic	1	1/5	1	1	0,669	0,125	4,000	0,000
Environmental	5	1	5	5	3,344	0,625		
Social	1	1/5	1	1	0,669	0,125		
Governance	1	1/5	1	1	0,669	0,125		
	8,000	1,600	8,000	8,000	5,350	1,000	CR	0,000

Figura 11. Matriz - Respondente 04

R.05	Economic	Environmental	Social	Governance	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Economic	1	5	5	5	3,344	0,625	4,000	0,000
Environmental	1/5	1	1	1	0,669	0,125		
Social	1/5	1	1	1	0,669	0,125		
Governance	1/5	1	1	1	0,669	0,125		
	1,600	8,000	8,000	8,000	5,350	1,000	CR	0,000

Figura 12. Matriz - Respondente 05

R.01	Regional Environmental Legislation	Odor Generation	Possibility of Reusing Treated Effluents	Climate	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Regional Environmental Legislation	1	5	1/9	1	0,863	0,123	4,493	0,164
Odor Generation	1/5	1	1/9	5	0,577	0,082		
Possibility of Reusing Treated Effluents	9	9	1	9	5,196	0,740	CI	0,164
Climate	1	1/5	1/9	1	0,386	0,055	RI	0,900
	11,200	15,200	1,333	16,000	7,023	1,000	CR	0,182

Figura 13. Matriz - Respondente 01

R.02	Regional Environmental Legislation	Odor Generation	Possibility of Reusing Treated Effluents	Climate	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Regional Environmental Legislation	1	5	1	1	1,495	0,313	4,000	0,000
Odor Generation	1/5	1	1/5	1/5	0,299	0,063		
Possibility of Reusing Treated Effluents	1	5	1	1	1,495	0,313	CI	0,000
Climate	1	5	1	1	1,495	0,313	RI	0,900
	3,200	16,000	3,200	3,200	4,785	1,000	CR	0,000

Figura 14. Matriz - Respondente 02

R.03	Regional Environmental Legislation	Odor Generation	Possibility of Reusing Treated Effluents	Climate	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Regional Environmental Legislation	1	1/9	1/9	1/9	0,192	0,025	5,333	0,444
Odor Generation	9	1	1/9	1/9	0,577	0,075		
Possibility of Reusing Treated Effluents	9	9	1	1/9	1,732	0,225	CI	0,444
Climate	9	9	9	1	5,196	0,675	RI	0,900
	28,000	19,111	10,222	1,333	7,698	1,000	CR	0,494

Figura 15 - Matriz - Respondente 03

R.04	Regional Environmental Legislation	Odor Generation	Possibility of Reusing Treated Effluents	Climate	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Regional Environmental Legislation	1	9	1	1	1,732	0,375	4,411	0,137
Odor Generation	1/9	1	1/5	1	0,386	0,084		
Possibility of Reusing Treated Effluents	1	5	1	1	1,495	0,324	CI	0,137
Climate	1	1	1	1	1,000	0,217	RI	0,900
	3,111	16,000	3,200	4,000	4,613	1,000	CR	0,152

Figura 16. Matriz - Respondente 04

R.05	Regional Environmental Legislation	Odor Generation	Possibility of Reusing Treated Effluents	Climate	Autovetor	Norm.	lambda	mi
Regional Environmental Legislation	1	5	5	5	3,344	0,612	4,653	0,218
Odor Generation	1/5	1	1/5	5	0,669	0,122		
Possibility of Reusing Treated Effluents	1/5	5	1	1	1,000	0,183	CI	0,218
Climate	1/5	1/5	1	1	0,447	0,082	RI	0,900
	1,600	11,200	7,200	12,000	5,460	1,000	CR	0,242

Figura 17. Matriz - Respondente 05

**Recebido:** 22 fev. 2022

**Aprovado:** 19 abr. 2023

**DOI:** 10.20985/1980-5160.2023.v18n1.1780

**Como citar:** Marcelo Póvoas, M., Espósito, A., Silva, L.P.C., Dias, L.C., Moreira, J.F., Cruz, M.M., Lima, G.B.A. (2023). Proposta de indicadores de gestão do programa de água de reuso nas cervejarias brasileiras sob as ópticas econômica, ambiental, social e governança: uma abordagem pelo método híbrido processo de hierarquia analítica na tomada de decisão em grupo x redes de crenças bayesianas. Revista S&G 18, 1. <https://revistasg.emnuvens.com.br/sg/article/view/1780>