

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Luiza Pereira Velloso

**ESTUDO DE DESAFIOS ESTRUTURAIS E OPORTUNIDADES PARA A
LOGÍSTICA REVERSA DO VIDRO NA EMPRESA AMBEV S.A.: PROPOSIÇÃO DE
SISTEMÁTICA MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE
PROJETOS**

Orientador: Professor Doutor João Amato Neto

SÃO PAULO
2021

**ESTUDO DE DESAFIOS ESTRUTURAIS E OPORTUNIDADES PARA A
LOGÍSTICA REVERSA DO VIDRO NA EMPRESA AMBEV S.A.: PROPOSIÇÃO DE
SISTEMÁTICA MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE
PROJETOS**

Luiza Pereira Velloso
Nº USP: 9834521

Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia de Produção,
sob orientação do Prof. Dr. João Amato Neto

SÃO PAULO

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Pereira Velloso, Luiza

Engenharia de Projetos Complexos: Como melhorar o cenário da Logística Reversa do Vidro no Brasil a partir de ações da empresa Ambev S.A. / L. Velloso -- São Paulo, 2021.
XX p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. resíduos sólidos 2. análise multicritério 3. logística reversa 4. cadeia de suprimentos 5. cadeia do vidro 6. caco pós-consumo 7. cenários complexos

AGRADECIMENTOS

Quem tem família, tem tudo. E eu tenho a maior sorte do mundo de ter a família perfeitamente imperfeita.

À minha mãe e irmã, Elvira e Fabiana, pelo cuidado, carinho e compreensão de todos os dias.

Ao meu pai, Luiz, que, mesmo com distâncias, me entende como ninguém.

Às minhas tias, Filomena, Rosa, Fátima e Lelé, mulheres incríveis que eu tenho a sorte de ter como base na minha vida.

Ao meu tio Tomzé, tão maluquinho quanto eu. E ao seu “copy-paste”, Arthur, priminho que sempre sonhei em ter como irmão.

Aos que não são da família, mas que vão além dos laços simples de amizade: meus verdadeiros parceiros de faculdade, Fernando, Viviane e Nayane.

Finalmente, agradeço a todos com os quais tive a sorte de cruzar durante os últimos anos. Professores, amigos, colegas, desconhecidos. Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. João Amato, que me ajudou de forma única no último ano.

RESUMO

Enquanto termos como economia circular e sustentabilidade ganham cada vez mais força no meio acadêmico, existem ainda entraves estruturais para que isso se concretize no Brasil. Exemplo disso é o mercado do vidro, material infinitamente reciclável, no qual, das 2,15 milhões de toneladas produzidas em 2020, apenas 47% foram recicladas. Através do estudo do cenário atual e principais desafios da logística reversa do vidro no contexto brasileiro - em específico, na Ambev, empresa brasileira e grande geradora de vidro no país – e dos principais e mais atuais conceitos de sustentabilidade na cadeia de suprimentos, o presente trabalho propõe auxiliar no direcionamento de iniciativas de logística reversa do vidro na empresa. Por um lado, uma estrutura para facilitar a análise de cenários de forma consistente com o que a literatura define como sustentável. Complementarmente, uma sistemática multicritério para a priorização de projetos de logística reversa, criada através da metodologia do *Analytic Hierarchy Process*. A metodologia será aplicada para 3 cenários, dentre os quais o selecionado será desenvolvido em maiores detalhes. As conclusões do trabalho buscarão resumir os desafios encontrados, tais quais as oportunidades da logística reversa do vidro no cenário brasileiro e indicações de próximos passos necessários ao desenvolvimento do projeto escolhido.

Palavras-chave: resíduos sólidos; análise multicritério; logística reversa; cadeia de suprimentos; cadeia do vidro; caco pós-consumo; cenários complexos.

ABSTRACT

While terms such as circular economy and sustainability are gaining more and more force in the academic environment, there are still structural obstacles for this to become a reality in Brazil. An example of this is the glass market, an infinitely recyclable material, in which, of the 2.15 million tons produced in 2020, only 47% were recycled. Through the study of the current scenario and main challenges of glass reverse logistics in the Brazilian context - more specifically, at Ambev, a Brazilian company and a major generator of glass in the country - and the main and current concepts of sustainability in the supply chain, this paper proposes to assist in the direction of reverse logistics initiatives for glass in the company. On the one hand, a framework to help analyze scenarios consistently with what the literature defines as sustainable. Complementarily, a multi-criteria system for the prioritization of reverse logistics projects, created with Analytic Hierarchy Process methodology. The methodology will be applied to 3 scenarios, among which the selected one will be developed in greater details. To conclude, this paper will summarize the challenges identified, such as the opportunities for the reverse logistics of glass in the Brazilian scenario and indicate next steps in the development of the chosen project.

Key words: solid waste; multicriteria analysis; reverse logistics; supply chain; glass chain; post-consumer cullet; complex scenarios.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A Cadeia Sustentável de Suprimentos	10
Figura 2: O ciclo infinito de reciclagem do vidro.....	17
Figura 3: Esquema simplificado da cadeia do vidro no Brasil, alinhado à PNRS	19
Figura 4: Proposta da ABIVidro de cadeia do vidro no Brasil.....	20
Figura 5: Matriz de materialidade da Ambev.....	21
Figura 6: Estrutura simplificada do AHP.....	26
Figura 7: Cadeia de vidro da Ambev	31
Figura 8: Fluxo dos cacos de vidro atual	32
Figura 9: Novo fluxo de cacos sendo implementado na Ambev	33
Figura 10: Relação entre unidades vendidas de cerveja retornável e unidades de cerveja não retornáveis (incluindo latas e garrafas)	34
Figura 11 - Passo a passo da criação, análise e hierarquização de cenários	40
Figura 12: Fluxo de Cacos de um CCC	62
Figura 13: Gráfico de Dispersão dos Atores	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de Julgamento	26
Tabela 2: Escala de julgamento de Saaty	27
Tabela 3: Tabela de índices de consistência aleatória	28
Tabela 4: Principais Plataformas de Incentivo à LR da Ambev.....	37
Tabela 5: Levantamento de países com alta taxa de reciclagem de vidro e suas respectivas populações	40
Tabela 6: Indicadores para Seleção de Cenários	53
Tabela 7: Matriz de Julgamento Critérios.....	54
Tabela 8: Vetor de Prioridade da Matriz de Critérios.....	54
Tabela 9: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 1	55
Tabela 10: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 1	55
Tabela 11: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 2	55
Tabela 12: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 2	55
Tabela 13: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 3	56
Tabela 14: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 3	56
Tabela 15: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 4	56
Tabela 16: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 4	57
Tabela 17: Razão de Consistência das matrizes criadas	57
Tabela 18: Critérios, Subcritérios, Razão de Consistência e Pesos Locais e Globais	57
Tabela 19: Critérios e <i>Ratings</i>	58
Tabela 20: Matriz de Decisão do Cenário – Notas por Cenário e Score Final.....	59
Tabela 21: Fábricas de Vidro Oco no Brasil	67
Tabela 22: Distribuição territorial dos atores da cadeia de vidro da Ambev	68
Tabela 23: Distância entre estados do Brasil (em milhares de km).....	69

LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMD	Apoio multicritério à decisão
ANCAT	Associação Nacional dos Catadores
AVR	Fábrica de vidro da Ambev
CCC	Centro de coleta de cacos
CDD	Centro de distribuição
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
GAP	<i>Marine Strategy Framework Directive</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LR	Logística reversa
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RDO	Resíduos sólidos domiciliares
RSU	Resíduos sólidos urbanos
P+L	Produção mais limpa
3T	Tripé da Sustentabilidade

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
Motivação	1
Contextualização	2
Objetivos.....	4
Estrutura do Trabalho	5
1. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
1.1. Conceito de “sustentabilidade” em 2021	7
1.1.1. Tripé da Sustentabilidade	7
1.1.2. <i>Environmental, Social and Governance</i>	7
1.1.3. Agenda 2030.....	8
1.2. Economia circular e produção de ciclo fechado	9
1.2.1. Gestão da cadeia de suprimentos.....	9
1.2.2. Gestão Socioambiental e sustentabilidade na cadeia produtiva	11
1.2.2.1. <i>Economia circular</i>	11
1.2.2.2. <i>Engenharia sustentável</i>	12
1.2.2.3. <i>Gestão ambiental</i>	12
1.2.2.4. <i>Sustentabilidade e economia</i>	12
1.2.2.5. <i>Ecoeficiência</i>	13
1.2.2.6. <i>Produção mais limpa e logística reversa</i>	13
1.3. Realidade brasileira: sustentabilidade e economia circular	14
1.3.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos: a logística reversa e a participação dos catadores nela	14
1.3.2. Panorama da cadeia de vidro no Brasil.....	16
1.3.3. Panorama da sustentabilidade, <i>Environemntal, Social and Governance</i> e cadeia de vidro na Ambev	21
1.4. Métodos de apoio multicritério à decisão.....	23
1.4.1. <i>Analytic Hierarchy Process</i>	24
2. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL: A CADEIA DE VIDRO NA AMBEV	29
2.1. Estrutura e atores.....	29
2.1.1. Fábricas de garrafa.....	29
2.1.2. Fornecedores de cacos de vidro.....	29
2.1.3. Cooperativas	29
2.1.4. Cervejarias.....	30
2.1.5. Centros de distribuição.....	30
2.1.6. Fábrica de garrafa própria	30

2.2.	Logística do vidro atual: direta e reversa.....	31
2.3.	Demanda de garrafas e cacos de vidro	33
2.4.	Área de logística reversa e projetos atuais.....	35
2.4.1.	Sobre a área de logística reversa.....	35
2.4.2.	O porquê de uma área de logística reversa.....	35
2.4.3.	Projetos da Ambev que atuam na logística reversa do vidro	36
2.5.	Levantamento de possibilidades e desafios	37
2.5.1.	Obstáculos à logística reversa no cenário atual.....	37
2.5.2.	Oportunidades da logística reversa no cenário atual	38
3.	CRIAÇÃO, ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE CENÁRIOS	39
3.1.	Introdução	39
3.2.	Estudo de cenários alternativos.....	40
3.2.1.	Boas práticas internacionais	41
3.2.2.	Tecnologias para reciclagem do vidro – tendências mundiais	42
3.3.	Métricas de análise: Óticas da análise e problemas selecionados.....	43
3.3.1.	Análise dos cenários sob a ótica do tripé da sustentabilidade.....	43
3.3.1.1.	<i>Pilar ambiental</i>	44
3.3.1.2.	<i>Pilar social</i>	44
3.3.1.3.	<i>Pilar econômico</i>	45
3.3.2.	Problemas selecionados	46
3.4.	Cenário 1: Foco no cliente final - Ampliação de projetos de logística reversa - pontos de coleta e conscientização da população	46
3.4.1.	Visão geral do cenário.....	46
3.4.2.	Análise sob ótica do tripé da sustentabilidade.....	46
3.4.3.	Resolução dos Problemas Selecionados	47
3.5.	Cenário 2: Foco na cadeia interna - Revisão das estruturas próprias à Ambev: criação de centro para coleta e beneficiamento de cacos	48
3.5.1.	Visão geral do cenário.....	48
3.5.2.	Análise sob ótica do tripé da sustentabilidade.....	48
3.5.3.	Resolução dos problemas selecionados	49
3.6.	Cenário 3: Foco no ambiente externo - Investimento em tecnologias que possibilitem a separação automática de material nos aterros sanitários, em parceria com o poder público e os aterros50	
3.6.1.	Visão geral do cenário.....	50
3.6.2.	Análise sob ótica do tripé da sustentabilidade.....	51
3.6.3.	Resolução dos problemas selecionados	51
3.7.	AMD entre os cenários.....	52
3.7.1.	Estruturação dos critérios na hierarquia do AHP	53

3.7.2.	Coleta de julgamento dos critérios, cálculo das prioridades e consistência.....	54
3.7.3.	Escolha do cenário	60
4.	DESENVOLVIMENTO DO CENÁRIO ESCOLHIDO	61
4.1.	Detalhamento do Cenário 2: centro de coleta de cacos.....	61
4.2.	Criando o centro de coleta de cacos: proposta de localização	62
4.2.1.	Formulação da solução e método de cálculo.....	63
4.2.1.1.	<i>Formulação</i>	63
4.2.1.2.	<i>Métodos</i>	63
4.2.1.2.1.	Cálculo da distância entre pontos	63
4.2.1.2.2.	Cálculo do ponto central: método do centro de gravidade.....	63
4.2.1.3.	<i>Premissas</i>	65
4.2.2.	Análise geográfica da cadeia atual	65
4.2.2.1.	<i>Cervejarias</i>	65
4.2.2.2.	<i>Cooperativas</i>	66
4.2.2.3.	<i>Centros de distribuição</i>	66
4.2.2.4.	<i>Fábricas de garrafas</i>	67
4.2.2.5.	<i>Fornecedores de cacos</i>	67
4.2.2.6.	<i>Resumo: distribuição dos atores no Brasil</i>	68
4.3.	Resultados.....	69
4.3.1.	Localização escolhida	69
4.3.2.	Análise de receita do centro de coleta de cacos	70
4.3.3.	Proposta de melhoria para o modelo.....	71
	CONCLUSÕES	72
	Desafios da logística reversa do vidro no Brasil.....	72
	Oportunidades no Brasil	73
	Resultados do estudo e recomendações de próximos passos.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

INTRODUÇÃO

Motivação

Globalmente, 130 milhões de toneladas de resíduos de vidro são geradas a cada ano enquanto apenas 21% são reciclados. No Brasil, foram geradas 79,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos – RSU em 2020, sendo 2,7% delas vidro, ou seja, 2,15 milhões de toneladas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE, 2020), sendo apenas 47% delas recicladas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE VIDRO – ABIVIDRO, 2020). Em países com dinâmica robusta de logística reversa – LR, essa porcentagem chega a mais de 90% - a média dos países da União Europeia, líder em reciclagem de vidro, é de 76% (- THE EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION – FEVE, 2020).

Parte significativa do vidro gerado provém do mercado de embalagens alimentares. No Brasil, o mercado produz mais de 8,6 bilhões de embalagens por ano, o que equivale a 1,3 milhões de toneladas do material (ABIVIDRO, 2020). O tipo de vidro utilizado em embalagens é infinitamente reciclável, podendo ser totalmente reaproveitado no ciclo produtivo, sem perda de material (ABIVIDRO, 2019). Apesar de altamente reciclável, o vidro é um material de baixa biodegradabilidade, podendo demorar mais de cinco mil anos para se decompor (TORRES, 2018).

As milhares de toneladas anuais do vidro que não são reciclados tem como principal destino aterros, seguido de lixões. Isso resulta em problemas ambientais e sanitários, já que o vidro, além de não se decompor, é altamente cortante. Há, ainda, o aspecto social, dado que a reciclagem do vidro, atualmente, é uma atividade com baixa remuneração para cooperativas/catadores de materiais reciclados (FERDOUS *et al.*, 2021).

A reutilização do vidro na produção de embalagens consome menos energia e emite menos gases de efeito estufa (CO₂), contribuindo para a preservação do meio ambiente. Além disso, com a reciclagem, se diminui significativamente a extração de recursos naturais. (SANTOS, 2015).

Fica claro que a LR do material é essencial e assunto urgente nacional. Entretanto, como veremos no trabalho em questão, sua cadeia de produção é complexa, com muitos atores e desafios a serem superados.

O presente trabalho de conclusão de curso foi feito durante o estágio realizado na área de compras de embalagens, na empresa Ambev S.A. A empresa em questão é agente essencial na geração e reciclagem do vidro, o que motivou o estudo aprofundado do funcionamento da cadeia, seus entraves e, finalmente, como a empresa privada poderia auxiliar na resolução do problema público que é a má gestão dos resíduos de vidro.

Contextualização

No cotidiano de imersão na área de compras de embalagens, alguns conceitos apareciam recorrentemente: a importância do conteúdo reciclado nas embalagens e a falta de cacos de vidro (*cullet*) e garrafas nos últimos meses, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS e um possível decreto que traria a responsabilidade compartilhada pela logística do vidro, o *Environmental, Social and Governance* – ESG¹ (ver item 2.1.2) e as metas de sustentabilidade da empresa. Aos poucos fui entendendo que todos se relacionavam.

Quanto à falta de garrafas de vidro, o que se viu é que a pandemia COVID-19 impactou fortemente a cadeia de insumos e produção de embalagens. A falta de insumos para a indústria chegou a 12,49% em janeiro de 2021, apenas 0,08 ponto porcentual abaixo do pico da pandemia, quando chegou a 12,57 em maio de 2020 (NEOGRID, 2021). Intensificados pelas dificuldades impostas pela crise, os desafios da LR do vidro - que serão apresentados no decorrer do trabalho - têm como resultado o cenário de falta de garrafas de vidro e cacos desde o final de 2019. Empresas têm, nesse cenário, que recorrer à importação e baixar taxas de conteúdo reciclado - duas ações que caminham no sentido contrário da sustentabilidade.

A PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/2010, legisla a responsabilidade dos agentes sobre os resíduos sólidos, os mecanismos adotados para o gerenciamento e disposição final

¹ ESG pode ser definido como “conjunto de padrões e boas práticas que visa definir se a operação de uma empresa é socialmente consciente, sustentável e corretamente gerenciada. Três pilares (Ambiental, Social e Governança corporativa) são utilizados como critérios para entender se uma empresa possui sustentabilidade empresarial, ampliando a perspectiva de análise do negócio para além das métricas financeiras. Cada um desses critérios tem diretrizes próprias que dependem do contexto do setor em análise” (TOTVS, 2021).

desses resíduos em solo nacional. Essa lei tem como um de seus grandes pontos transformadores a criação de obrigação legal chamada responsabilidade compartilhada, em seu art. 30:

[a] responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

Portanto, é de responsabilidade de todos os entes da cadeia de produção de um insumo - que percorre a extração de recursos naturais, produção de insumos, distribuição, comercialização, consumo e descarte do bem produzido - a LR do resíduo (SILVA, 2021).

Atualmente, os grandes geradores de vidro não são punidos pelo não cumprimento da LR. Entretanto, a indústria brasileira aguarda a publicação de um decreto para regulamentar o processo de LR do vidro, essencial para aumentar as taxas de reciclagem do produto. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente – MMA, empresas que usam embalagens de vidro, como na indústria de bebidas, precisam organizar a coleta do material usado e transportá-lo até os locais onde os novos potes e garrafas reciclados serão produzidos. Detendo a maioria do mercado de bebidas alcoólicas e grande parte da cadeia de suprimento do vidro interna a ela, a Ambev é uma das principais responsáveis pela compra, venda e geração de garrafas de vidro no Brasil e, por consequência, carrega grande responsabilidade na LR do vidro (AMBEV, 2021).

Finalmente, o ESG é uma tendência e vem sendo utilizado com métrica e forma de cobrança das empresas, que devem demonstrar responsabilidade com o mercado que atuam, incluindo fornecedores, investidores, consumidores e colaboradores. Sendo utilizado com métrica no mercado de investimentos, as métricas de ESG, ao mesmo tempo que exercem certa pressão para que as empresas de capital aberto - como a Ambev -, tenham de se preocupar para além do lucro, também direcionam os investimentos de acionistas (TOTVS, 2021).

Ainda no contexto de sustentabilidade, a empresa, historicamente pioneira em assuntos de sustentabilidade, criou metas de sustentabilidade a serem alcançadas até o ano de 2025. Tais compromissos são diretamente relacionados aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU – ODS, e são organizados em cinco frentes: ações climáticas; gestão de

água; agricultura inteligente; embalagem circular; e ecossistema de empreendedores. São duas as que são diretamente ligadas à cadeia reversa do vidro, sendo: embalagem circular - “100% dos produtos da Cervejaria Ambev devem estar em embalagens retornáveis ou que sejam majoritariamente feitas de conteúdo reciclado” - e ações climáticas - “a cervejaria vai reduzir em 25% as emissões de carbono ao longo da nossa cadeia de valor” (AMBEV, 2021). Os motivos de impacto serão apresentados no desenrolar deste relatório.

Em resumo, fica claro que, por um lado, a logística do vidro é decisiva para a saúde da empresa Ambev e, por outro, as ações da empresa quanto à logística do vidro são decisivas para o Brasil devido ao impacto de suas operações. Um estudo aprofundado e crítico sobre a cadeia reversa do vidro no Brasil e como ela funciona atualmente na Ambev poderia trazer ideias aplicáveis à melhoria dos problemas atuais, gerando valor para a empresa e para o Brasil.

Objetivos

O trabalho em questão visa compreender e contribuir para melhoria do cenário atual da LR do vidro no Brasil por meio do auxílio ao direcionamento da iniciativa privada da Ambev, empresa que detém o maior *market share* de embalagens alimentares de vidro no país.

Através do levantamento das maiores dificuldades e impeditivos da circularidade do material, problema complexo de âmbito nacional, cenários possíveis serão levantados e analisados segundo métricas de análise. Finalmente, Os cenários serão analisados sob as mesmas métricas, criadas segundo interesses ambientais nacionais e empresariais. Posteriormente, um dos cenários será escolhido e melhor desenvolvido.

É importante ressaltar que, no contexto do trabalho, o termo “cenário” substitui o termo “solução”, evitando uma promessa que não pode ser cumprida por apenas uma ação.

As conclusões do trabalho buscarão resumir os desafios encontrados, tais quais as oportunidades da LR do vidro no cenário brasileiro e indicações de próximos passos necessários ao desenvolvimento do cenário escolhido.

Estrutura do Trabalho

O trabalho é dividido em seis grandes tópicos: *Introdução*; *Revisão da literatura*; *Diagnóstico da situação atual na Ambev*; *Criação, Análise e priorização de Cenários*; *Desenvolvimento do cenário escolhido*; e *Conclusões*.

Durante a *Revisão da literatura*, será feito um estudo profundo de conceitos que ajudem a compreender o que é a sustentabilidade na cadeia de suprimentos no cenário atual, tais quais a economia circular, o tripé da sustentabilidade, o ESG, entre outros. Também será momento para compreender o funcionamento geral da cadeia de vidro no Brasil e legislações a ela relativas, além de como a Ambev se posiciona frente à realidade e os conceitos estudados, tudo através de relatórios emitidos nos últimos anos por atores importantes do cenário.

Em *Diagnóstico da situação atual da Ambev*, será realizado um levantamento das características atuais da LR da empresa, através do detalhamento de sua estrutura, atores, projetos, dificuldades, de forma a entender como o cenário da LR impacta a empresa e como ela impacta tal cenário. Os desafios e oportunidades para o Brasil e para a empresa serão resultados do estudo.

A partir das oportunidades e desafios encontrados, o capítulo *Análise e priorização de Cenários* será construído. Para além das informações dos capítulos anteriores, um levantamento de boas práticas internacionais será feito, de forma a garantir uma boa construção de cenários. Cada um dos cenários, condizentes com a realidade nacional, empresarial e tecnológica, será analisado sob métricas de análise e comparados a partir da metodologia do *Analytic Hierarchy Process* – AHP. O objetivo do capítulo é de selecionar o cenário de forma racional o cenário mais condizente com os objetivos nível Ambev e Brasil, o qual será apresentado e detalhado no capítulo seguinte.

Em *Desenvolvimento do cenário escolhido*, o cenário será apresentado em maiores detalhes, utilizando-se de ferramentas da Engenharia de Produção para tal. Uma análise de viabilidade será realizada, além da proposição de próximos passos caso a empresa decida acatar a ideia.

Em *Conclusões*, são apontados os principais desafios da LR do vidro no Brasil e na Ambev, as oportunidades enxergadas a médio prazo e, finalmente, considerações das análises feitas e recomendações de próximos passos.

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1. Conceito de “sustentabilidade” em 2021

Três grandes conceitos que ditam a sustentabilidade nos últimos anos são: o tripé da sustentabilidade, o ESG e a Agenda 2030 e seus ODS.

1.1.1. Tripé da Sustentabilidade

O *tripé da sustentabilidade* (*triple bottom line*) é um conceito de gestão sustentável que tem como objetivo ampliar a visão de sucesso de empresas para além do resultado financeiro, unindo a esse primeiro mais dois pilares essenciais: o desenvolvimento ambiental e o social (JEURISSEN, 2000).

Esse conceito foi criado por John Elkington na década de 1990, que contestou o modelo histórico de preocupação das empresas - voltado apenas ao financeiro - e afirmou que o resultado empresarial poderia ser medido de forma mais abrangente atribuindo um peso similar para as visões social, ecológica e financeira nas empresas. Essas visões são também conhecidas pelo *triple P* (*People, Planet e Profit*, respectivamente).

O pilar social é centrado na ética, salários justos, cumprimento de acordos trabalhistas, clima organizacional, impacto da empresa no ecossistema em que se encontra e a contribuição com a comunidade. Já o ambiental visa o impacto no meio ambiente, a redução de desperdícios, a separação e descarte correto de resíduos, o consumo de água e energia reduzido, o foco em energias renováveis e a pegada de carbono. Finalmente, o financeiro visa garantir o respeito ao fluxo de caixa, o cuidado com endividamento, a saúde financeira, boa lucratividade e o pagamento de fornecedores no prazo.

1.1.2. *Environmental, Social and Governance*

Uma definição de ESG muito completa foi encontrada no artigo disponibilizado pela Totvs, em 2021:

O ESG, do inglês, **Environmental, Social and Governance**, é definido por é um conjunto de padrões e boas práticas que visa definir se a operação de uma empresa é socialmente consciente, sustentável e corretamente gerenciada. Três pilares (Ambiental, Social e Governança corporativa) são utilizados como critérios para entender se uma empresa possui sustentabilidade empresarial, ampliando a perspectiva de análise do negócio para além das métricas financeiras. Cada um desses critérios tem diretrizes próprias que dependem do contexto do setor em análise. (TOTVS, 2021).

O critério ambiental inclui exigências, tais quais: a gestão de resíduos; a política de desmatamento-; uso de fontes de energia renováveis; o posicionamento quanto à mudança climática; a presença e criação de ações direcionadas à redução e/ou eliminação da poluição de água e ar decorrentes de ações da empresa; e a LR de produtos.

Já o social é voltado tanto à relação da empresa com seus funcionários quanto à relação com seus fornecedores. Para os funcionários, a taxa de *turnover*, os benefícios concedidos, plano de previdência, programa de treinamento, salário etc. Para os fornecedores, leva-se em conta a não existência do trabalho infantil, do trabalho escravo, de atuação em áreas desmatadas ou queimadas, o que exige transparência na relação empresa-fornecedor.

Por fim, o termo governança engloba a maneira de administração de uma empresa por seus gestores e diretores. O atendimento dos interesses de funcionários, clientes e acionistas por parte da do conselho administrativo é vislumbrada, com fatores de avaliação tais quais transparência financeira e contábil, relatórios financeiros, remuneração dos acionistas, independência, equidade e diversidade nos conselhos, integridade e práticas anticorrupção, gestão de riscos (TOTVS, 2021).

Os especialistas da Totvs apontam, ainda que

[o] ESG é uma grande tendência e tem sido utilizado com métrica e forma de cobrança das empresas, que devem mostrar responsabilidade e comprometimento com o mercado que atuam, seus consumidores, fornecedores, colaboradores e seus investidores. Sendo utilizado como investimento, as métricas de ESG funcionam como via de mão-dupla no mercado financeiro, ao mesmo tempo que sua existência impõe certa pressão para que as empresas de capital aberto se preocupem com fatores além do lucro, também serve de ponteiro para direcionar os investimentos dos acionistas. Impulsionada, em especial, pela pandemia da Covid-19, estima-se ainda que, a nível mundial, os ativos globais em fundos ESG ultrapassem a barreira dos US\$53 trilhões até 2022. (TOTVS, 2021).

1.1.3. Agenda 2030

Por fim, os a Agenda 2030 e os seus ODS, são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham condições de paz e prosperidade. Eles foram definidos em setembro de 2015, quando representantes dos Estados-membros da ONU se reuniram em Nova York e adotaram o documento *Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável* (A/70/L.1), comprometendo-se a tomar medidas para promover o desenvolvimento sustentável nos 15 anos seguintes.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade, que busca fortalecer a paz universal. O plano indica 17 ODS e 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta. Os 17 ODS consideram o tripé da sustentabilidade acima explicado, e são compostos por: erradicação da pobreza; fome zero e agricultura sustentável; saúde e bem-estar; educação de qualidade; igualdade de gênero; água potável e saneamento; energia limpa e acessível; trabalho decente e crescimento econômico; indústria, inovação e infraestrutura; redução das desigualdades; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança global do clima; vida na água; vida terrestre; paz, justiça, e instituições eficazes; e parcerias e meios de implementação.²

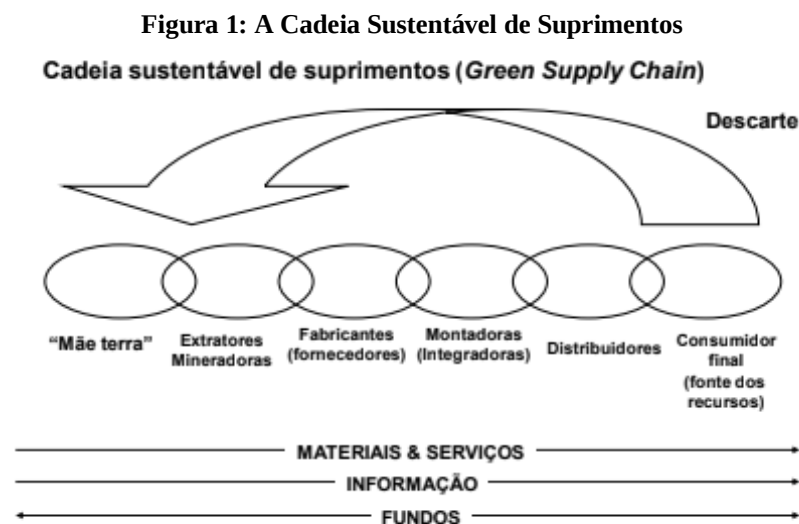
Apesar de ser criada com intuito de ser globalmente aplicável, a nova Agenda 2030 reconhece as diferentes realidades, e níveis de desenvolvimento, respeitando as políticas e prioridades nacionais, valorizando dimensões regionais e integração econômica da região. Desta forma, a Agenda 2030 compreende a adaptabilidade dos ODS para atender as necessidades e particularidades de cada região. No Brasil, o trabalho de adaptação das metas foi feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA e resultou no documento *Agenda 2030 - objetivos de desenvolvimento sustentável - metas brasileiras* (IPEA, 2018).

1.2. Economia circular e produção de ciclo fechado

1.2.1. Gestão da cadeia de suprimentos

² Conferir *website* da Agenda 30 no Brasil, disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

A gestão sustentável da cadeia de suprimentos, também conhecida como *green supply chain management*, é um tópico disciplinar emergente, que busca integrar dois outros campos do conhecimento: a gestão da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) e gestão ambiental (*enviromental management*) (AMATO NETO, 2011). Assim sendo, para realizar a gestão sustentável da cadeia de suprimentos, é necessário integrar a gestão da cadeia de suprimentos e a gestão socioambiental, compreendendo cada uma delas.



Fonte: BURT; DOBLER; STARLING; 2002, p. 9.

- Gestão da cadeia de suprimentos

Um dos grandes desafios atuais da empresa moderna é desenvolver um novo padrão de relacionamento com seus fornecedores e parceiros de negócio. Isso porque a empresa torna-se parte de uma rede que agrega todos os indivíduos, organizações, recursos, atividades e tecnologias envolvidos na criação e venda de um produto, desde a entrega de materiais de origem do fornecedor até o fabricante, incluindo sua entrega ao usuário final - a chamada cadeia de suprimentos (AMATO NETO, 2011). Nela, deve existir constante fluxo de materiais e de informações ao longo da cadeia produtiva e de suprimentos, envolvendo desde os elos iniciais, tais como as atividades de extração e obtenção de matérias primas, passando pelas etapas de transformação ou de manufatura, até os elos finais de distribuição e consumo dos produtos acabados. Em sentido contrário, ocorre o retorno da informação, desde o consumidor final até o primeiro elo da cadeia. Nela, ocorre a troca sistemática de informações

sobre qualidade e desempenho dos produtos e a manutenção de um relacionamento de longo prazo com um grupo fixo de fornecedores.

Nesse novo racional, a grande empresa passa a depender de toda uma cadeia de fornecedores e para isso necessita desenvolver uma nova função gerencial – a gestão da cadeia de fornecedores (*supply chain management*) como fator crítico de sucesso em seus negócios. Essa gestão aproxima a relação da empresa com seus fornecedores, tornando-a mais exclusiva, transparente e complexa (AMATO NETO, 2011).

Como benefícios de uma boa gestão da cadeia de suprimentos, pode-se citar o foco do gerenciamento na qualidade, a redução da variabilidade, a redução de custos, maior volume de negócios, maior possibilidade de estabelecer parcerias com fornecedores (AMATO NETO, 2011).

1.2.2. Gestão Socioambiental e sustentabilidade na cadeia produtiva

Alguns conceitos fundamentais para a gestão sustentável da cadeia de suprimentos são a economia circular, a engenharia sustentável, a gestão ambiental, a relação entre sustentabilidade e economia, a ecoeficiência, produção mais limpa – P+L, a LR.

1.2.2.1. *Economia circular*

O conceito de economia circular surgiu em 1989 em um artigo dos economistas e ambientalistas britânicos David W. Pearce e R. Kerry Turner. A economia circular pode ser definida como “*um sistema regenerativo no qual a entrada de recursos e o desperdício, a emissão e o vazamento de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento do fluxo de material e energia*” (GEISSDOERFER *et al.*, 2017). Segundo os autores, isso pode ser alcançado em uma perspectiva de longa duração (maior durabilidade dos produtos) por meio do projeto, da manutenção, do reparo, da reutilização, da remanufatura, da restauração e da reciclagem.

Dessa perspectiva, a gestão de resíduos desempenha um papel crucial na economia circular, uma vez que implementa a hierarquia dos resíduos determinando uma ordem de

prioridade, desde a prevenção, passando pela preparação para a reutilização, a reciclagem e a recuperação de energia, até o descarte, como é o caso da deposição em aterros sanitários (CE, 2015). O marco regulatório brasileiro em relação à questão dos resíduos foi introduzido através da PNRS, estabelecida pela Lei nº 12.305/2010 (PEREIRA, 2011). Essa lei contempla as principais diretrizes de sustentabilidade e entre seus princípios e instrumentos destacam-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto e pela LR, elos essenciais para viabilizar a reintegração de resíduos em um novo ciclo econômico (BRASIL, 2010b).

1.2.2.2. *Engenharia sustentável*

A Engenharia Sustentável é a aplicação de conhecimentos científicos e técnicos para garantir a satisfação de diversas às necessidades humanas, *sem comprometer a capacidade das futuras gerações de realizá-lo* futuramente (AMATO NETO, 2011).

1.2.2.3. *Gestão ambiental*

A gestão ambiental tem como foco a análise e busca de soluções para os impactos da ação humana no meio ambiente. Dentre os resultados da gestão ambiental, podemos citar a gestão de resíduos sólidos, perigosos, químicos ou tóxicos de modo racional e sustentável, a promoção da agricultura e desenvolvimento rural sustentável; a gestão ecológica da biotecnologia; planejamento de ações para conservação da biodiversidade; a proteção da qualidade dos recursos hídricos.

1.2.2.4. *Sustentabilidade e economia*

Dentre os diversos tipos de abordagem econômica, podemos classificar duas principais de viés econômico-ambiental. São elas a economia ambiental e economia ecológica. A primeira enxerga que os recursos naturais não limitam a expansão do sistema econômico, pois sempre haverá possibilidade de substituição dos recursos - a oferta dos recursos naturais pode ser sempre garantida pelo progresso científico. A economia ecológica, por sua vez, entende que os recursos ecológicos impõem restrições à expansão da economia. Nela, os progressos científico e tecnológico são considerados fundamentais para aumentar a utilização eficiente dos recursos naturais, renováveis e não renováveis. Ao mesmo tempo, a garantia de

sustentabilidade no longo prazo do sistema econômico não é possível sem a estabilização dos níveis de consumo per capita, de acordo com a capacidade de absorção do planeta (MAY, 2010).

1.2.2.5. Ecoeficiência

A ecoeficiência nasce da ideia de suprir as necessidades humanas sem que haja prejuízo para as gerações futuras. É a ideia de concepção e projeção de um produto circular, de maneira a se produzir, utilizar e reutilizar o produto, sempre com o mínimo de perda de material possível. É um esforço que vai da concepção do produto à sua utilização e reinserção na economia após uso. Em síntese, as principais práticas voltadas ao aprimoramento da ecoeficiência são: reduzir a intensidade de uso de materiais; reduzir a intensidade de energia; reduzir a dispersão de substâncias tóxicas; fortalecer a reciclagem; maximizar o uso de materiais renováveis; e estender a vida útil dos produtos (MAY, 2010).

1.2.2.6. Produção mais limpa e logística reversa

A abordagem da P+L é a de mudança radical nos padrões de produção de bens e serviços, principalmente do ponto de vista da produção industrial. Sendo oposta ao modelo atual linear (chamado de produção “fim-de-tubo”), que não considera as limitações e esgotamento de recursos naturais, a P+L pauta-se no pensamento de sustentabilidade de forma mais consequente, desde as fases de concepção, projeto e desenvolvimento do produto, até a fase do seu descarte após sua utilização por parte do consumidor final. Ao invés da tradicional lógica que pensava a trajetória de vida de um produto do “berço ao túmulo” - ou seja, desde a sua criação até o descarte para o lixo - a P+L trabalha com o princípio do “berço ao berço”, isto é, mesmo após seu uso o produto deve ser reciclado ou reutilizado, de tal forma a minimizar a perda de materiais e energia.

É importante ressaltar que a adoção dos princípios da P+L deve envolver todos os integrantes da empresa, estender-se aos consumidores e outros segmentos externos à indústria - ou seja, todos os participantes da cadeia de suprimentos em questão.

A LR caminha junto à ideia de P+L. Ao partir do elo final da cadeia produtiva na sua abordagem tradicional (cliente), a LR inverte o fluxo dos materiais, passando pela seleção dos componentes de um produto acabado após sua utilização por parte do consumidor final e envolve todas as etapas do processo produtivo, desde as suas etapas finais até as iniciais, de uma forma invertida da tradicional (expedição, embalagem, acabamento e fabricação). O objetivo é minimizar todas as perdas, caminhando para um ciclo de vida do produto fechado, por meio da aplicação dos “quatro Rs” (reprocessar, recondicionar, reciclar e revender) (AMATO NETO, 2011).

1.3. Realidade brasileira: sustentabilidade e economia circular

1.3.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos: a logística reversa e a participação dos catadores nela

Em 2010, a Lei nº 12.305/2010 foi sancionada e a PNRS foi instituída, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010. Ela integra a Política Nacional do Meio Ambiente e associa-se com a Política Nacional de Educação Ambiental e com a Política Federal de Saneamento Básico. A PNRS, publicada em agosto de 2012 em sua versão final, ficou composta por 29 diretrizes, 170 estratégias e 28 metas que orientam o Brasil para implantar uma gestão ambientalmente correta aos resíduos sólidos, diminuindo os impactos negativos, aumentando a qualidade de vida e melhorando o cenário até 2031. Para tal, a PNRS exige dos setores públicos e privados transparência no gerenciamento de seus resíduos, que tem início com o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no país, além de posterior caracterização dos sistemas de LR implantados e os seus resultados. Além disso, o plano contém uma análise do cenário atual referente aos resíduos gerados no país e uma projeção de como ficará o cenário nacional, internacional e macroeconômico (LAVNITCKI; BAUM; BECEGATO, 2018).

A Lei nº 12.305/2010 configura um marco regulatório na legislação ambiental brasileira, trazendo mecanismos como a LR, planos de gestão, coleta seletiva, responsabilidade compartilhada, bem como a inclusão social e profissional dos catadores de materiais recicláveis (PEREIRA NETO, 2011) se tornando uma lei bastante inovadora e importante frente a problemática dos resíduos sólidos (PEREIRA, 2011). Dessa forma, pode-se produzir e evoluir de forma ecoeficiente com a cooperação de todos, tendo cada um à

responsabilidade compartilhada resíduos gerados, diminuindo os impactos negativos resultantes dos resíduos e aumentando os impactos positivos relacionados ao seu valor econômico.

As metas de interesse ao trabalho em questão são voltadas aos resíduos urbanos, dentre elas: aumentar a sustentabilidade econômico-financeira do manejo de resíduos pelos municípios. Indicador global; aumentar a capacidade de gestão dos municípios; eliminar práticas de disposição final inadequada e encerrar lixões e aterros controlados; reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada; promover a inclusão social e emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; aumentar a reciclagem dos RSU.

A criação e a plena efetivação da Responsabilidade Compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, de forma individualizada e encadeada, envolvendo fabricantes, importadores, distribuidores, comerciante, Poder Público e consumidores nas várias cadeias de produção e consumo, são um grande desafio para a implementação da PNRS. A Lei Federal 12.305/2010 define que:

Art. 3º. Para os efeitos desta Lei, entende-se por: (...) XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei.

Outro ponto importante da PNRS é a inserção da participação efetiva dos catadores nas ações de responsabilidade compartilhada, conforme um dos objetivos da PNRS descritos no art. 7º, inciso XII da Lei 10.305/2010:

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: (...) XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Os principais mecanismos de operacionalidade da PNRS, tanto da coleta seletiva como da LR, priorizam a participação e a atuação estratégica e incisiva dos catadores de resíduos e suas cooperativas. Como exigência aos catadores, apresenta-se as adequações legais, o licenciamento ambiental, a adoção de boas práticas, a realização de capacitações, bem como a

criação de novos modelos de administração e operacionalização das cooperativas para atendimento da volumosa demanda de resíduos a serem coletados seletivamente para produção em grande escala (PEREIRA, 2011).

Segundo a Lei nº 12.305/2010, a LR deve ser aplicada independentemente do serviço público de limpeza urbana. Então, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a organizar a cadeia produtiva para receberem de volta os resíduos sólidos que forem contemplados na LR. Já são obrigados a implementar o sistema de LR os resíduos sólidos de pilhas e baterias, óleos lubrificantes, pneus, lâmpadas, contendo mercúrio, eletroeletrônicos e agrotóxicos e seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso. A LR é obrigatória para os resíduos citados anteriormente, porém a PNRS sinaliza que os resíduos de plásticos, metal e vidro são, também, passíveis de ter LR, ou seja, não há obrigatoriedade de sua implementação neste momento.

Com rumores iniciados no primeiro semestre de 2021, a indústria brasileira aguarda a publicação de um decreto para regulamentar o processo de LR do vidro, essencial para aumentar as taxas de reciclagem do produto. De acordo com o MMA (MMA, 2021), empresas que usam embalagens de vidro, como na indústria de bebidas, precisam organizar a coleta do material usado e transportá-lo até os locais onde os novos potes e garrafas reciclados serão produzidos, com risco de serem sancionadas caso não o façam. Trata-se de uma proposta de decreto pautada na responsabilidade compartilhada, a partir do momento em que as empresas dependem de todo o setor para realizar a LR de forma efetiva.

Entre 4 de janeiro e 5 de fevereiro de 2021, o MMA manteve aberta uma consulta pública para receber sugestões do setor produtivo para que o decreto seja melhorado antes da publicação. Foram centenas de contribuições e, agora, o MMA analisa o material recebido até hoje (3 de agosto de 2021).

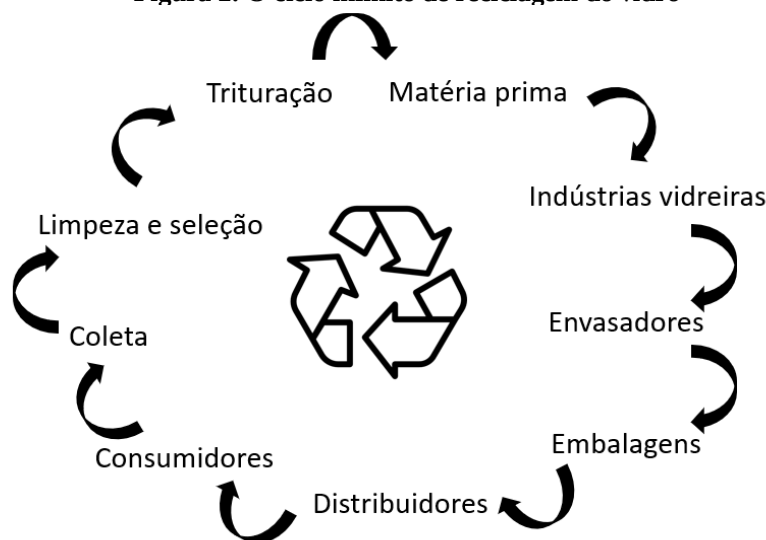
1.3.2. Panorama da cadeia de vidro no Brasil

Em 2020, foram geradas 79,6 milhões de toneladas de RSU no Brasil, sendo 2,7% delas vidro, ou seja, 2,15 milhões de toneladas (ABRELPE, 2020). Apesar da taxa atual de

reciclagem do vidro, de 47% (ABIVIDRO, 2020), muitas dessas toneladas poderiam ser ainda evitadas. Isso porque as embalagens de vidro são 100% recicláveis e podem ser totalmente reaproveitadas na reciclagem do vidro, sem perda de material. A reutilização do vidro na produção de embalagens consome menos energia e emite menos gases de efeito estufa (CO₂), contribuindo para a preservação do meio ambiente. Além disso, com a reciclagem, se diminui significativamente a extração de matéria prima da natureza (TORRES, 2018).

O vidro das embalagens é um material dito totalmente e infinitamente reciclável - ou seja, pode se renovar completamente e ser transformado em um produto novo, sem que haja nenhum tipo de desperdício do material (ABIVIDRO, 2019). Além disso, ao se agregar o caco na etapa de fusão de vidro, diminui-se a energia necessária para a produção do vidro (TESTA *et al.*, 2017).

Figura 2: O ciclo infinito de reciclagem do vidro



Fonte: elaborada pela autora

A cadeia da embalagem de vidro tem como atores internos:

- Fabricantes de vasilhame: Produz e vende o vasilhame para o envase. Em geral, o cliente vem buscar o vasilhame. É também responsável pela reciclagem do caco.
- Fabricante de produto/importador: dono do produto final. Transforma o vasilhame em embalagem, decora, envasa e lacra o produto para distribuição.
- Distribuidor: distribui o produto segundo interesses próprios de mercado e do fabricante do produto. Essa etapa pode ser interna ao fabricante de produto.

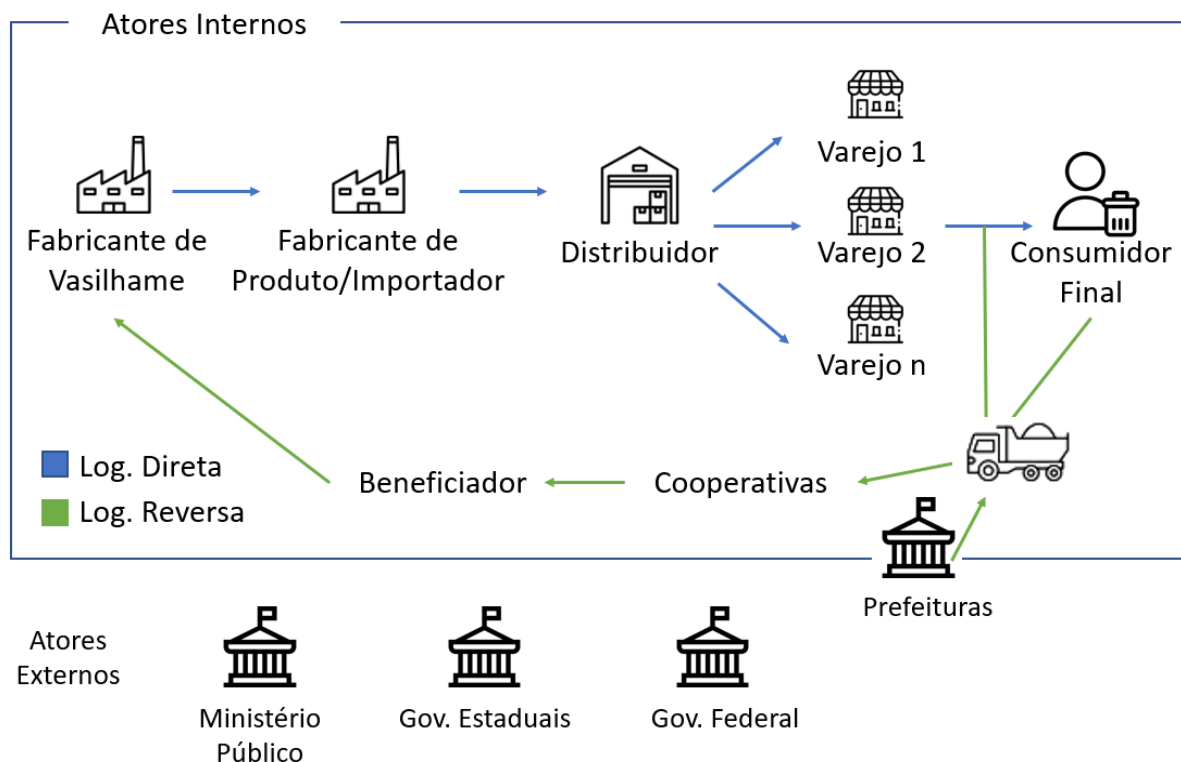
- Varejo: autosserviço (supermercados - consumidor leva o produto para casa) ou canal frio (bares, hotéis, restaurantes etc. - consumo do produto ocorre no local da compra). Em 2019, 60% do vidro gerado estava no canal frio.
- Consumidor final: através do autosserviço, o consumidor gera lixo de forma pulverizada. no canal frio, o lixo gerado é concentrado.
- Prefeituras: têm a responsabilidade da coleta seletiva e regular domiciliar, da fiscalização de grandes geradores e da identificação e cadastramento das cooperativas que atuarão no sistema.
- Cooperativas: fazem a coleta no Canal Frio, recebe resíduos do serviço de coleta seletiva da prefeitura, segrega e pode ou não beneficiar.
- Beneficiadores: responsáveis pela limpeza dos cacos de vidro, transformando-os em matéria prima novamente.

Além dos atores internos, há atores externos a elas, com ação potencializada pela PNRS. São eles:

- Ministério Público: o Ministério Público pode fiscalizar a responsabilidade compartilhada (PNRS).
- Prefeituras: pela Política Nacional do Saneamento Básico, o Município é responsável pela gestão de resíduos sólidos e da organização da coleta seletiva - ou seja, cabe a ele a elaboração de modelo de gerenciamento de resíduos por meio dos planos municipais.
- Governos Estaduais: são responsáveis pela realização dos planos de gerenciamento de resíduos estaduais e pelo apoio à criação de consórcios municipais
- Governo Federal: é responsável por acompanhar, estimular, legislar e regular os temas relativos à PNRS.

Os atores se articulam segundo a lógica abaixo:

Figura 3: Esquema simplificado da cadeia do vidro no Brasil, alinhado à PNRS

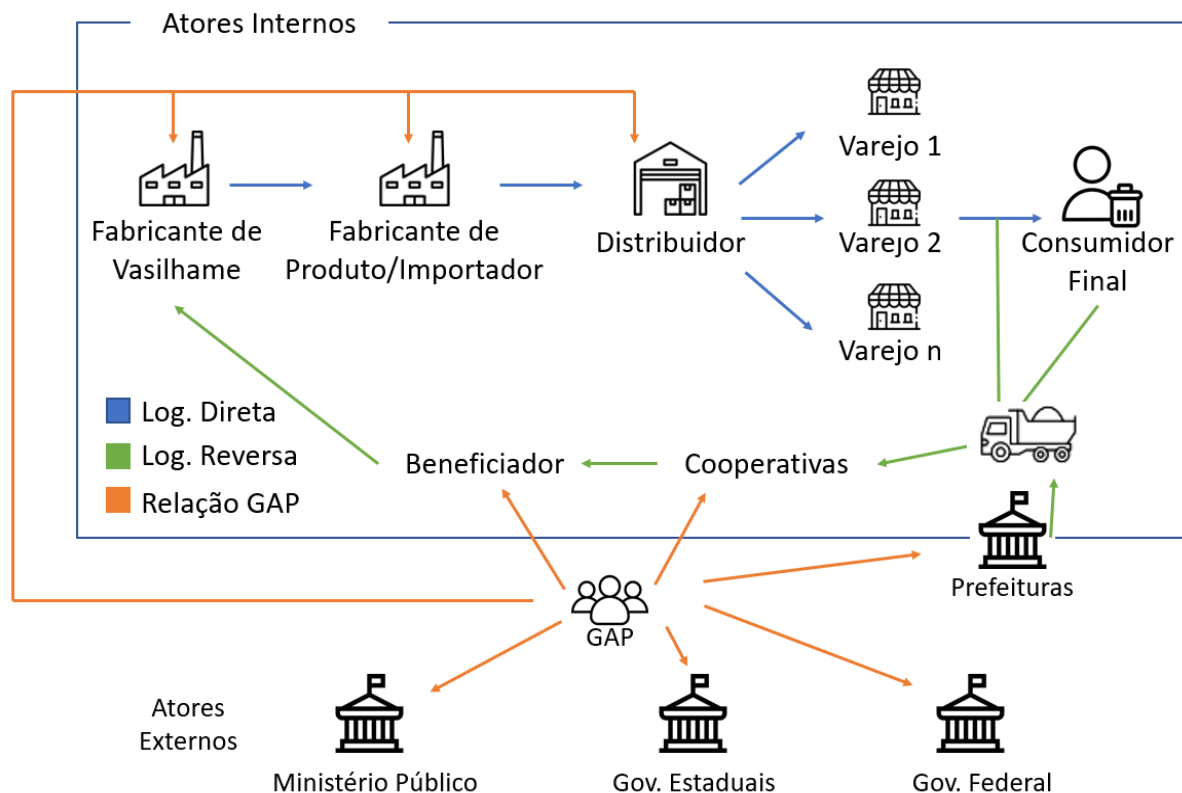


Fonte: elaborada pela autora.

A Abividro reúne as indústrias de vidro do país para fornecimento aos mercados da construção civil, de alimento e bebidas, automobilístico, decoração, moveleira, perfumaria, cosmético, farmacêutico, higiene, linha doméstica, vidros técnicos e especiais, entre outros. Ela tem três principais objetivos: debater assuntos de interesse do setor e apresentar propostas estruturantes ao poder público e à sociedade de um modo geral; representar o setor perante os grandes temas de meio ambiente, energéticos, comércio exterior e outros em discussão no país e no mundo; e promover a difusão de informação no interesse comum da indústria de vidro no país e dos consumidores de seus produtos.

Tal associação propõe a cadeia ideal de embalagem de vidro, resultante da análise de 12 modelos bem-sucedidos de LR. A associação propõe a criação um Grupo de Acompanhamento e Performance para realização da coordenação da cadeia de forma centralizada, articulando as ações dos atores externos (Poder Público) aos atores internos da cadeia. É interessante pontuar que, nesse sistema, o vidro gerado pelas cooperativas seria vendido para o grupo de acompanhamento, que seria o responsável por negociar com a indústria vidreira.

Figura 4: Proposta da ABIVidro de cadeia do vidro no Brasil



Fonte: elaborada pela autora.

Existem três maneiras para captação de embalagens pós consumo de vidro no Brasil (ABIVIDRO, 2020): ecopontos (loais estruturados pela prefeitura, onde a população pode descartar resíduos recicláveis); ferros-velhos e cooperativas (onde são deixados tambores para a coleta do vidro); e grandes geradores e condomínios residenciais (tambores para coleta regular e contínua).

Ademais, a viabilidade econômica da LR do vidro no Brasil é ditada por três fatores: o volume; a distância dos pontos de captação até as usinas; e custos operacionais (custos de captação, beneficiamento e transporte de caco, e, eventualmente, o custo de compra do material) (ABIVIDRO, 2020).

Como benefícios da reciclagem do vidro, podemos citar: a lucratividade (se bem administrada), a geração de empregos (instalação de usina de reciclagem gera empregos); e a preservação do meio ambiente (possibilidade de zero perda de material).³

1.3.3. Panorama da sustentabilidade, *Environmental, Social and Governance* e cadeia de vidro na Ambev

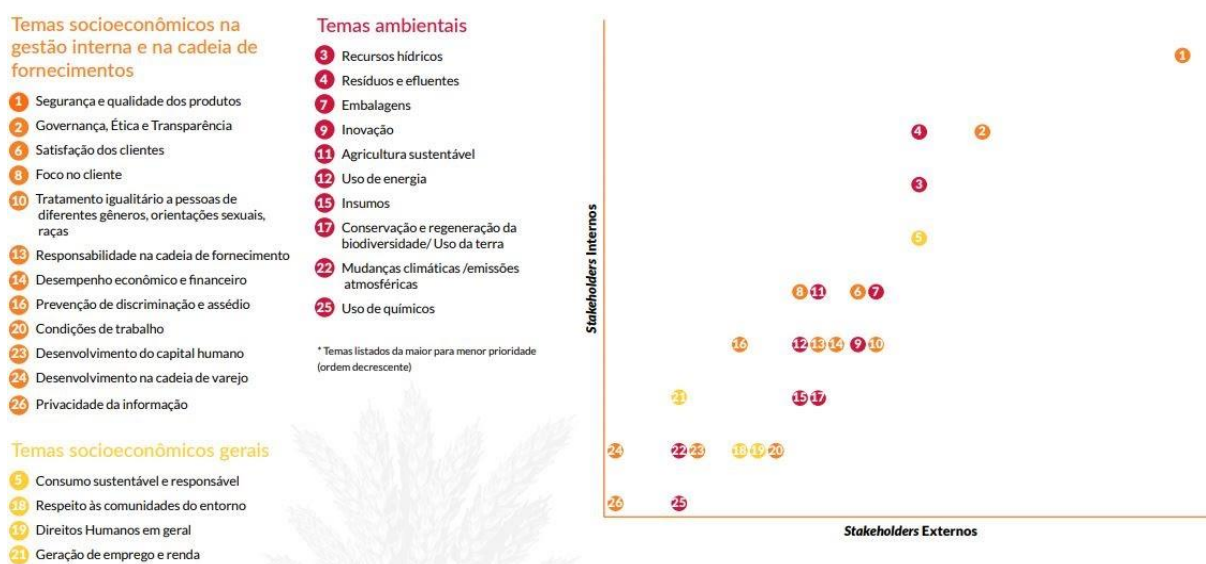
A indústria de alimentos e bebidas apresenta um conjunto específico de questões relativas à sustentabilidade, que vão desde a minimização de resíduos, reciclagem, regulamentação ambiental, até a logística de distribuição de alimentos e abastecimento local, práticas de comércio justo, perecibilidade dos produtos, produção orgânica, rastreabilidade e segurança alimentar.

É nesse cenário desafiador que se encontra a Ambev, líder de mercado no setor de bebidas no Brasil. A empresa busca, a cada ano, conectar-se mais com a sustentabilidade. Para melhor compreensão do tema, buscou-se o último relatório de sustentabilidade por eles divulgado, o *Relato Anual e de ESG Ambev | 2020*.

Com o intuito gerir e relatar seu desempenho ESG, a Ambev se orienta por uma matriz de materialidade própria, apresentando os temas mais relevantes para o negócio e sua cadeia de valor: clientes, fornecedores, colaboradores, consumidores, investidores, comunidades e pessoas, governo, associações etc. Esses temas são organizados segundo as métricas do ESG: ambiental, social e governança.

Figura 5: Matriz de materialidade da Ambev

³ Conferir informações disponíveis no *website* do Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja – SINDCERV: <<https://www.sindicerv.com.br/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.



Fonte: AMBEV. 2020.

Através da Figura 5, a empresa considera que as embalagens - tema ambiental - dependem 50% dos stakeholders internos da empresa e 50% dos externos - enfatizando aqui a importância da cadeia de suprimentos e boa relação fornecedor-empresa.

Além da matriz de materialidade com enfoque no ESG, a Ambev tem metas claras de sustentabilidade diretamente ligadas à Agenda 2030 e os 17 ODS, buscando atuar nas frentes nas quais tem mais capacidade de reduzir impactos negativos e amplificar os positivos. Atuando em treze dos 17 ODS estão incorporados, direta ou indiretamente, os temas prioritários definidos em 2019 pela empresa são: água; embalagem circular; agricultura sustentável; mudança climática; empreendedorismo; e consumo responsável. As metas definidas para 2025 são, em detalhes:

- Ações climáticas: 100% da eletricidade comprada pela Ambev deve ser advinda de fontes renováveis. Além disso, a cervejaria vai reduzir em 25% as emissões de carbono ao longo da nossa cadeia de valor.
- Gestão de água: Melhorar de forma mensurável a disponibilidade e a qualidade da água para 100% das comunidades em áreas de alto estresse hídrico com as quais a cervejaria se relaciona.

- Agricultura inteligente: 100% dos agricultores parceiros da cervejaria devem estar treinados, conectados e com estrutura financeira para desenvolver um plantio cada vez mais sustentável.
- Embalagem circular: 100% dos produtos da Cervejaria Ambev devem estar em embalagens retornáveis ou que sejam majoritariamente feitas de conteúdo reciclado.
- Ecossistema de empreendedores: 100% dos nossos empreendedores devem ter acesso às ferramentas que eles precisam para seu desenvolvimento.

Os impactos das metas na cadeia de vidro são, principalmente, uma média de 47,7% de material reciclado (cacos de vidro provenientes da LR) presente nas garrafas comercializadas no Brasil. Essa alta porcentagem garante o caminhar para a meta de embalagem circular e auxilia na redução da emissão de gás carbônico (a emissão de kgCO_2/kg de vidro virgem é de 0,84 kgCO_2/kg , já a de reciclado é de 0,53 kgCO_2/kg , segundo dados internos da empresa Ambev).

Parte desse êxito é resultado da fábrica verticalizada que a empresa possui no Rio de Janeiro (fábrica de vidro – AVR). Ela é uma das maiores recicladoras de cacos de vidro na América Latina, sendo cerca de 50% da matéria prima utilizada na unidade cacos de vidro, oriundos de parcerias com empresas de LR e cooperativas. A fábrica também conta com um equipamento capaz de purificar o gás gerado no forno, o que remove até 99,95% de poluentes. Com a reciclagem do vidro, e consequente otimização da fusão do vidro - os cacos necessitam menos energia que a bauxita e sílica virgens - a empresa afirma gerar uma economia de 35% de energia em 2020.

Analisando em detalhes o relatório, percebe-se uma queda no conteúdo reciclado presente nas garrafas (em 2018, 51,4%, em 2019, 44,7% e em 2020, 47,7%), enquanto a do PET, o outro material mais visado para aumento do conteúdo reciclado, aumentou de 33% em 2018 para 45% em 2020. Essa queda coloca em risco o alcance das metas e afeta diretamente o Brasil, dado o tamanho da operação da Ambev. O objetivo desse trabalho é de entender a queda, e tentar, de alguma maneira, auxiliar no aumento do reciclado (AMBEV, 2020).

1.4. Métodos de apoio multicritério à decisão

Um dos maiores desafios dos executivos de empresas atuais é a tomada de decisão, devido à multitude de fatores a serem levados em consideração e à difícil quantificação destes (COSTA, 2016). Segundo Shimizu, o processo de definição de alternativas para problemas não rotineiros (os quais já são conhecidos e com estrutura definida) é geralmente complexo e conturbado (SHIMIZU, 2006). Isso se dá pela falta de visão clara e completa dos objetivos e critérios que definem o problema objeto de decisão. Em decisões complexas, fatores não quantificáveis devem ser considerados, o que traz duas possibilidades: a decisão por intuição ou a decisão por análise (SAATY, 1991). Enquanto a decisão por intuição dá muito mais abertura ao viés dos gestores e executivos, a decisão analítica, se criada e utilizada de maneira coletiva, tende a ser menos enviesada.

O apoio multicritério à decisão – AMD tem o objetivo de auxiliar o processo de decisão de forma racional, buscando a modelagem e solução de problemas com inúmeras opções (COSTA, 2006). Conforme Gomes, Araya e Carignano:

[u]ma área dinâmica do conhecimento e da pesquisa, orientada para apoiar os decisores e os negociadores, auxiliando na estruturação dos problemas, permitindo expandir a argumentação e ampliando a capacidade de aprendizagem e compreensão. (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2009).

1.4.1. *Analytic Hierarchy Process*

A metodologia AHP é amplamente aplicada para a solução de problemas em situações de múltiplos critérios ou objetivos, caracterizados pela subjetividade e complexidade (SHIMIZU, 2006; IÑEZ *et al.*, 2006). É um dos métodos AMD mais presente na literatura (SHIN *et al.*, 2013). Dentre suas vantagens, podemos citar a modelagem de um problema com dados quantitativos e qualitativos, envolvendo também graus de certeza e incerteza (SAATY, 1990).

Segundo Ribeiro *et al.*:

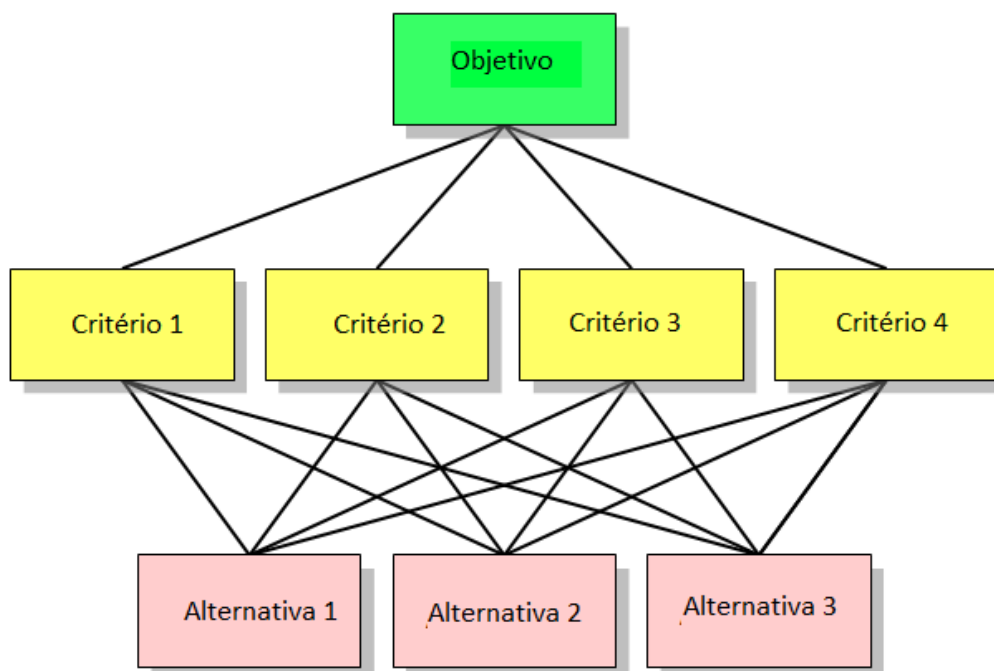
[c] Criado por Thomas L. Saaty na década de 1970, esse método consiste na elaboração de um modelo que reflita o caráter humano na avaliação das alternativas diante de um problema de decisão complexo. Além disso, o método permite lidar com problemas que envolvem tanto os valores tangíveis como os intangíveis, graças a sua capacidade de criar medidas para as variáveis qualitativas com base em julgamentos subjetivos emitidos pelos decisores (Saaty, 1991). (RIBEIRO *et al.*, 2006).

Em estudo realizado por Ho em 2008, observou-se que tal metodologia era aplicada em catorze campos diferentes. Além disso, seu trabalho concluiu que as áreas mais populares para aplicação do AHP são as áreas de manufatura e logística, representando, na época, cerca de 59% das publicações.

A metodologia AHP tem diversas fases, sendo elas: a estruturação do problema em hierarquias; definição de prioridades e coleta de julgamentos; cálculo de prioridades; verificação da consistência do julgamento; e, por último, o cálculo das prioridades globais das alternativas.

Durante a estruturação, define-se um objetivo principal, que é subdividido em critérios que possibilitarão seu alcance. Cada critério pode, ainda, ter subcritérios, para facilitar a compreensão do problema.

Figura 6: Estrutura simplificada do AHP



Fonte: traduzido de RIBEIRO, 2016.

A hierarquização ou priorização entre critérios é feita através de comparação par a par, determinando a importância relativa entre eles e capturando o domínio de uma sobre a outra (SAATY, 1991). Nesta etapa, é importante que sejam consultados um ou mais especialistas - Bandeira *et al.* propõem a realização de reuniões com equipe multidisciplinar para a obtenção de consenso de forma interativa (BANDEIRA *et al.*, 2010).

As relações recíprocas geradas pela comparação par a par resultam no vetor de julgamento, representado na Tabela 1. Dentre a literatura vista, a que melhor explica a matemática da tabela é o artigo de Riberio *et al.* (2016). Segundo eles:

Para cada julgamento registrado na posição de linha i e coluna j , representado por x_{ij} , há um valor igual a $1/x_{ij}$ na posição recíproca, isto é, na posição de linha j e coluna i . Considerando as posições de elementos de linha i e j , respectivamente, variando de 1 a n , os elementos x_{ij} obedecem às seguintes regras: Regra1: Se $x_{ij} = \alpha$, então $x_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$, onde α é o valor numérico do julgamento baseado na escala de Saaty (1991). Logo, temos $x_{ji} = 1/x_{ij}$.; Regra2: Se a_i é julgado de igual importância relativa a a_j , então $x_{ij} = 1$ e $x_{ji} = 1$; e, em particular, $x_{ij} = 1, \forall i=j$. (RIBEIRO, *et al.*, 2016)

Tabela 1: Matriz de Julgamento

C1	a1	a2	...	na
a1	1	x_{12}	...	x_{1n}
a2	$1/x_{12}$	1	...	x_{2n}
...	...	...	...	...

an	$1/xn1$	$1/xn2$	1
-----------	---------	---------	---

Fonte: elaborada a partir de Saaty (1991).

Para definição dos pesos, Saaty (1990) criou uma escala de julgamentos quantitativa, de forma a facilitar a tradução da percepção qualitativa do(s) avaliador(es).

Tabela 2: Escala de julgamento de Saaty

Escala Numérica	Escala Conceitual	Descrição
1	Igual	Os dois elementos comparados contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada Forte	O elemento comparado é ligeiramente importante ao outro.
5	Forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente o elemento em relação ao outro
7	Muito Forte	O elemento comparado é muito mais forte em relação ao outro, e tal importância pode ser observada na prática
9	Absoluta	O elemento comparado apresenta o mais alto nível de evidência possível a seu favor
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos, utilizados quando o decisor sentir dificuldade ao escolher dois graus de importância adjacentes	

Fonte: RIBEIRO *et al.*, 2016

Posteriormente, é feito o cálculo das prioridades locais e globais de cada um dos critérios e subcritérios. Calcula-se a contribuição relativa de cada elemento em relação ao objetivo imediato e em relação ao objetivo principal, através do cálculo das prioridades de cada elemento em relação ao elemento superior, encontrando-se a prioridade média local do nó (RIBEIRO *et al.*, 2016). A prioridade global é calculada pela multiplicação da prioridade média local pelas prioridades médias locais dos nós superiores hierarquicamente. Após todas as comparações feitas, o autovetor da matriz é normalizado.

Finalmente, é realizada a etapa do cálculo de inconsistência. A inconsistência é parte do ser humano e, dessa forma, mesmo que os julgadores sejam experientes e especialistas, é importante que se crie uma tolerância máxima para inconsistência nos pesos atribuídos (SAATY, 1991).

Primeiro, calcula-se o maior autovalor da matriz de julgamento (λ_{Max}). Considerando a matriz de julgamento, o vetor de prioridades (prioridades calculadas dos elementos) e a ordem (n) da matriz da matriz, o cálculo do autovalor é representado pela seguinte fórmula (Ribeiro *et al.*, 2016):

$$\lambda_{\text{Max}} = \sum_{j=1}^n T_j \times P_j$$

Sendo T_j o somatório da coluna j e P_j a prioridade calculada para o critério da linha j . Depois, é necessário calcular o índice de consistência (Consistency Index, CI).

$$CI = \frac{\lambda_{\text{Max}} - n}{n - 1}$$

Com o índice de consistência calculado, calcula-se a razão de consistência (Consistency Ratio – CR):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

O índice randômico (*random index* – RI) é o índice de consistência de uma matriz gerada de forma aleatória pelo laboratório Oak Ridge (SAATY, 1991). Esta pode ser conferida na Tabela 3, com o RI para matrizes recíprocas quadradas de ordem n . Uma matriz é considerada consistente se seu CR for superior ou igual a 0,10. Caso contrário, o julgamento deve ser refeito, pois há inconsistência considerável.

Tabela 3: Tabela de índices de consistência aleatória

	1	2	3	4	5
I	0	0	0,58	0,9	1,12

Fonte: elaborada a partir de Saaty (1991).

Após verificar a consistência dos julgamentos, realiza-se o cálculo do desempenho global das alternativas.

2. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL: A CADEIA DE VIDRO NA AMBEV

2.1. Estrutura e atores

A Ambev é uma empresa de grande porte, com grande parte da logística internalizada nas suas operações. Isso reflete na sua cadeia de vidro, que conta com diversos participantes tanto internos quanto externos à empresa. São eles: fábricas de garrafa terceiras; cervejarias próprias da empresa; centros de distribuição – CDD da empresa; fornecedores de cacos de vidro terceiros; cooperativas de catadores de cacos de vidro; e fábrica de garrafa de vidro própria.

2.1.1. Fábricas de garrafa

Responsáveis pela produção de garrafas em volumes e cores específicas a partir de cacos e matéria prima (sílica, barrilha, calcário etc.). Uma fábrica pode ou não ser responsável pelo beneficiamento (processo de limpeza de impurezas) dos cacos. Atualmente, a Ambev negocia com nove fábricas de garrafas, sendo três no Nordeste, uma no Sul e cinco no Sudeste.

2.1.2. Fornecedores de cacos de vidro

Responsáveis pela compra de cacos de vidro de cooperativas e pelo beneficiamento destes.

Atualmente, a Ambev negocia com 15 fornecedores de *cullet*, sendo três em Minas Gerais, cinco no Rio de Janeiro, dois em São Paulo, dois no Paraná, um no Rio Grande do Sul, um em Santa Catarina e um em Sergipe.

2.1.3. Cooperativas

As cooperativas são atores que participam em várias etapas da LR como são a coleta, a triagem e o pré-processamento, colocando o vidro e outros materiais no caminho da reciclagem. É importante enfatizar que, quando a única receita recebida pela coleta, triagem e pré-processamento do vidro é o preço de venda por tonelada, a reciclagem do vidro não tem

sido uma opção técnica nem economicamente muito atrativa para as cooperativas de catadores.

As cooperativas mapeadas são as que participam da plataforma Reciclar Pelo Brasil, organizado pela Associação Nacional de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis – ANCAT. Através da colaboração de empresas e associações, incluindo a Ambev, a plataforma Reciclar pelo Brasil atua na regularização, melhoria e profissionalização do trabalho de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis. Através da base do RPB, foram mapeadas 163 cooperativas que separam vidro, sendo 44 localizadas no Sudeste, 19 no Nordeste, 26 no Sul, três no Norte, uma no Distrito Federal e três no Centro Oeste.

2.1.4. Cervejarias

As cervejarias são responsáveis pela recepção de garrafas vazias, transformando o vasilhame em embalagem, decorando, envasando e lacrando o produto para distribuição. No processo, garrafas podem quebrar, gerando cacos que são retornados à AVR para tratamento.

Atualmente, a Ambev conta com 29 Cervejarias que utilizam garrafas de vidro, sendo uma no Norte, seis no Nordeste, duas no Centro-Oeste, cinco no Sul e 11 no Sudeste.

2.1.5. Centros de distribuição

Os CDD recebem o insumo das cervejarias, os armazenam e organizam sua distribuição para o varejo. Podem ocorrer quebras no processo, gerando cacos, que são retornados à AVR para tratamento (passando ou não pelas cervejarias).

Atualmente, a Ambev conta com 102 CDD, sendo 45 na região sudeste, 26 no Nordeste, 20 no Sul, oito no Centro-Oeste e três no Norte.

2.1.6. Fábrica de garrafa própria

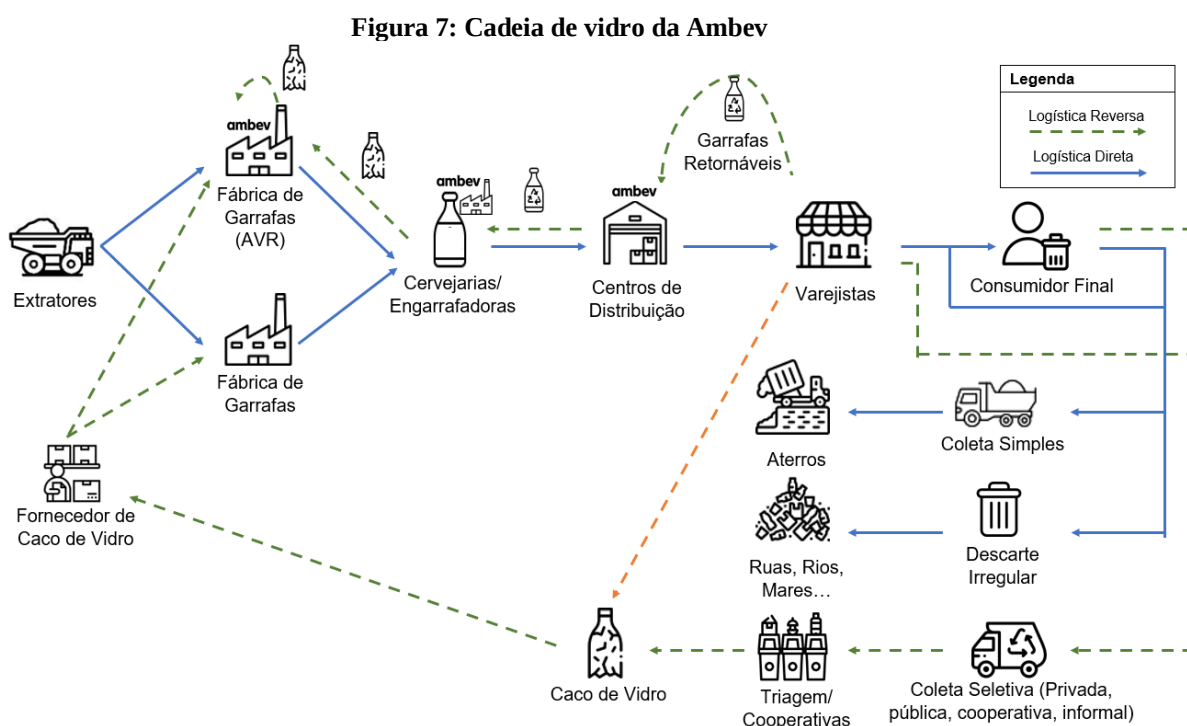
No Rio de Janeiro, a Ambev conta uma fábrica que produz garrafas de vidro, sendo que boa parte é proveniente da reciclagem de cacos. Ela é uma das maiores recicladoras de cacos de vidro na América Latina e conta com unidade interna para o beneficiamento dos

cacos que recebe. Mais de 50% da matéria prima utilizada na unidade são cacos de vidro, oriundos de parcerias com empresas de LR e cooperativas. A fábrica também conta com um equipamento capaz de purificar o gás gerado no forno, o que remove até 99,95% de poluentes. Com a reciclagem do vidro geramos uma economia de 35% de energia e a preservação de cerca de 90 mil toneladas de material virgem, que deixam de ser consumidas anualmente.

2.2. Logística do vidro atual: direta e reversa

As garrafas de vidro utilizadas para engarrafamento das cervejas da empresa são obtidas através de quatro principais fontes: compra de fábricas de garrafa brasileiras, garrafas retornadas, produção interna (AVR), importação de garrafas de fábricas de outros países. Vale ressaltar que a importação é a última opção desejada pelas indústrias, já que os valores podem chegar a ser mais de 40% superiores ao de uma garrafa comprada em território nacional.

Na bibliografia, definiu-se a LR como processo que parte do elo final da cadeia produtiva, invertendo o fluxo dos materiais e envolvendo todas as etapas do processo produtivo, desde as suas etapas finais até as iniciais. Na empresa estudada, existem dois “objetos finais”: a garrafa de vidro inteira e os cacos de garrafa. Ilustrando a cadeia atual:



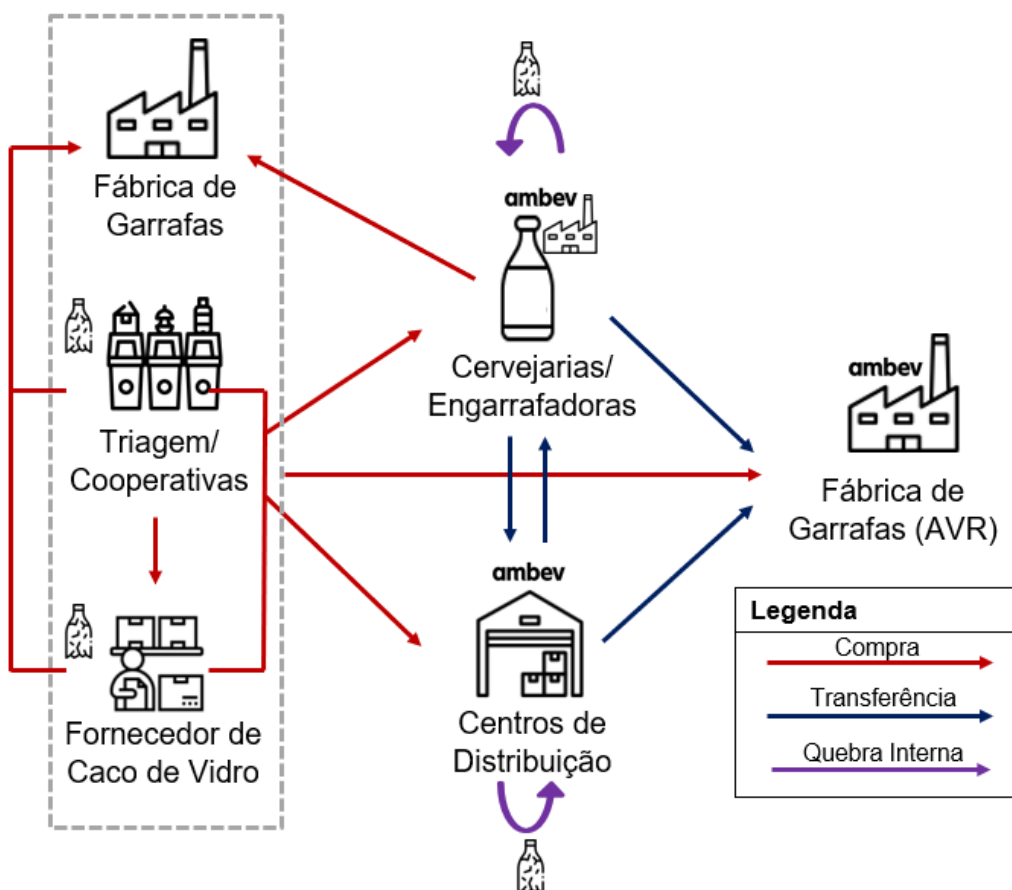
Fonte: elaborada pela autora.

Atualmente na Ambev, os cacos de vidro são frutos ou da compra ou da geração interna (resultado de quebras intencionais ou não nas cervejarias). Quando comprados, são provenientes de cooperativas (origem inicial do caco) ou de fornecedores de cacos.

Os cacos podem ser encaminhados para três destinos, a depender da localização da fonte. Os destinos são: cervejarias, CDD ou diretamente para a AVR. Nas cervejarias e CDD, os cacos são acumulados até ter uma quantidade significativa que viabilize o transporte até a AVR. Ocorre ainda um transporte entre Cervejarias e CDD, também pela questão de volumes.

Por conta da distância de cervejarias para a AVR, a Ambev vende cacos de quebra interna para fábricas de garrafas. Entretanto, não compra cacos delas.

Figura 8: Fluxo dos cacos de vidro atual



Fonte: elaborada pela autora.

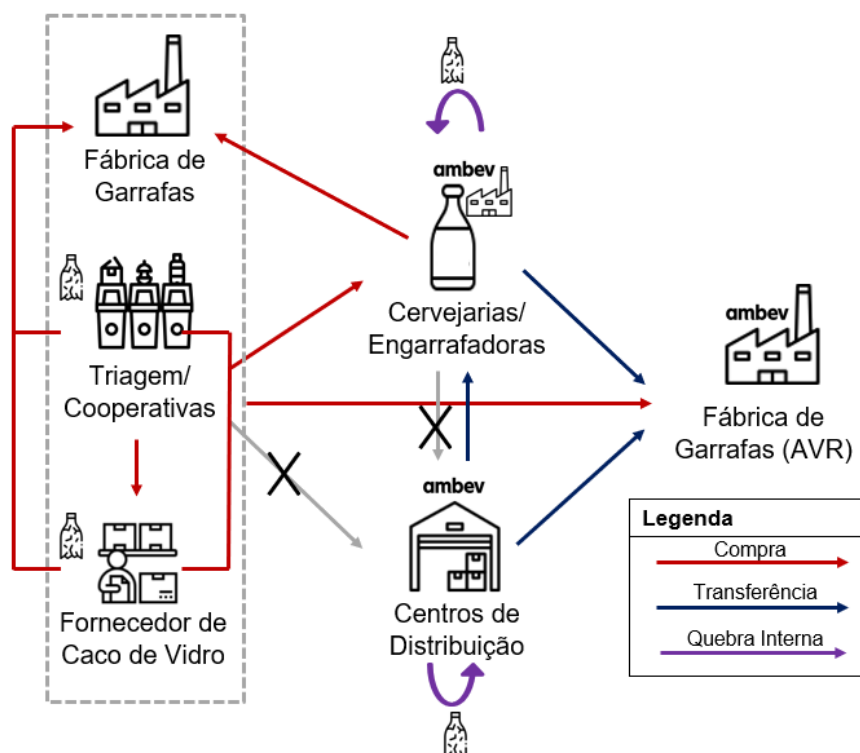
Para a transferência dentro da cadeia da Ambev, o custo é apenas de frete. Já para a compra, o custo considera o valor do caco mais o do frete.

Algumas limitações na cadeia atual são:

- as metas de compra de vidro têm limitação do custo por tonelada de caco, levando em conta o valor do caco em si mais o valor do frete (também medido por tonelada). Por conta disso, atualmente a empresa compra cacos apenas do Sul e do Sudeste.
- Capacidade de estocagem da AVR
- Capacidade de beneficiamento da AVR
- Oferta de caco no mercado

Atualmente, um novo cenário de suprimento de cacos está sendo estudado. Nele, os CDD deixariam de receber cacos, tanto das cooperativas, quanto dos fornecedores de caco, como das cervejarias, conforme ilustrado abaixo:

Figura 9: Novo fluxo de cacos sendo implementado na Ambev



Fonte: elaborada pela autora.

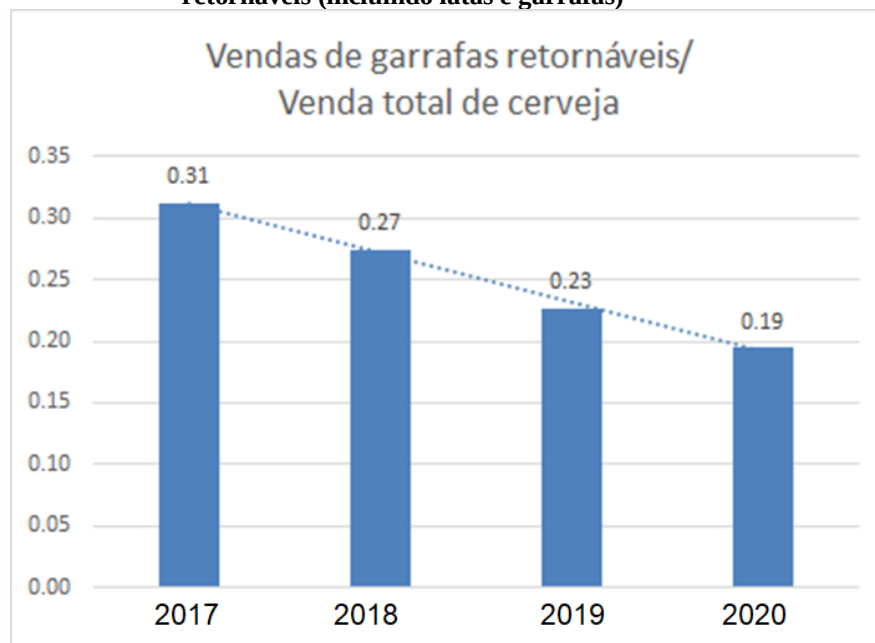
2.3. Demanda de garrafas e cacos de vidro

A crise do COVID-19 impactou fortemente a cadeia de insumos e produção de embalagens. Segundo a Neogrid, empresa especialista em soluções para a gestão automática da cadeia de suprimentos, a falta de insumos para a indústria chegou a 12,49% em janeiro, apenas 0,08 ponto porcentual abaixo do pico da pandemia, quando chegou a 12,57 em maio de 2020 (NEOGRID, 2021).

Como reflexo disto, o mercado vem enfrentando um cenário de falta de garrafas de vidro. Com as dificuldades impostas pela crise, as fabricantes de bebida estão com problemas para conseguir comprar garrafas desde o final de 2019. As restrições de embalagens de garrafas de vidro devem persistir até 2023.⁴

Além da falta de garrafas, outra tendência percebida por meio de análises é a constante queda relativa no consumo de garrafas retornáveis frente às chamadas *One Way*, de uso único. A partir da análise das vendas dos anos de 2017 a 2020, construiu-se o gráfico relativo à demanda desse tipo de embalagem nas vendas da empresa

Figura 10: Relação entre unidades vendidas de cerveja retornável e unidades de cerveja não retornáveis (incluindo latas e garrafas)



Fonte: elaborada pela autora.

⁴ Conferir informações disponíveis no website do SINDCERV: <<https://www.sindicerv.com.br/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

Esta tendência, somada ao aumento no volume de vendas de bebidas e à crise de disponibilidade de garrafas, aumenta ainda mais a importância da capacidade de abastecimento interno de garrafas (por meio da fábrica própria de vidro da empresa, já responsável por quase 50% dele). Como mencionado anteriormente, a eficiência dos fornos da AVR está diretamente ligada à quantidade e qualidade de cacos de vidro utilizada nos fornos e, por isso, uma LR robusta é essencial para a empresa estudada.

Estes fatores são responsáveis pela baixa na quantidade de conteúdo reciclado vista no relatório de ESG da Ambev de 2020. Para além disso, também foi apontado por especialistas da área a mudança no mix de fornecedores (alguns contam com menor quantidade de reciclado) e uma falta de manutenção nas máquinas de beneficiamento da AVR, diminuindo sua capacidade e boa operação.

2.4. Área de logística reversa e projetos atuais

2.4.1. Sobre a área de logística reversa

A área de LR fica atualmente localizada no escritório de Serviços Compartilhados da Ambev. Seus funcionários possuem metas ligadas diretamente às metas de sustentabilidade da Ambev, principalmente à de redução em 25% de emissões de gases de efeito estufa até 2025 e à de embalagens majoritariamente retornáveis ou em embalagens com maior parte de conteúdo reciclado até 2025.

A área atua com dois tipos principais de projetos: de LR direta (a própria empresa realiza o projeto, com recursos próprios); e de LR indireta (a empresa fomenta iniciativas de LR, o que traz material e, como consequência, o crédito). Para além desses dois, existe a modalidade de LR através do fomento à atuação de cooperativas.

2.4.2. O porquê de uma área de logística reversa

O interesse da Ambev na LR do vidro é sustentado por inúmeros fatores: a sustentabilidade por si só, em busca de uma diminuição dos impactos do homem no planeta; o crescimento da demanda e cobrança por empresas responsáveis ambiental e socialmente; a

estratégica de ressuprimento cadeia interna da empresa, que conta com fábricas verticalizadas (dentre elas a Ambev Vidros); as inúmeras possibilidades que a logística própria da Ambev tem, com imensa capilaridade; e por fim, mas não menos importante, fatores do mercado, como a atual falta de garrafas e cacos de vidro disponíveis no mercado brasileiro.

Exemplo da necessidade de estratégia de ressuprimento interno é, por exemplo, a relação diretamente proporcional do forno de vidro com a quantidade de material reciclado. Quanto mais material reciclado, menor a energia necessária para fundir o vidro (é muito maior se partir diretamente da sílica virgem), aumentando, dentre outros malefícios, as emissões de gás carbônico. Se houvesse uma logística robusta, a Ambev não seria afetada pela falta de caco no mercado, por exemplo.

Para além, há fatores legislativos que tornam a LR atrativa. Há, por exemplo, uma ameaça da extensão da política de custeio de LR ao setor de alimentos e bebidas, atualmente não afetado por essa legislação (é o caso para empresas do setor petrolífero, por exemplo). A ideia dos projetos é, além de ética, estratégica: a empresa entende que se encontra em momento importante de revisão da gestão de sua logística, antes que a LR vire obrigação legal e fiscal. Há também, por influência da “Lei do grande gerador” (Lei nº 5.610/2016), que impõe em certas regiões uma tarifa pela limpeza pública proporcional ao lixo gerado, uma atração dos bares e restaurantes pelo auxílio com a gestão dos resíduos por eles gerados. Por fim, apesar de não existir uma legislação específica para o setor, a Ambev tem acordos setoriais que visam o fomento da PNRS. No caso das embalagens, por exemplo, há acordo setorial entre empresas do ramo, no qual a Ambev participa do termo de compromisso.

2.4.3. Projetos da Ambev que atuam na logística reversa do vidro

Os projetos atuais da Ambev, chamados de plataformas, atuam em 3 frentes: Clientes, Consumidores e Ecossistemas. A frente dos clientes é voltada para o cliente direto da Ambev - bares, restaurantes, mercados - trabalhando diretamente na coleta pós consumo, otimizando a operação nos próprios CDD. Já a frente dos consumidores é voltada para o consumidor final - pessoa física - de forma a engajá-los e facilitar o retorno das embalagens. Finalmente, a frente dos ecossistemas é uma forma de fomento da Ambev a cooperativas e catadores. Os principais projetos atuais são mostrados abaixo:

Tabela 4: Principais Plataformas de Incentivo à LR da Ambev

Projeto	Tipo de Plataforma	Descrição	Alcance
Ambev Recicla	Clientes	Coleta com logística interna no momento da entrega do produto: bar pode dar PET, alumínio e/ou vidro.	Presente em 10 centros de distribuição e auxiliando mais de 200 clientes
Green Mining	Consumidores	Startup acelerada pela Ambev, coleta resíduos recicláveis com veículos não motorizados através da criação de centros de coleta calculados por um algoritmo que mapeia pontos de geração de resíduos pós-consumo.	Até 29/06/21: 1820357kg coletados, evitando a emissão de 303393 kg de CO ₂ ; 30 coletores são parte do time.
Molecoola	Consumidores	Pontos de coleta no qual o consumidor pode se cadastrar via app. Ao retornar uma embalagem, o consumidor ganha pontos, que podem ser revertidos em produtos, serviços e descontos.	23 pontos de coleta espalhados por São Paulo, Distrito Federal e Espírito Santo
Reciclar pelo Brasil	Ecossistema	Visa capacitação e profissionalização de cooperativas de catadores. Idealizado em conjunto com a Coca-cola e realizado junto à inúmeras empresas.	230 cooperativas em 1100 municípios, apoiando mais de 11000 catadores
Carnaval 2020	Ecossistema	Em parceria com Associação de Catadores ANCAT, mobilizou a coleta de resíduos por catadores da associação nos blocos do carnaval	327 toneladas de lixo recolhidas, sendo 127 toneladas de plástico (usadas para produzir 2mil lixeiras). Coletadas durante o carnaval em 5 cidades: Belo Horizonte, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo

Fonte: elaborada pela autora.

2.5. Levantamento de possibilidades e desafios

2.5.1. Obstáculos à logística reversa no cenário atual

Apesar de todas as motivações acima, o cenário da LR do vidro é o de baixo retorno em relação ao investimento necessário. São projetos, em geral, de pequena escala e de baixo impacto frente ao grande volume da companhia.

Conversando com especialistas da área de LR da empresa, entendeu-se que o Brasil tem um grande desafio de infraestrutura logística - que conta com um transporte majoritariamente rodoviário para dimensões continentais - o que afeta diretamente a viabilidade da LR, principalmente pelo alto custo de transporte.

Para além da dificuldade de transporte, outros obstáculos foram citados, como a falta de políticas claras para a gestão dos resíduos sólidos (não é clara a legalidade do processo de recolha de vidro, não há lei específica sobre). Outro obstáculo é a informalidade no setor: por vezes, ao tentar uma ação direta com a cooperativa, a Ambev prejudica sem saber um de seus fornecedores de caco, por não existir mapeamento de quem vende para quem e, no final, as cooperativas venderem para quem pagar mais. Nesse sentido, a proposta da ABIVidro de um grupo de acompanhamento – GAP, que centralize as compras das cooperativas parece ser muito interessante.

Há ainda o desafio populacional, no qual grande parte da população não tem acesso à informação sobre a importância do bom descarte e, ainda, mesmo que tenha, não tem a estrutura para descarte adequado ao seu alcance.

Por fim, um último desafio é o econômico, principalmente com a recessão atual: em uma recessão, fica difícil alocar custos para projetos piloto e desenvolvimento destes, com alto investimento inicial e incerteza de continuidade.

2.5.2. Oportunidades da logística reversa no cenário atual

Uma grande oportunidade para a área de LR atual é a insurgência de um novo decreto, que regulamentaria a responsabilidade compartilhada do processo de LR do vidro, como já é feito atualmente pela PNRS para fabricantes de resíduos perigosos e tóxicos. O novo decreto traz à tona uma necessidade de revisão da logística a partir de um plano estrutural, que tenha impacto grande na LR do vidro.

Do ponto de vista da Ambev, analisando a logística interna atual, fica claro que há possibilidade de otimização da LR. Como visto, apesar de muito interessantes e de grande impacto social, os projetos de incentivo à LR do Vidro da empresa são ainda muito pilotos, com pequena escala para o material em questão. Assim, é interessante analisar a possibilidade de extensão desses projetos, aumentando o acesso da população a locais de descarte e sua conscientização.

As possibilidades e questionamentos serão levantados em maiores detalhes no capítulo seguinte.

3. CRIAÇÃO, ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE CENÁRIOS

3.1. Introdução

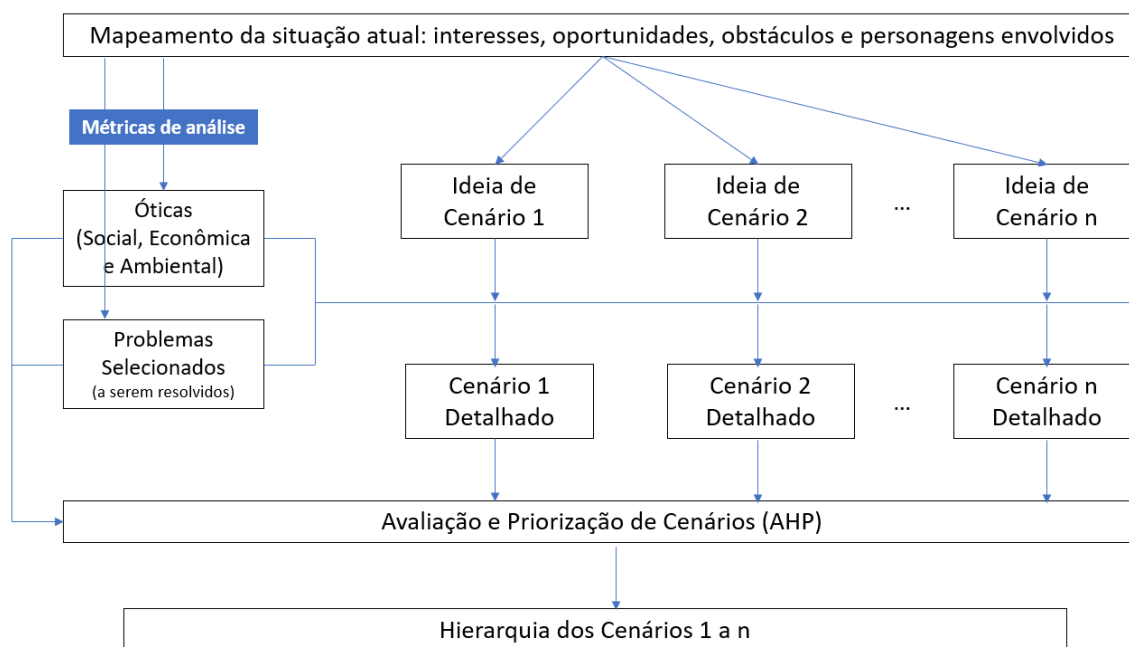
Nos capítulos anteriores, vimos que o cenário da LR do vidro na Ambev e no Brasil são problemas de grande complexidade, imersos em um ambiente com diversos atores e influências, afetando grande parte da sociedade. O problema caracteriza-se, então, por um problema complexo, para o qual não existe solução pronta.

Durante o curso de graduação, em especial na disciplina PRO3585 - Engenharia de Projetos Complexos do Desenvolvimento Brasileiro, compreendeu-se que, em cenários assim, é necessária a compreensão das múltiplas determinações do problema, visando ampliar o campo de visão em relação aos aspectos micro que permeiam o curto prazo. No caso, mesmo com o foco sendo a empresa Ambev, não é sobre tratar a empresa como lócus ou personagem principal dos problemas, mas sim a percepção do ambiente no qual opera, assim como instituições, investidores e pessoas em geral que participam dele. Aqui, é interessante a conexão com a PNRS, que estabelece a responsabilidade compartilhada dos elos da cadeia.

Para melhor mapear as múltiplas determinações, foi necessário, primeiramente, um mapeamento de interesses, oportunidades, obstáculos e, principalmente, personagens envolvidos - realizado no capítulo anterior.

Neste capítulo, será explorada uma segunda etapa: a análise de cenários, sendo cenários, no contexto deste trabalho, entendidos como investimentos possíveis que resultem na alteração do cenário atual. A palavra solução não foi utilizada, pois, em nenhum dos casos, se solucionaria o problema complexo apontado.

Cada um dos cenários será analisado através de mesmos indicadores e métricas, criados através do mapeamento anterior. Um resumo do passo a passo utilizado é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Passo a passo da criação, análise e hierarquização de cenários

Fonte: elaborada pela autora.

3.2. Estudo de cenários alternativos

Para levantamento dos possíveis cenários, além do estudo do cenário atual da Ambev, realizado no capítulo anterior, é interessante levantar países com altas taxas de reciclagem de vidro e analisar as medidas por eles utilizadas. As seguintes informações foram levantadas para orientação geográfica do estudo:

Tabela 5: Levantamento de países com alta taxa de reciclagem de vidro e suas respectivas populações

Local	Tipo	Valores
Global	Vidro Reciclado	21%
Europa	População 2019 (mi)	12 10 ⁶
FEVE	Reciclagem	74%
Suécia	População 2019 (mi)	10.35
FEVE	Vidro Reciclado	+ 95%
Bélgica	População 2019 (mi)	11.46
fiv.be	Vidro Reciclado	96%
Luxemburgo	População 2019 (mi)	0.6
FEVE	Vidro Reciclado	80%
Austria	População 2019 (mi)	8.8
FEVE	Reciclagem	+ 90%
Alemanha	População 2019 (mi)	83.02

FEVE	Vidro Reciclado	80%
Japão	População 2019 (mi)	126.3
grcj.jp	Vidro Reciclado	96%
França	População 2019 (mi)	67.1
Verre Avenir	Vidro Reciclado	77.1%
Austrália	População 2019 (mi)	25.4
Austrália	Vidro Reciclado	56%
Itália	População 2019 (mi)	28.2
FEVE	Vidro Reciclado	78%

Fonte: elaborada pela autora.

Entende-se que a reciclagem é ainda prematura na América Latina, sendo ideal uma avaliação comparativa com países desenvolvidos no tema. A União Europeia é a líder mundial na reciclagem do vidro (FEVE, 2020), o que justifica o foco da tabela em países a ela pertencentes. Ainda, sabendo de limitações culturais e territoriais do Brasil quando comparado à UE, outro cenário será estudado: o Japão, país muito conhecido pela aplicação de tecnologia em seus processos.

3.2.1. Boas práticas internacionais

Todos os países analisados têm suas ações guiadas por regulamentações e diretrizes constantemente revistas e atualizadas - no caso europeu, existe a *Waste Framework Directive* – WFD, relatórios anuais à união ligados à essa diretiva, além de um plano de ação rumo à economia circular, implementado inicialmente em 2015 e revisado em 2020, o *European Green Deal* etc. No Japão e na União Europeia existem relatórios anuais de resíduos sólidos a serem entregues, tanto pelos países quanto pelas empresas grandes geradoras.

É perceptível que, para alcance dessas diretrizes, é muito comum a existência de um grande organismo centralizador da LR, direta ou indiretamente ligado a grupos governamentais e/ou sem fins lucrativos - na Suécia, a organização sueca de reciclagem de vidro (*Svensk Glasåtervinning*), membra da Federação Sueca de Embalagem – FTI; na Áustria, *Itstoff Recycling Austria* – ARA; na Bélgica, responsáveis por cada uma das três regiões. Percebe-se também a tendência de responsabilização do produtor, em países como Japão (*Extended Producer Responsibility* – EPR), Áustria e Alemanha, de forma que os grandes produtores são atores principais na LR.

As redes de LR do vidro trabalham diretamente junto ao consumidor, já conscientizado, de maneira que é efetiva a implementação de coletores de materiais separadores - a união europeia tem como grande força a coleta do vidro em grandes e pequenos contêineres geograficamente dispersos. Existem também redes pensadas para o retorno de garrafas inteiras - a Alemanha, por exemplo, tem todo um sistema pensado para isso, que retorna dinheiro ao consumidor como forma de incentivo. Finalmente, em alguns países, existe preocupação de que, desde o início da cadeia de produção, haja a separação de cores do vidro - caso da Áustria. Dessa forma, o conceito de economia circular e responsabilidade compartilhada permeia toda a cadeia, garantindo que, com a participação de todos os atores, a tendência de fechamento do ciclo cresça mais e mais. É perceptível a utilização de diversas abordagens para coleta do caco, como: bancos de garrafas, caminhões que passam, depósitos, incluindo diferenças setoriais para a coleta de vidro (comercial, doméstico) e/ou coleção de vidros com cores diferentes versus coleção de vidros mistos.

Para além disso, os países contam com enorme automatização do processo de separação, garantindo uma boa qualidade do caco beneficiado e larga escala desta. Há ainda a presença de centros de tratamento dos cacos, por vezes governamentais ou também privados. Finalmente, a política europeia deixa clara que o descarte de resíduos deve ter como última opção os aterros - e, mesmo quando destino final, há política restrita quanto ao lixo recebido pelos aterros, que deve ter sido tratado antes e tem quantidade máxima de material reciclado aceitável.

3.2.2. Tecnologias para reciclagem do vidro – tendências mundiais

Hoje, a reciclagem do vidro ocorre na 4ª geração de plantas de processamento (FEVE, 2020). Inicialmente, eram utilizados processos puramente mecânicos, como a trituração e peneiramento. Mais tarde, foram acrescentados processos de separação de metais. Contaminantes tais como pedras, plásticos e materiais orgânicos ainda eram separados manualmente. Os processos de separação óptica do vidro chegaram ao mercado no final dos anos 1980. Hoje, praticamente todos os contaminantes, tais como cerâmica de vidro resistente ao calor ou vidros contendo óxido de chumbo, podem ser classificados com métodos ópticos. As fábricas modernas estão agora equipadas com sistemas de secagem de vidro a fim de

explorar plenamente as possibilidades de triagem (FERDOUS *et al.*, 2021). A tecnologia varia segundo o fornecedor. Os principais players europeus trabalham tanto com pré-condicionamento dos cacos de vidro por trituração de rolo e peneiramento, separação de metais por corrente, são utilizadas câmeras com luz transmitida, técnicas de fluorescência de raios X (remoção de chumbo e cerâmica de vidro). A espectroscopia de infravermelho próximo – NIR é utilizada para a remoção de plásticos, vidro acrílico e vidro laminado. Sistemas de câmeras com tecnologia de luz transmitida também são usados para a classificação de cores reais e recorre-se ao vidro branco, verde e marrom (MAJDINASAB; YUAN, 2019).

Com uma política já restritiva a aterros, surgiu ainda, recentemente, a possibilidade de contratação de tecnologias para separação ótica de resíduos urbanos diretamente nos locais de descarte, como aterros sanitários. Há ainda o desenvolvimento de diversas tecnologias, como visto no caso do Japão, que possibilitam a transformação do vidro em outras categorias de produtos que não a de embalagens.

3.3. Métricas de análise: Óticas da análise e problemas selecionados

3.3.1. Análise dos cenários sob a ótica do tripé da sustentabilidade

A partir da pesquisa de boas práticas de LR do vidro, percebe-se que existem diversas frentes nas quais a atuação brasileira pode ser melhorada. Há, por um lado, uma frente de trabalho junto ao consumidor final, não somente em trabalho de conscientização, mas também a criação de uma infraestrutura que possibilite o bom descarte ao alcance do consumidor. Percebe-se, na Europa, uma multitude de possibilidades de descarte para todos os tipos de consumidor.

Há também a questão legislativa: nas regiões estudadas, existe uma legislação muito clara quanto ao que pode ou não ser feito, incluindo responsáveis. Nesse sentido, com a aproximação do novo decreto de responsabilização pela LR do vidro, o Brasil parece caminhar no sentido das boas práticas. Faltam, porém, processos estabelecidos que possibilitem que se evite o descarte do vidro nos aterros, além de infraestrutura de suporte (logística para coleta efetiva de cacos, centros de beneficiamento com boa capacidade etc.).

Finalmente, percebe-se uma tendência de auxílio tecnológico para a logística, ponto que pode ser explorado dada certa inflexibilidade de alteração a curto prazo de padrões e culturas.

Em um cenário complexo como o da LR do vidro no Brasil, propõe-se o estudo de diferentes cenários possíveis de atuação da empresa Ambev, tentando, a cada cenário proposto, entender seu posicionamento dentro da política de sustentabilidade do *Tripple Bottom Line* - ambiental, social e econômico.

3.3.1.1. Pilar ambiental

Neste pilar, o impacto que o cenário poderá trazer para o meio ambiente será analisado. Uma tonelada de recursos naturais pode ser economizada de cada tonelada de vidro reciclado, incluindo areia e cinza de refrigerante. Em outras palavras, uma tonelada de vidro reciclado economiza 0,12 barris de petróleo (19 litros), 42 Kwh de energia, 3,4 kg de poluentes atmosféricos a serem liberados e 1,5 metros cúbicos de espaço de aterro (LBRE 2020).

Assim, a capacidade de evitar a entrada de novos recursos e também a capacidade de evitar a saída de recursos para o ciclo, através da lógica dos “cinco Rs” (reciclar, reutilizar, reduzir, recusar e repensar) serão levantados. A maior disponibilidade de cacos de boa qualidade (beneficiados) acarreta a diminuição de entrada de matéria prima, na diminuição de energia utilizada no processo de fusão, na diminuição de CO₂ emitidos no processo. Por outro lado, um êxito apenas no ponto de vista da coleta, sem pensar na qualidade do material, já auxilia na diminuição de despejo em locais inadequados.

Finalmente, a capacidade de diminuição de transporte através da otimização da logística de caco, considerando as dimensões do país, seu meio transporte majoritariamente rodoviário e as emissões de gases de efeito estufa decorrentes deste, será analisada.

3.3.1.2. Pilar social

O desempenho social na LR deve ser analisado de maneira interna e externa à empresa Ambev.

Do ponto de vista externo, serão questionados impactos tais como segurança e saúde - pensando no vidro como material perigoso se mal destinado e, ainda, nas condições de trabalho informal dos coletores - e questões macrossociais, como geração de empregos e distribuição de renda igualitária.

Do ponto de vista interno serão questionados impactos no engajamento que ele gera com questões relacionadas com a governança, como salários e benefícios, e política de igualdade de oportunidades.

3.3.1.3. *Pilar econômico*

Daugherty *et al.* (2005) indicaram que o crescimento econômico relacionado ao desempenho da LR pode ser avaliado usando indicadores como a recapturar o valor de produtos, contenção de custos, redução no investimento em estoque e melhoria da rentabilidade e produtividade do trabalho

Os principais benefícios obtidos através das práticas da LR, segundo a literatura, são a como redução de custos na compra de materiais, consumo de energia e tratamento de resíduos, e redução de descargas e acidentes ambientais como contribuintes econômicos positivos. Já os custos relacionados à adoção de práticas de LR incluem custos de investimento e compra de materiais ambientalmente amigáveis, operacionais e custo de treinamento. No caso da cadeia de vidro, sabe-se que o uso do caco evita a compra de matéria prima e diminui o uso de energia. Além disso, o caco pode ser vendido para atores da cadeia: podem ser vendidos cacos beneficiados, com valor aproximado de R\$90,00 superior ao caco não beneficiado (pesquisa de mercado realizada internamente), ou cacos não beneficiados, não somente para atores da cadeia da Ambev, mas também para outros tipos de uso, como a construção civil. As partículas de vidro recicladas podem ser utilizadas no concreto e foram e são aplicadas em construções de estradas (SU e CHEN, 2000).

É crucial entender a efetividade a longo prazo dos cenários, uma vez que, no curto prazo, a adoção de projetos de LR é cara e tem um impacto negativo no desempenho econômico no curto prazo, mas pode contribuir para a melhoria de outros desempenhos a longo prazo (DIABAT *et al.*, 2011).

3.3.2. Problemas selecionados

Para se definir um cenário, é essencial que seus objetivos – ou seja, os problemas que quer solucionar – estejam claros. Os cenários para a situação levantada buscarão resolver três grandes problemas para a LR de vidro atual: o descarte inadequado e má destinação do vidro pós consumo, a falta de cacos de qualidade para fusão e o alto custo dos cacos, considerando custo do material e valor gasto com frete.

3.4. Cenário 1: Foco no cliente final - Ampliação de projetos de logística reversa - pontos de coleta e conscientização da população

3.4.1. Visão geral do cenário

Como visto anteriormente, os projetos atuais da Ambev, chamados de plataformas, atuam em três frentes: clientes; consumidores; e ecossistemas.

Dos principais projetos voltados ao consumidor, o que mais se destacava no primeiro semestre de 2021 é o da Green Mining, uma pequena empresa que coleta resíduos recicláveis através da criação de centros de coleta, calculados segundo algoritmo de mapeamento de geração de resíduos pós-consumo. Atualmente, a Green Mining conta com 700 pontos registrados em São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília.

O cenário 1 seria o de incentivo de expansão da empresa para outros municípios, aumentando o acesso do consumidor final a locais de descarte apropriado de resíduos.

3.4.2. Análise sob ótica do tripé da sustentabilidade

i. Ambiental

O projeto possibilitaria a redução de vidro descartado em aterros e lixões, proporcional aos pontos de coleta criados. Além disso, por se tratar da coleta por meio de veículos não motorizados e de pontos otimizados, a emissão de CO₂ dentro do município é reduzida.

ii. Social

O projeto possibilitaria a criação de empregos diretamente ligados à Green Mining. Entretanto, a startup não se relaciona diretamente com cooperativas, tendo funcionários e sistema de coleta próprios.

iii. Econômica (incluindo efetividade e implantação)

Dado que o sistema já foi implementado, não existem grandes esforços para definição do processo e metodologia de implantação. A criação dos pontos não é altamente custosa, sendo necessário apenas o investimento de infraestrutura e do aumento do pessoal conforme capacidade.

Apesar dos bons aspectos, a efetividade do projeto demandaria a conscientização da população e o número de pontos criados.

3.4.3. Resolução dos Problemas Seleccionados

i. Descarte inadequado e má destinação do material pós consumo

Todos os cacos recolhidos pelo sistema são cacos que são mantidos dentro do ciclo da logística de vidro, controlando assim a sua destinação.

ii. Falta de cacos de boa qualidade para fusão

O cenário aumenta o número de cacos disponíveis, que, se bem destinados, serão beneficiados. Entretanto, não altera a capacidade atual do sistema de beneficiamento de cacos.

iii. Alto custo de cacos: custo por tonelada do material somado ao custo de frete

O custo do frete intermunicipal se manteria o mesmo, dado que a otimização dos pontos é apenas utilizada para a coleta dos cacos dentro dos municípios e o grande custo de transporte é entre estados. Entretanto, a Ambev teria acesso a cacos de menor custo, negociando anteriormente com a startup.

3.5. Cenário 2: Foco na cadeia interna - Revisão das estruturas próprias à Ambev: criação de centro para coleta e beneficiamento de cacos

3.5.1. Visão geral do cenário

O cenário 2 é fruto do estudo dos problemas de logística relatados pelos funcionários. A ideia é a de criação de um centro de coleta de cacos – CCC, que poderá receber cacos de cooperativas, cervejarias e CDD e será idealmente localizado entre tais atores. O CCC seria responsável pela recepção dos mais variados tipos de caco. Além da recepção, o CCC seria responsável pelo beneficiamento total ou de parte dos cacos, possibilitando que estes sejam comercializados ou utilizados pela própria fábrica de vidros da Ambev.

3.5.2. Análise sob ótica do tripé da sustentabilidade

i. Ambiental

Do ponto de vista ambiental, um CCC em uma boa localização evitaria transportes desnecessários, diminuindo emissões de carbono decorrentes do transporte rodoviário. Além disso, os custos de frete seriam otimizados, o que incentivaria o retorno de cacos de maneira inteligente. Finalmente, por ser próximo a grandes geradores de cadeia interna e também a cooperativas e fábricas de garrafa, ele garantiria uma demanda de cacos, atraindo as cooperativas e vendedores de caco.

ii. Social

Um CCC possibilitaria a centralização das demandas de caco, aproximando a Ambev de cooperativas. Com uma gestão centralizada e pouco informal, seria possível controlar a

especulação do preço de caco e até garantir que um preço atrativo estaria sendo pago, beneficiando os cooperadores. Há ainda a possibilidade de estudo de compras a partir do mercado de crédito de carbono.

iii. Econômica (incluindo efetividade e implantação)

A construção de um CCC seria relativamente custosa, por precisar de toda uma infraestrutura para recepção e beneficiamento dos cacos. Seria um projeto de médio prazo, mas, que assim que concluído, por se tratar de algo voltado à logística interna e também como polo de atração de cacos de cooperativas, seria efetivo.

O custo da tonelada de caco beneficiando é em média R\$90,00 superior ao da tonelada de caco não beneficiado, sendo possível a geração de receita por meio da venda de cacos e da redução do custo de aquisição de matéria prima e de energia em fornos de fusão de vidro.

3.5.3. Resolução dos problemas selecionados

i. Descarte inadequado e má destinação do material pós consumo

Um CCC resolveria esse problema de forma indireta e à longo prazo através do incentivo financeiro a quem entregue o caco (municípios, cooperativas, catadores independentes).

É ideal que o CCC não seja uma estrutura que vise o lucro, e sim, que seja um projeto construído para se manter no zero a zero. Quaisquer lucros devem ser convertidos em incentivos e projetos de melhoria da LR do vidro.

ii. Falta de cacos de boa qualidade para fusão

Um CCC com um centro de beneficiamento criado para suprir as demandas de fabricação de garrafas garantiria, por um lado, a boa qualidade dos cacos beneficiados e, por outro, por ser bem localizado, garantiria boa quantidade de cacos que chegam.

- iii. Alto custo de cacos: custo por tonelada do material somado ao custo de frete

Sendo criado em ponto geográfico ótimo, calculado segundo cervejarias, CDD, cooperativas e outros atores da cadeia da Ambev, o custo de frete de caco seria reduzido e o duplo frete, evitado. Além disso, centralizando a coleta de cacos, é possível maior controle do valor do caco, atualmente pouco estável devido à informalidade dos atores e possível negociação segundo demanda.

3.6. Cenário 3: Foco no ambiente externo - Investimento em tecnologias que possibilitem a separação automática de material nos aterros sanitários, em parceria com o poder público e os aterros

3.6.1. Visão geral do cenário

Segundo a Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos e Efluentes – ABETRE - a tecnologia “aterro sanitário” responde por 58% do volume total de tratamento e disposição de resíduos públicos no Brasil, enquanto os lixões respondem a 39%. Sabe-se que os cacos de vidro descartados em aterros e lixões são muito problemáticos, não somente do ponto de vista de segurança e saúde (cacos de vidro são altamente cortantes), mas também do ponto de vista de degradação, dado que o vidro é material considerado não degradável (sua degradação completa pode levar mais de dez mil anos).

Hoje, os sistemas de triagem no Brasil, tanto nas empresas que fazem operações com resíduos urbanos quanto nas que operam com materiais já pré-selecionados, têm funcionamento bastante primitivo na grande maioria das vezes. No caso dos resíduos urbanos, primeiro é feita uma pré-seleção na qual são retirados objetos grandes e irrecuperáveis – como sofás, eletrodomésticos e outros. O lixo, em seguida, é retirado dos sacos e encaminhado manualmente para esteiras, quando existentes. Colaboradores ficam de olho no material que passa e “pescam” os itens reaproveitáveis.

Assim sendo, seria muito interessante investir na separação nos pontos em que se recebe os vidros. Já existem fabricantes que produzem máquinas capazes de realizar a separação de vidros dos resíduos sólidos municipais, seja por alta tensão, sensor visual ou

outras tecnologias. A capacidade média das máquinas especializadas em separação de vidro, encontrada em pesquisas iniciais, gira em torno de três mil toneladas de caco-ano.

3.6.2. Análise sob ótica do tripé da sustentabilidade

i. Ambiental

Através da separação de cacos diretamente de aterros sanitários, se evitaria o descarte de toneladas de vidro, material não biodegradável. Seria proporcional à capacidade da máquina e à quantidade de lixo que chega nos aterros

ii. Social

Problemas de saúde pública ligados ao mal descarte de cacos de vidro seriam evitados com a retirada de cacos de aterros e lixões. A princípio, o sistema excluiria cooperativas, mas é possível uma análise para que os trabalhos gerados pelo sistema tenham cooperadores como candidatos.

iii. Econômica (incluindo efetividade e implantação)

Cenário que exige alto investimento, que pode ser dividido em parceria junto aos donos de aterros, públicos ou privados, para construção de um plano de criação conjunta. A máquina separadora, em geral, separa outros materiais que não só o vidro, o que possibilitaria a venda não só de cacos, mas também dos outros materiais separados.

É um cenário a longo prazo, pois é necessário estudo de máquinas já existentes no mercado e a possibilidade de implantação delas, além da conversa junto aos atores dos aterros.

3.6.3. Resolução dos problemas selecionados

i. Descarte inadequado e má destinação do material pós consumo

Se implantada em larga escala, a separação de vidro diretamente em aterros e lixões auxiliaria em muito na LR do vidro, por casar o sistema hegemônico atual de destinação de resíduos com uma separação.

ii. Falta de cacos de boa qualidade para fusão

Por um lado, a solução aumentaria a quantidade de cacos disponível. Por outro, depende de outros atores da cadeia para que haja capacidade de beneficiamento de todos os cacos em questão.

iii. Alto custo de cacos: custo por tonelada do material somado ao custo de frete

Com maior disponibilidade de cacos, o custo por tonelada tenderia a descer. Entretanto, o sistema ainda exigiria uma logística de distribuição dos cacos para os atores capazes de beneficiar os cacos.

3.7. AMD entre os cenários

Como visto na bibliografia, o AHP é um método AMD muito útil para a avaliação de objetivos e critérios múltiplos em problemas caracterizados pela complexidade e subjetividade.

A escolha do método AHP foi motivada pela facilidade de compreensão e de operacionalização do método e, também, pela natureza qualitativa apresentada pela maioria das variáveis do problema.

O método AHP será utilizado para a escolha do cenário, dentre os levantados, que mais auxiliaria a empresa a melhorar o funcionamento da LR do vidro atualmente. Para evitar a repetição de comparação entre as alternativas, a abordagem de ratings será utilizada.

Esta seção descreve os passos da aplicação do AHP para auxiliar na escolha do cenário que mais auxiliaria no cenário atual da LR de vidro na Ambev.

3.7.1. Estruturação dos critérios na hierarquia do AHP

Saaty aponta que não há um procedimento padrão para levantamento de critérios e de objetivos (SAATY, 1991). O autor sugere a utilização de brainstorming com especialistas e/ou consultas bibliográficas para ajudar na elucidação dos critérios e dos objetivos. No caso do estudo em questão, o ponto de partida da escolha dos critérios foi bibliográfico – o que se considera importante para a sustentabilidade atualmente e subtipo desses pilares. Em seguida, relacionou-se os pontos teóricos ao estudo e entrevistas informais realizados junto à empresa Ambev durante a elaboração do item 2 – *Diagnóstico da Situação Atual: A cadeia de vidro na Ambev*.

Assim, os indicadores escolhidos foram selecionados de maneira a cobrir não somente o tripé da sustentabilidade, auxiliando a Ambev a caminhar rumo à sustentabilidade de longo prazo, como também pensando em suas metas estipuladas até 2025 e, finalmente, a resolução dos principais problemas levantados. Tais critérios conversam diretamente com as métricas de análise propostas no item 3.3 - *Métricas de análise: Óticas da análise e problemas selecionados*.

Cada critério tem a ele atrelado qual tripé ele representa e a meta de sustentabilidade ligada a ele. Cada grupo de critérios foi organizado obedecendo à hierarquia do AHP. O nível 1 representa o foco principal. O nível 2 representa a camada de critérios identificados. Os critérios são mostrados na tabela abaixo:

Tabela 6: Indicadores para Seleção de Cenários

Tipo	Meta Sustentabilidade Ambev	Crítérios
1. Impacto Ambiental	Embalagem Circular + Redução de emissões de CO2	1.1 Quantidade de caco disponível para fusão/ Reincorporação do vidro na cadeia produtiva
	Embalagem Circular	1.2 Qua Quantidade de cacos disponível
	Redução de Emissões de CO2	1.3 Recursos (energia e gasolina)
2. Impacto Social	Embalagem Circular + Ecossistema de Empreendedores	2.1 Responsabilidade Compartilhada/união de atores da cadeia
	Ecossistema de Empreendedores	2.2 Empregos Gerados
	-	2.3 Atuação junto a cooperativas
3. Impacto Econômico	-	3.1 Viabilidade: Receitas e Custos Envolvidos
	-	3.2 Investimento necessário

4. Potencial Geral do Projeto	Embalagem Circular, Redução de emissões	4.1 Efetividade a longo prazo
	-	4.2 Dificuldade de implantação
	-	4.3 Efetividade a curto prazo

Fonte: elaborada pela autora.

3.7.2. Coleta de julgamento dos critérios, cálculo das prioridades e consistência

O processo de mensuração pode ser dividido em três etapas: o cálculo de prioridade dos critérios; seguido do cálculo de prioridade dos subcritérios; e, finalmente, o cálculo de prioridade de alternativas locais e globais. Quando há um número grande alternativas e critérios, é interessante criar modelos com uma escala de classificação, para melhor avaliar as alternativas de forma independente.

Para o cálculo de prioridade dos critérios, uma reunião virtual foi feita junto a três funcionários (dois gerentes e um(a) analista) e a nota consenso foi registrada diretamente na matriz de julgamento abaixo.

As notas atribuídas seguem a escala de julgamento de Saaty, apresentada na Tabela 2. Após a atribuição de nota para todos os critérios, a nota foi normatizada, resultando no vetor de prioridade da matriz de critérios do problema.

Tabela 7: Matriz de Julgamento Critérios

Matriz de Julgamento Inicial				
Critérios	Ambiental	Social	Econômico	Potencial de Projeto
Ambiental	1,00	1,00	3,00	5,00
Social	1,00	1,00	3,00	5,00
Econômico	0,33	0,33	1,00	5,00
Potencial de Projeto	0,20	0,20	0,20	1,00
Total	2,53	2,53	7,20	16,00

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 8: Vetor de Prioridade da Matriz de Critérios

Matriz de Julgamento Normalizada						
Critérios	Ambiental	Social	Econômico	Potencial de Projeto	Prioridade Local	Prioridade Global (%)
Ambiental	0,39	0,39	0,42	0,31	0,38	37,97%

Social	0,39	0,39	0,42	0,31	0,38	37,97%
Econômico	0,13	0,13	0,14	0,31	0,18	17,86%
Potencial de Projeto	0,08	0,08	0,03	0,06	0,06	6,20%
Total	1,00	1,00	1,00	1,00		

Fonte: elaborada pela autora.

O mesmo raciocínio foi utilizado para os subcritérios de cada critério, resultando em vetores de prioridade da matriz de subcritérios. Eles são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 9: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 1

Matriz de Julgamento Inicial				
Impacto Ambiental	1.1	1.2	1.3	
1.1	1,00	3,00	5,00	
1.2	0,33	1,00	3,00	
1.3	0,20	0,33	1,00	
Total	1,53	4,33	9,00	

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 10: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 1

Matriz de Julgamento Normalizada				Prioridade Média Local (x)	Prioridade Global 1 (y)	Prioridade Global (x*y)	Peso Global (%)
Impacto Ambiental	1.1	1.2	1.3				
1.1	0,65	0,69	0,56	0,63	0,38	0,24	24,05%
1.2	0,22	0,23	0,33	0,26	0,38	0,10	9,89%
1.3	0,13	0,08	0,11	0,11	0,38	0,04	4,03%
Total	1,00	1,00	1,00				

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 11: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 2

Matriz de Julgamento Inicial			
Impacto Social	2.1	2.2	2.3
2.1	1,00	6,00	7,00
2.2	0,17	1,00	3,00
2.3	0,14	0,33	1,00
Total	1,31	7,33	11,00

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 12: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 2

Matriz de Julgamento Normalizada	Prioridade Média Local	Prioridade Global 2 (y)	Prioridade Global (x*y)	Peso Global (%)
---	------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------

Impacto Social				(x)			
	2.1	2.2	2.3				
2.1	0,76	0,82	0,64	0,74	0,38	0,28	28,07%
2.2	0,13	0,14	0,27	0,18	0,38	0,07	6,79%
2.3	0,11	0,05	0,09	0,08	0,38	0,03	3,11%
Total	1,00	1,00	1,00				

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 13: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 3

Matriz de Julgamento Inicial		
Impacto Econômico	3.1	3.2
3.1	1,00	5,00
3.2	0,20	1,00
Total	1,20	6,00

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 14: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 3

Matriz de Julgamento Normalizada			Prioridade Média Local (x)	Prioridade Global 3 (y)	Prioridade Global (x*y)	Peso Global (%)
Impacto Econômico	3.1	3.2				
3.1	0,83	0,83	0,83	0,18	0,15	14,89%
3.2	0,17	0,17	0,17	0,18	0,03	2,98%
Total	1,00	1,00				

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 15: Matriz de Julgamento Subcritérios do Critério 4

Matriz de Julgamento Inicial			
Potencial do Projeto	4.1	4.2	4.3
4.1	1,00	3,00	7,00
4.2	0,33	1,00	5,00
4.3	0,14	0,20	1,00
Total	1,48	4,20	13,00

Fonte: elaborada pela autora.

Matriz de Julgamento Normalizada				Prioridade Média Local (x)	Prioridade Global 4 (y)	Prioridade Global (x*y)	Peso Global (%)
Potencial do Projeto	4.1	4.2	4.3				
4.1	0,68	0,71	0,54	0,64	0,06	0,04	3,99%

4.2	0,23	0,24	0,38	0,28	0,06	0,02	1,75%
4.3	0,10	0,05	0,08	0,07	0,06	0,00	0,46%
Total	1,00	1,00	1,00				

Tabela 16: Vetor de Prioridade da Matriz do Critério 4

(Fonte: Elaborada pela autora)

Ademais, foi examinada a razão de consistência para verificar a coerência dos julgamentos do decisor, a partir da fórmula proposta por Saaty. Segundo Saaty (1990), a razão de consistência não deve ser superior a 10%, sendo que este valor foi respeitado nas matrizes de decisão obtidas neste trabalho.

Tabela 17: Razão de Consistência das matrizes criadas

Matriz Analisada	Quantidade de Critérios	CI	CR associado à quantidade de critérios	Consistente? (CR≤0.1)
Critérios	4	0,9	0,05285809461	Sim
Impacto Ambiental	3	0,58	0,03337472497	Sim
Impacto Social	3	0,58	0,08820605789	Sim
Impacto Econômico	2	-	-	-
Potencial do Projeto	3	0,58	0,05647571304	Sim

Fonte: elaborada pela autora.

Consolidando todos os dados da AHP até então calculados:

Tabela 18: Critérios, Subcritérios, Razão de Consistência e Pesos Locais e Globais

Critério	PL	CR	G	Sub-critério	L	R	G
Impacto Ambiental	0,38	0,053	7,97%	Quantidade de cacos disponível	0,63	0,033	24,05%
				Quantidade de caco disponível para fusão/ Reincorporação do vidro na cadeia produtiva	0,26		9,89%
				Recursos (energia e gasolina)	0,11		4,03%
Impacto Social	0,38		7,97%	Responsabilidade Compartilhada/união de atores da cadeia	0,74	0,088	28,07%
				Atuação junto a cooperativas	0,18		6,79%
				Empregos Gerados	0,08		3,11%
Impacto Econômico	0,18		7,86%	Viabilidade: Receitas e Custos Envolvidos	0,83		14,89%
				Investimento necessário	0,17		2,98%
Potencial do Projeto	0,06		6,20%	Efetividade a curto prazo	0,64	0,056	3,99%

Efetividade a longo prazo	0,28	1,75%
Dificuldade de implantação	0,07	0,46%

Fonte: elaborada pela autora.

Após a definição dos vetores de priorização e a confirmação de sua consistência, utilizou-se o modelo de AHP por ratings. O objetivo da utilização desse método foi de evitar outra comparação exaustiva entre cenários, de forma que eles possam ser analisados separadamente com os vetores já definidos. A descrição de cada critério e a forma de cálculo utilizada na montagem dos ratings pode ser conferida na Tabela 19.

Tabela 19: Critérios e Ratings

Quantidade de cacos disponível (em relação ao vidro produzido)	Valor
Expectativa Alta	7
Expectativa Média	5
Expectativa Baixa	3
Quantidade de caco disponível para fusão/ Reincorporação do vidro na cadeia produtiva	Valor
Cacos muito bem selecionados	7
Cacos selecionados	5
Cacos sem seleção prévia	3
Recursos (energia e gasolina)	Valor
Baixo gasto (distancia de transporte + energia no processamento)	10
Médio gasto (distancia de transporte + energia no processamento)	5
Alto gasto (distancia de transporte + energia no processamento)	3
Responsabilidade Compartilhada/união de atores da cadeia	Valor
3 ou mais tipos de atores envolvidos	7
2 tipos de atores envolvidos	5
1 tipo de ator envolvido	3
Atuação junto a cooperativas	Valor
Potencializa criação e apoio a cooperativas	7
Atua com cooperativas existentes	5
Sem atuação direta	1
Empregos Gerados	Valor
Alto potencial de geração de empregos	6
Baixo potencial de geração de empregos	2
Viabilidade: Receitas e Custos Envolvidos	Valor

R-C>0	7
R-C=0	5
R-C<0	2
Investimento necessário	Valor
Menos que milhares (investimento muito baixo)	7
Ordem milhares de reais	5
Ordem milhões de reais	3
Efetividade a curto prazo	Valor
Pleno funcionamento dentro de 1 ano	7
Pleno funcionamento dentro de 2 anos	5
Pleno funcionamento depois de 2 anos	3
Efetividade a longo prazo	Valor
Projeto terá alto impacto nos próximos 20 ou mais anos	10
Projeto terá alto impacto nos próximos 10 anos	5
Projeto frágil/tende a ser abandonado em um futuro próximo	2
Dificuldade de implantação	Valor
Exige pouco esforço por parte da Ambev	10
Exige muito esforço por parte da Ambev	5
Exige esforços internos e externos à Ambev	2

Fonte: elaborada pela autora.

Para a definição das notas, a mesma dinâmica de reunião virtual foi realizada. As notas consenso foi registrada diretamente na matriz de julgamento abaixo.

O resultado da AHP é mostrado na tabela abaixo.

Tabela 20: Matriz de Decisão do Cenário – Notas por Cenário e Score Final

Sub-critério	PG	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Quantidade de cacos disponível	4,05%	3	7	5
Quantidade de caco disponível para fusão/ Reincorporação do vidro na cadeia produtiva	9,89%	7	5	7
Recursos (energia e gasolina)	4,03%	3	10	3
Responsabilidade Compartilhada/união de atores da cadeia	28,07%	7	7	5
Atuação junto a cooperativas	6,79%	7	7	1
Empregos Gerados	3,11%	6	6	2

Viabilidade: Receitas e Custos Envolvidos	14,89%	2	5	5
Investimento necessário	2,98%	7	3	3
Efetividade a curto prazo	3,99%	7	3	5
Efetividade a longo prazo	1,75%	2	10	10
Dificuldade de implantação	0,46%	10	5	2
Total		61	68	48

Fonte: elaborada pela autora.

3.7.3. Escolha do cenário

O cenário selecionado é o cenário 2: *Foco na cadeia interna - Revisão das estruturas próprias à Ambev: criação de centro para coleta e beneficiamento de cacos*, por ser o com maior pontuação segundo a metodologia. Ele será desenvolvido no capítulo seguinte.

4. DESENVOLVIMENTO DO CENÁRIO ESCOLHIDO

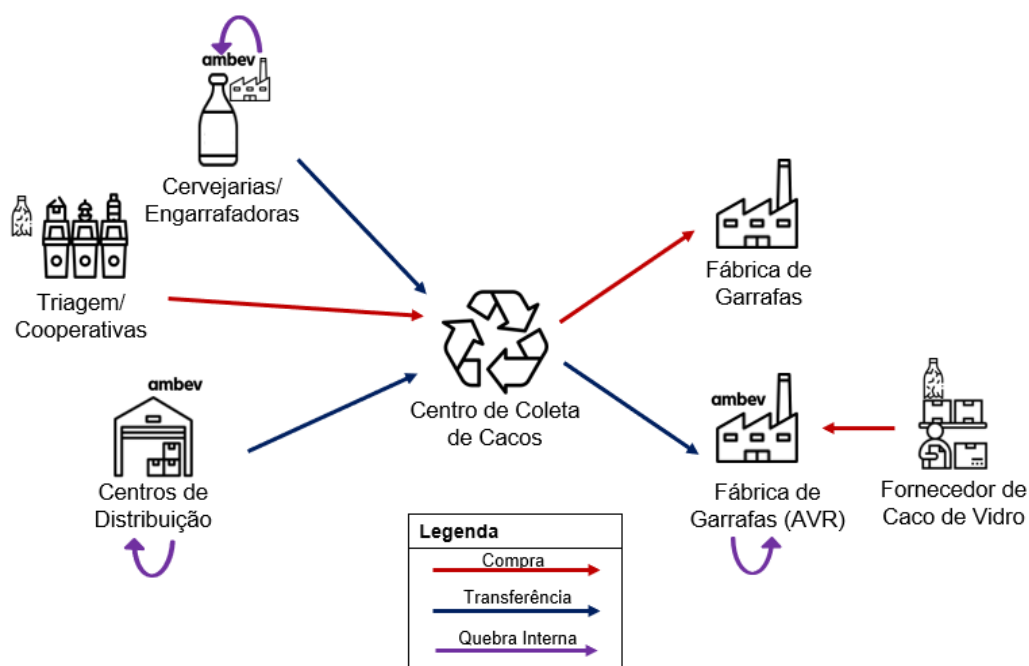
4.1. Detalhamento do Cenário 2: centro de coleta de cacos

Analisando o modelo atual de logística do vidro (Figura 7), podemos perceber a existência de dois destinos: a AVR e fábricas de vidro não pertencentes à Ambev. Entretanto, antes da chegada do caco lá, existem diversos fretes de transporte intermediários pagos: das cooperativas para o CDD e Cervejarias, entre CDD e cervejarias, dos fornecedores de caco para cervejarias e CDD. Além disso, como as estruturas são anteriores à tomada de consciência da LR, seu posicionamento não favorece fretes mais baixos ou proximidade a fontes de cacos.

O CCC seria responsável pela recepção dos mais variados tipos de caco. Além da recepção, ele realizaria o beneficiamento dos cacos. O sistema de beneficiamento pensado para o CCC é similar ao utilizado pela Vidroporto, ou seja, o automatizado com separação óptica. Nele, os cacos são inseridos por meio de um sistema de alimentação, realizando a trituração do material, seguida pela separação óptica dos contaminantes e cores do vidro. Finalmente, o vidro pode ser estocado e/ou diretamente comercializado. A separação óptica foi escolhida por melhorar em muito a separação do vidro, tanto entre diferentes tipos de materiais quanto em cores, tornando os cacos beneficiados de maior valor.

Ilustrando o novo modelo imaginado:

Figura 12: Fluxo de Cacos de um CCC



Fonte: elaborada pela autora.

Os benefícios de um CCC seriam:

- centralizar o local de recepção de cacos;
- auxiliar o controle de estoque de cacos;
- evitar que longas distâncias sejam percorridas com pouco caco;
- evitar duplo ou triplo frete para transporte do mesmo caco;
- aproximar-se de cooperativas, incentivando a venda direta para a Ambev e expandindo a rede do Reciclar pelo Brasil;
- otimizar os cacos vendidos para fábricas de garrafa e os transportados para a AVR, possibilitando maior controle de valor;
- expandir território de compra de cacos: fornecedores do Centro-oeste, Norte e Nordeste; e
- incentivar a criação de cooperativas em regiões de alta geração de vidro.

4.2. Criando o centro de coleta de cacos: proposta de localização

O item em questão buscará estudar pontos ótimos para posicionar CCC, que poderão receber cacos de cooperativas, cervejarias e CDD, criando a sugestão de localização para que, caso acatada a sugestão, a empresa realize pesquisas futuras de custos e limitações. Serão

levados em conta os atores atuais e a relação entre eles estabelecidas, criando uma relação de peso entre atores conforme quantidade de cacos gerada. Como a rede é sensível, seria necessário um outro estudo para entender possibilidades de parcerias, alteração nos contratos e até um questionamento de se, no caso de centralizar a recepção de cacos em um só local, esse local não poderia ser de uma entidade privada (Ambev) e sim, do poder público.

4.2.1. Formulação da solução e método de cálculo

4.2.1.1. *Formulação*

A solução buscará entender um ponto estratégico para a criação de um CCC levando em consideração a malha atual da Ambev e os diferentes atores da cadeia: cervejarias, cooperativas, CDD e fábricas de garrafa.

A partir da latitude e longitude, o(s) ponto(s) médios do modelo serão calculados, assim como as novas distâncias a serem percorridas pelos cacos coletados.

4.2.1.2. *Métodos*

4.2.1.2.1. Cálculo da distância entre pontos

A partir das latitudes e longitudes, é possível calcular a distância em linha reta de uma superfície curva tal qual o globo terrestre. Sendo R o raio da esfera, φ_a latitude e λ a longitude, partiremos da fórmula:⁵

$$d_{b,a} = 2\pi R * \arccos[\cos(\pi/2 - \varphi_b)] + [\cos(\pi/2 - \varphi_a) * \cos(\pi/2 - \varphi_b) * \cos(\lambda_a - \lambda_b)]$$

4.2.1.2.2. Cálculo do ponto central: método do centro de gravidade

Uma das técnicas mais conhecidas para o estudo de localização de um terreno único é o método do centro de gravidade (DAVIS *et al.*, 2009). Este conceito é baseado no fato de

⁵ Disponível em: <www.ufrgs.br/lageo/calculos/distancia.php>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

que todas as localizações possíveis têm um “valor” que é a soma de todos os custos de transporte de e para aquela localização. A melhor localização, a que minimiza custos, é representada pelo que, em uma analogia física, seria o centro de gravidade ponderado de todos os pontos de e para onde as mercadorias são transportadas. No modelo do centro de gravidade, procura-se estimar o local de menor custo de transporte para a instalação da empresa, observando o fornecimento de matérias-primas e os mercados consumidores. Nesse método procura-se minimizar a soma do volume em um ponto multiplicado pela taxa do transporte para enviar ao ponto multiplicado pela distância ao ponto que é o custo total do transporte, considerando mais de um local em que a mercadoria será transportada. A localização da instalação tem coordenadas x e y calculadas pelas expressões (MARTINS; LAUGENI, 2015).

$$x = \sum Vi * Ci * Xi / \sum Vi * Ci$$

$$y = \sum Vi * Ci * Yi / \sum Vi * Ci$$

Sendo:

Vi: volume transportada para o local i;

Ci: custo por unidade de volume transportado para o local i;

Xi: coordenada na direção x do local i;

Yi: coordenada na direção y do local i.

É importante enfatizar que esse método leva em consideração apenas o aspecto do custo do transporte, desconsiderando outros importantes fatores qualitativos como disponibilidade de mão de obra, incentivos fiscais e governamentais, restrições do meio ambiente, estrutura urbana e de serviços, entre outros, o que não exclui a importância destes no processo de seleção do local. Trata-se de uma técnica simples, mas que pode oferecer um norte para a escolha de um local a ser instalada a planta única, ao apresentar a localidade com menor custo de transporte dos produtos. A partir desse resultado, uma análise qualitativa do entorno do local pode ser feita.

A fórmula será adaptada conforme premissas e limitação de dados mencionados. Assim, no modelo, tomaremos a premissa que o custo do caco é semelhante em todas as regiões do Brasil, sendo necessário que se leve em conta apenas a distância entre pontos. Além disso, será considerado que o custo de frete é proporcional à distância percorrida. Já

para o volume por unidade, não será possível trabalhar com os dados internos da Ambev, por questões de confidencialidade. Para contornar isso, o “fator volume” foi criado, junto ao especialista de cacos, para que se leve em consideração, por exemplo, que uma cervejaria gera muito mais caco do que uma cooperativa (em torno de 15 ton/mês).

O ponto central (x,y) do CCC será calculado através de uma forma simplificada do método do centro de gravidade:

$$x_{CCC}(lat) = \Sigma(latitude\ i * fator\ volume\ i) / \Sigma fator\ volume\ i$$

$$y_{CCC}(long) = \Sigma(longitude\ i * fator\ volume\ i) / \Sigma fator\ volume\ i$$

4.2.1.3. Premissas

Algumas premissas serão utilizadas para a realização do modelo. Algumas para tornar o modelo possível, outras, por falta de acesso aos dados. São elas:

- O fluxo dos cacos será diretamente para o CCC, sem paradas em agentes intermediários (por exemplo, CDD para cervejaria para CCC).
- O custo da tonelada de caco é semelhante em todas as regiões do Brasil.
- Não há limite de armazenamento na AVR ou fábricas de garrafa.
- Existem 2 possibilidades de destino final dos cacos: fábricas de garrafa ou AVR. O destino será especificado segundo o modelo.

4.2.2. Análise geográfica da cadeia atual

Antes de tudo, é necessário entender a cadeia atual. Os pontos a serem levantados são: localização geográfica de cada um dos atuentes e custo do frete entre regiões. Além disso, será atribuído um valor de 1 a 3 para a importância da proximidade do CCC de cada ator.

4.2.2.1. Cervejarias

Atualmente, a Ambev conta com 29 cervejarias que utilizam garrafas de vidro, sendo uma no Norte, seis no Nordeste, duas no Centro-Oeste, cinco no Sul e 11 no Sudeste. A partir

do levantamento interno de dados, foi possível criar uma lista com cada uma, tal qual suas latitude e longitude. Por questões estratégicas da empresa, elas não serão apresentadas em detalhes aqui, mas serão utilizadas como parte da solução.

Sabendo que grande parte do caco da Ambev é interno e assumindo certa homogeneidade na quantidade de quebra interna em cada uma das cervejarias, o peso atribuído às cervejarias será de 3, sendo muito importante a proximidade dos CCCs a elas.

4.2.2.2. *Cooperativas*

As cooperativas a serem consideradas no modelo são as que, atualmente, realizam negócios com a Ambev e também separam vidro. Das 163 cooperativas mapeadas, apenas 96 trabalham com a coleta de cacos, sendo 44 localizadas no Sudeste, 19 no Nordeste, 26 no Sul, 3 no Norte, 1 no Distrito Federal e 3 no Centro Oeste.

Dado que o volume de caco proveniente de cada uma das cooperativas não é tão grande - cerca de, no máximo, 15 toneladas por mês, os fretes não serão constantes (é necessário que se acumule um mínimo para que se encha o caminhão. Dessa forma, o peso da importância da proximidade geográfica das cooperativas com o CCC atribuído é 1.

Vale ressaltar que a proximidade geográfica não foi a mais priorizada, entretanto, é essencial o estreitamento de relação entre CCC e cooperativas, desde antes de sua construção, garantindo que os cacos serão entregues a ele.

4.2.2.3. *Centros de distribuição*

Como mencionado, atualmente, a Ambev conta com 102 CDD, sendo 45 na região sudeste, 26 no Nordeste, 20 no Sul, oito no Centro-Oeste e três no Norte. A partir do levantamento interno de dados, foi possível levantar uma lista com cada um, tal qual sua latitude e longitude. Por questões estratégicas da empresa, elas não serão apresentadas em detalhes aqui.

Sabendo que há geração de cacos e recepção de garrafas de clientes (varejo) por parte dos CDD, o peso de importância de proximidade dos CDD ao CCC é de 2.

4.2.2.4. Fábricas de garrafas

Os recipientes de vidro para alimentos e bebidas são 100% recicláveis, mas não com outros tipos de vidro (Glass Packaging Institute). Outros tipos de vidro, como janelas, utensílios de forno, pirex, cristal, etc., são fabricados através de um processo diferente. Se estes materiais forem introduzidos no processo de fabricação de recipientes de vidro, eles podem causar problemas de produção e recipientes defeituosos.

Por se tratar de vidros com processos e funcionalidades diferentes, as fábricas de garrafa levadas em consideração são as associadas à Abividro que produzem o chamado vidro oco, que inclui o vidro para uso doméstico e vidro para embalagens. Cada uma delas, assim como sua região e coordenadas geográfica, estão listadas abaixo:

Tabela 21: Fábricas de Vidro Oco no Brasil

Nome	Região	Estado	Cidade	Latitude	Longitude
INDUSTRIA VIDREIRA DO NORDESTE LTDA	NE	SE	Estância	-11.189	-37.401148
OWENS ILLINOIS DO BRASIL INDUS	NE	PE	Recife	-8.05071	-34.965781
OI RJ	SE	RJ	Rio de Janeiro	-22.8929	-43.26168
OI SP	SE	SP	São Paulo	-23.4891	-46.500585
OI PE	NE	PE	Recife	-8.0561	-34.970887
OI PE 2	NE	PE	Vitória de Santo Antão	-8.12333	-35.30011
SGV MG	SE	MG	Jacutinga	-22.289	-46.586719
SGV SP	SE	SP	Porto Ferreira	-21.8508	-47.49422
SGV RS	S	RS	Campo Bom	-29.6883	-51.067747
VP	SE	SP	Porto Ferreira	-21.8566	-47.49684
WHEATON	SE	SP	São Paulo	-23.7166	-46.562177
NADIR FIGUEIREDO	SE	SP	Suzano	-23.5379	-46.281528
VIDRARIA ANCHIETA	SE	SP	São Paulo	-23.551	-46.544976
SCHOTT ITUPEVA	SE	SP	Itupeva	-23.1552	-47.058479
SCHOTT INDAIATUBA	SE	SP	Indaiatuba	-23.1254	-47.222169

Fonte: elaborada pela autora.

4.2.2.5. Fornecedores de cacos

Atualmente, a Ambev compra cacos apenas de fornecedores do Sul e do Sudeste, por só ter um centro de beneficiamento no Rio de Janeiro. Entretanto, os fornecedores de caco também seriam clientes potenciais, pois não são todos os que realizam o beneficiamento destes.

4.2.2.6. *Resumo: distribuição dos atores no Brasil*

Analisando todos os atores envolvidos na solução, fica claro que a região Sudeste tem a cadeia mais complexa, com maior quantidade de fábricas, cooperativas e cervejarias. Outra Região de destaque é o Nordeste, com cerca de 30% do total de fábricas, cooperativas e cervejarias da malha. O Norte, apesar de não ter fábricas ou muitas cervejarias, tem um número de cooperativas que realizam a coleta de cacos de vidro semelhante ao do Sul e Nordeste.

Tabela 22: Distribuição territorial dos atores da cadeia de vidro da Ambev

Região	% populacional	fábricas	% relativa	cooperativas	% relativa	cervejarias	% relativa
CO	7.8%	0	0%	5	8%	2	8%
DF	1.4%	0	0%	1	2%	0	0%
GO	3.4%	0	0%	0	0%	1	4%
MS	1.3%	0	0%	1	2%	0	0%
MT	1.7%	0	0%	3	5%	1	4%
NE	27.1%	4	27%	19	29%	6	24%
AL	1.6%	0	0%	4	6%	0	0%
BA	7.1%	0	0%	6	9%	1	4%
CE	4.3%	0	0%	2	3%	1	4%
MA	3.4%	0	0%	2	3%	1	4%
PB	1.9%	0	0%	2	3%	0	0%
PE	4.5%	3	20%	3	5%	1	4%
PI	1.5%	0	0%	0	0%	1	4%
RN	1.7%	0	0%	0	0%	0	0%
SE	1.1%	1	7%	2	3%	1	4%
NO	8.8%	0	0%	21	32%	1	4%
AC	0.4%	0	0%	0	0%	0	0%
AM	2.0%	0	0%	1	2%	1	4%
AP	0.4%	0	0%	0	0%	0	0%
PA	4.1%	0	0%	1	2%	0	0%
RO	0.8%	0	0%	0	0%	0	0%
RR	0.3%	0	0%	0	0%	0	0%
TO	0.8%	0	0%	0	0%	0	0%
SE	42.0%	10	67%	45	68%	11	44%
ES	1.9%	0	0%	0	0%	0	0%
MG	10.1%	1	7%	20	30%	3	12%
RJ	8.2%	1	7%	7	11%	4	16%
SP	21.9%	8	53%	18	27%	4	16%
S	14.3%	1	7%	26	39%	5	20%
PR	5.4%	0	0%	10	15%	1	4%
RS	5.4%	1	7%	13	20%	3	12%
SC	3.4%	0	0%	3	5%	1	4%

Fonte: elaborada pela autora.

Para aprofundar o estudo das regiões do Brasil, criou-se uma tabela com as distâncias entre os estados. A maneira através da qual as distâncias foram calculadas foi explicada no item *Métodos - Cálculo de distância entre pontos*.

Tabela 23: Distância entre estados do Brasil (em milhares de km)

	DF	GO	MS	MT	AL	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE	AC	AM	AP	PA	RO	RR	TO	ES	MG	RJ	SP	PR	RS	SC
DF	0.00	0.21	0.88	0.89	1.38	0.72	1.49	1.19	1.54	1.37	1.19	1.66	1.27	2.58	2.33	1.96	1.43	1.76	2.47	0.71	0.88	0.45	0.90	0.71	1.08	1.70	1.33
GO	0.21	0.00	0.71	0.70	1.58	0.93	1.65	1.27	1.73	1.55	1.33	1.84	1.47	2.38	2.17	1.95	1.39	1.57	2.36	0.75	1.07	0.63	1.03	0.70	1.01	1.62	1.28
MS	0.88	0.71	0.00	0.88	2.25	1.58	2.35	1.94	2.42	2.24	2.03	2.53	2.14	2.16	2.21	2.46	1.87	1.43	2.61	1.40	1.49	1.10	1.24	0.62	0.58	1.08	0.85
MT	0.89	0.70	0.88	0.00	2.06	1.49	1.93	1.36	2.13	1.98	1.59	2.20	1.97	1.71	1.47	1.61	1.04	0.89	1.75	0.86	1.77	1.33	1.72	1.27	1.42	1.96	1.71
AL	1.38	1.58	2.25	2.06	0.00	0.67	0.58	1.06	0.26	0.18	0.69	0.42	0.13	3.70	3.20	2.06	1.85	2.90	3.01	1.25	1.13	1.25	1.54	1.89	2.30	2.87	2.47
BA	0.72	0.93	1.58	1.49	0.67	0.00	0.93	0.97	0.86	0.69	0.75	1.00	0.55	3.19	2.79	1.98	1.59	2.37	2.75	0.83	0.67	0.61	1.00	1.24	1.65	2.23	1.84
CE	1.49	1.65	2.35	1.93	0.58	0.93	0.00	0.65	0.39	0.40	0.34	0.33	0.64	3.45	2.84	1.55	1.44	2.69	2.55	1.07	1.56	1.53	1.93	2.14	2.54	3.14	2.75
MA	1.19	1.27	1.94	1.36	1.06	0.97	0.65	0.00	0.99	0.90	0.37	0.98	1.05	2.79	2.19	1.03	0.80	2.06	1.95	0.55	1.63	1.41	1.90	1.90	2.26	2.88	2.52
PB	1.54	1.73	2.42	2.13	0.26	0.86	0.39	0.99	0.00	0.18	0.62	0.16	0.37	3.73	3.17	1.93	1.79	2.95	2.92	1.29	1.38	1.46	1.78	2.10	2.51	3.09	2.70
PE	1.37	1.55	2.24	1.98	0.18	0.69	0.40	0.90	0.18	0.00	0.53	0.32	0.25	3.59	3.06	1.89	1.69	2.81	2.85	1.15	1.23	1.29	1.63	1.93	2.34	2.92	2.53
PI	1.19	1.33	2.03	1.59	0.69	0.75	0.34	0.37	0.62	0.53	0.00	0.64	0.69	3.12	2.55	1.38	1.17	2.36	2.32	0.73	1.42	1.30	1.74	1.87	2.26	2.87	2.49
RN	1.66	1.84	2.53	2.20	0.42	1.00	0.33	0.98	0.16	0.32	0.64	0.00	0.54	3.76	3.17	1.87	1.77	2.99	2.88	1.35	1.54	1.61	1.94	2.24	2.65	3.24	2.85
SE	1.27	1.47	2.14	1.97	0.13	0.55	0.64	1.05	0.37	0.25	0.69	0.54	0.00	3.63	3.15	2.07	1.82	2.83	2.99	1.19	1.01	1.12	1.41	1.77	2.18	2.74	2.35
AC	2.58	2.38	2.16	1.71	3.70	3.19	3.45	2.79	3.73	3.59	3.12	3.76	3.63	0.00	0.84	2.37	2.07	0.82	1.57	2.45	3.45	3.01	3.33	2.76	2.70	2.97	2.92
AM	2.33	2.17	2.21	1.47	3.20	2.79	2.84	2.19	3.17	3.06	2.55	3.17	3.15	0.84	0.00	1.58	1.40	0.84	0.74	1.98	3.21	2.78	3.20	2.73	2.79	3.21	3.06
AP	1.96	1.95	2.46	1.61	2.06	1.98	1.55	1.03	1.93	1.89	1.38	1.87	2.07	2.37	1.58	0.00	0.58	1.87	1.06	1.27	2.61	2.32	2.81	2.64	2.92	3.52	3.21
PA	1.43	1.39	1.87	1.04	1.85	1.59	1.44	0.80	1.79	1.69	1.17	1.77	1.82	2.07	1.40	0.58	0.00	1.43	1.17	0.78	2.16	1.82	2.31	2.08	2.35	2.94	2.64
RO	1.76	1.57	1.43	0.89	2.90	2.37	2.69	2.06	2.95	2.81	2.36	2.99	2.83	0.82	0.84	1.87	1.43	0.00	1.44	1.66	2.64	2.19	2.54	2.00	2.00	2.38	2.26
RR	2.47	2.36	2.61	1.75	3.01	2.75	2.55	1.95	2.92	2.85	2.32	2.88	2.99	1.57	0.74	1.06	1.17	1.44	0.00	1.93	3.29	2.90	3.37	3.01	3.17	3.67	3.46
TO	0.71	0.75	1.40	0.86	1.25	0.83	1.07	0.55	1.29	1.15	0.73	1.35	1.19	2.45	1.98	1.27	0.78	1.66	1.93	0.00	1.38	1.05	1.54	1.42	1.75	2.37	2.02
ES	0.88	1.07	1.49	1.77	1.13	0.67	1.56	1.63	1.38	1.23	1.42	1.54	1.01	3.45	3.21	2.61	2.16	2.64	3.29	1.38	0.00	0.44	0.42	0.94	1.32	1.80	1.42
MG	0.45	0.63	1.10	1.33	1.25	0.61	1.53	1.41	1.46	1.29	1.30	1.61	1.12	3.01	2.78	2.32	1.82	2.19	2.90	1.05	0.44	0.00	0.50	0.65	1.06	1.63	1.24
RJ	0.90	1.03	1.24	1.72	1.54	1.00	1.93	1.90	1.78	1.63	1.74	1.94	1.41	3.33	3.20	2.81	2.31	2.54	3.37	1.54	0.42	0.50	0.00	0.63	0.95	1.39	1.02
SP	0.71	0.70	0.62	1.27	1.89	1.24	2.14	1.90	2.10	1.93	1.87	2.24	1.77	2.76	2.73	2.64	2.08	2.00	3.01	1.42	0.94	0.65	0.63	0.00	0.41	1.00	0.62
PR	1.08	1.01	0.58	1.42	2.30	1.65	2.54	2.26	2.51	2.34	2.26	2.65	2.18	2.70	2.79	2.92	2.35	2.00	3.17	1.75	1.32	1.06	0.95	0.41	0.00	0.62	0.29
RS	1.70	1.62	1.08	1.96	2.87	2.23	3.14	2.88	3.09	2.92	2.87	3.24	2.74	2.97	3.21	3.52	2.94	2.38	3.67	2.37	1.80	1.63	1.39	1.00	0.62	0.00	0.39
SC	1.33	1.28	0.85	1.71	2.47	1.84	2.75	2.52	2.70	2.53	2.49	2.85	2.35	2.92	3.06	3.21	2.64	2.26	3.46	2.02	1.42	1.24	1.02	0.62	0.29	0.39	0.00

Fonte: elaborada pela autora, coordenadas do IBGE.

É interessante observar que, mesmo os Estados do Norte e do Nordeste serem de grande importância para a cadeia produtiva de vidro, não existe uma estrutura definida para que se beneficie os cacos lá obtidos. Atualmente, ou se envia para a AVR ou se vende para outras fábricas com sistemas de beneficiamento e, depois, se compra as garrafas com valor acrescido.

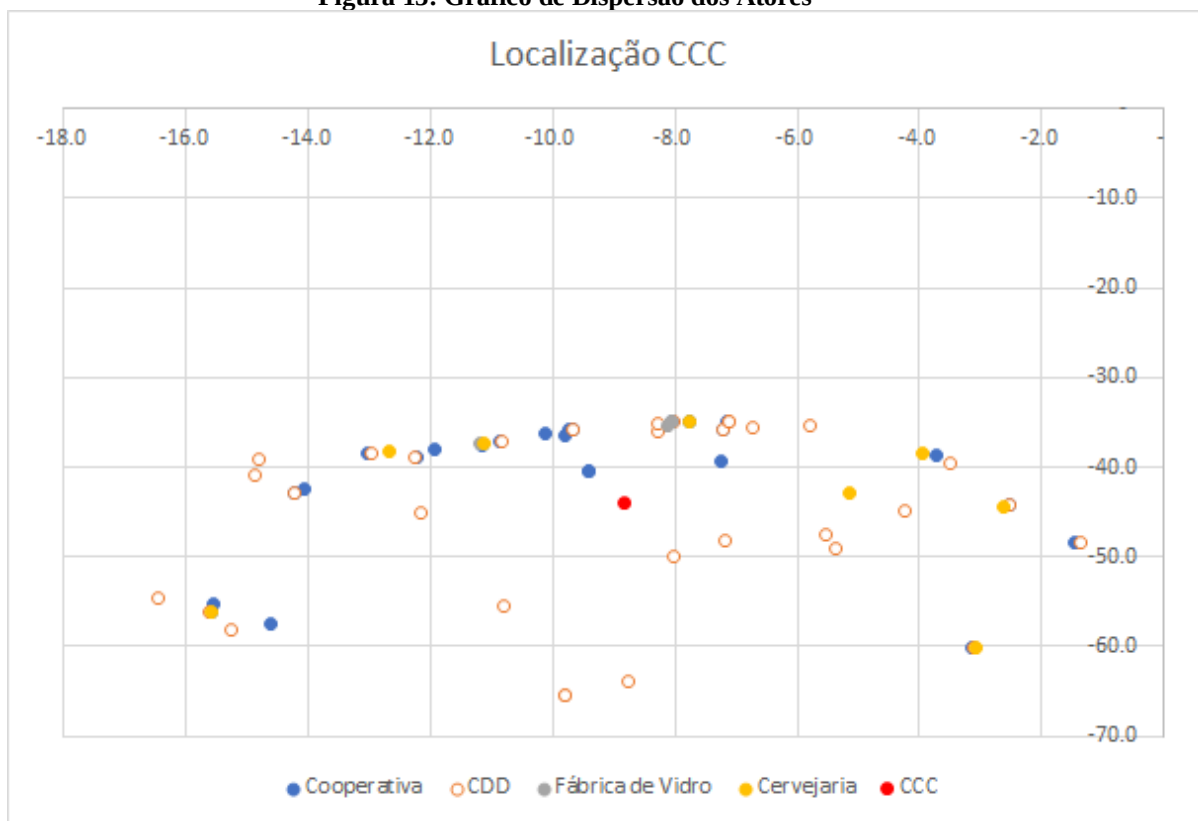
4.3. Resultados

4.3.1. Localização escolhida

Devido à análise de atores, entende-se que, na malha atual, é urgente um CCC que converse com as Regiões Norte e Nordeste. Quanto ao centro oeste, pela Tabela 23, faz sentido que os estados do Mato Grosso e Tocantins façam parte da malha do novo CCC, por terem maior proximidade com estados das Regiões Norte e Nordeste em sua maioria.

Assim, considerando apenas os atores nas regiões mencionadas e utilizando o método do centro gravitacional, o ponto selecionado fica nas coordenadas (-8.8574;-43,961), correspondente ao Município de Cristino Castro, no Estado do Piauí.

Figura 13: Gráfico de Dispersão dos Atores



Fonte: elaborada pela autora.

No censo de 2010, a cidade de Cristino Castro possuía uma população abaixo de 1000 habitantes, com IDH de 0,566, na faixa de baixo desenvolvimento. Sendo assim, do aspecto social, a criação de um CCC poderia ser benéfico através do potencial de geração de empregos para região.

É necessário, entretanto, um estudo mais profundo quanto a acessibilidade na região e outros aspectos de infraestrutura.

4.3.2. Análise de receita do centro de coleta de cacos

A diferença de custo entre um caco simples e um caco beneficiado fica em torno de R\$90,00 por tonelada⁶. Se assumirmos um CCC com capacidade de beneficiamento semelhante à que a Ambev já opera na AVR, teremos em torno de 6000 toneladas de vidro beneficiadas por mês.

⁶ Dados resultantes de levantamento interno realizado pelos especialistas de caco da Ambev.

Desta forma, estima-se que R\$54.000 possam ser gerados por mês em um CCC nos moldes atuais da Ambev⁷. Entretanto, já existem máquinas com maior capacidade de beneficiamento, cabendo à empresa a realização de análise de capacidade de obtenção de cacos (internos e externos) para escolha do sistema de beneficiamento ideal.

4.3.3. Proposta de melhoria para o modelo

Todos os cenários propostos no item quatro são resultantes de um levantamento de problemas, soluções e de boas práticas de economia circular não somente no Brasil, mas também internacionais. Sua concepção foi feita visando o ecossistema Ambev e suas possibilidades, assim como a matriz de avaliação de projetos foi criada especificamente para a empresa.

Por serem cenários de alto custo que afetam o longo prazo da companhia, recomenda-se que seja feita uma avaliação mais profunda antes da tomada de decisão, através, por exemplo, da criação de um comitê. O comitê poderia, inicialmente, rever os pesos da matriz de seleção e acrescentar outros cenários interessantes.

Caso a solução continue sendo a apresentada neste estudo, é importante que se considere que a localização encontrada é preliminar, uma sugestão proveniente dos dados que se pode utilizar em estudo público. Como mencionado, o fator de volume de caco foi uma maneira de realizar a análise de localidade sem necessidade de dados específicos e sigilosos da empresa. É necessário que se rode o modelo novamente, mas, desta vez, com o volume de toneladas preciso de cada ator. Outra melhoria interessante é o acréscimo de possíveis fornecedores de caco e cooperativas alcançáveis no sistema. Para tal, é necessário que a empresa converse com os envolvidos.

⁷ Dados resultantes de levantamento interno realizado pelos especialistas de caco da Ambev.

CONCLUSÕES

Desafios da logística reversa do vidro no Brasil

A preocupação com o impacto das ações humanas e consequente surgimento de modelos econômicos mais sustentáveis data da metade do Século XX, sendo que, apenas a partir de 1990, se concretiza em conceitos como o tripé da sustentabilidade e economia circular. Desta forma, toda a infraestrutura, serviços e produtos criados até então tiveram como intuito suprir as necessidades da economia linear, priorizando a facilidade do consumo em massa e a otimização da extração de matéria prima.

Seguindo essa lógica, as empresas se estabeleceram territorialmente de acordo com seus interesses particulares, principalmente a proximidade com os centros de consumo. O processo brasileiro não é diferente: sem uma visão de ecossistema integrado, fornecedores primários, secundários e consumidores se espalham na extensão territorial brasileira. A infraestrutura e logística da empresa Ambev ilustram esse fenômeno: mesmo sendo uma empresa pioneira no pilar socioambiental, esta preocupação começou a surgir há apenas três décadas, quando grande parte da sua infraestrutura já estava estabelecida.

No decorrer do estudo, dois grandes empecilhos à LR do vidro no Brasil se destacaram: por um lado, a logística de transporte do material e, por outro, a coleta do material para que este possa ser retornado.

Do ponto de vista da logística de transporte, a dispersão territorial e o tipo do material são fatores de impacto. A extensão territorial do país, somada ao não planejamento de infraestruturas que favoreçam o retorno do material ou descarte devido, representam aumento nos custos de transporte, além de gerar dificuldade no controle do descarte do material produzido. Este é frequentemente consumido e despejado em local muito distante do de produção. Além disso, o vidro, particularmente, é um material pesado e cortante, exigindo equipamentos específicos para seu manuseio e transporte.

Do ponto de vista da coleta, são inúmeros os obstáculos. Por um lado, a questão de política pública, que concentra a responsabilidade da coleta do vidro nos Municípios,

excluindo os grandes geradores no processo. Por outro, uma questão cultural e de educação: a importância e o incentivo ao bom descarte dos materiais recicláveis não é conhecimento democratizado no Brasil. Há ainda o difícil acesso (ou até o não acesso) a locais para descarte do material por parte do consumidor conscientizado. A histórica priorização de aterros sanitários na gestão dos resíduos também dificulta a reciclagem. Finalmente, comparando a geração de resíduos dos grandes produtores com a capacidade de coleta das cooperativas, conclui-se que as cooperativas, se formalizadas e bem geridas, são uma forma de inclusão social, mas dificilmente serão o fator decisivo para a economia circular. É responsabilidade do produtor viabilizar a LR e reciclagem, que precisa do mercado a seu favor para que funcione.

Oportunidades no Brasil

Em 2011, com a Lei nº 12.305/2010 a legislação ambiental brasileira deu um salto rumo à circularidade de sua economia. Particularmente, a obrigatoriedade da realização do processo de LR para grandes geradores, nos setores em que foi aplicada, gerou resultados muito satisfatórios. Entretanto, dez anos após a PNRS, o Brasil ainda enfrenta dificuldades na gestão de resíduos de vidro, com muitos obstáculos de infraestrutura, gestão, cultura.

Com a iminente publicação de decreto que vai estender a obrigação legal de responsabilidade compartilhada aos grandes geradores de vidro, o Brasil encontra-se em um momento muito oportuno para investimento em ações privadas e público-privadas voltadas à LR do vidro.

Para além do decreto, observa-se que o mercado deve caminhar em direção à sustentabilidade, pois, aqueles que não o seguirem, terão desvantagem competitiva. Exemplos disso são os incentivos do mercado financeiro (métricas ESG), preferência do cliente (consumidor verde), títulos do mercado de carbono.

Em cenário de interesse econômico das instituições privadas de incorporação ambiental no seu negócio, é importante a coordenação entre os atores da cadeia – municípios, grandes geradores, fornecedores, consumidores – para que se façam investimentos inteligentes e otimizados, focando nos dois grandes obstáculos à LR atual: logística e coleta.

O intuito do trabalho em questão foi contribuir em direção a essa coordenação, buscando, de dentro de uma das principais personagens na cadeia de suprimentos do vidro e da economia nacional, uma solução lógica e de investimento justificado do ponto de vista de interesses internos e externos. A partir da análise de cenários e decisão pela metodologia AHP, encontrou-se uma solução que poderá auxiliar na melhora logística do retorno dos cacos de vidro.

Resultados do estudo e recomendações de próximos passos

Dentre os grandes resultados do estudo, a proposição de uma maneira lógica de tomada de decisão para futuros projetos da empresa se destaca. A ideia de levar em consideração não apenas fatores de interesse da empresa – necessários para o convencimento dos grandes líderes a realizar o investimento – mas também fatores de importância dentro do cenário nacional e alinhados com a PNRS é essencial para todos que desejem pensar grandes projetos com incentivo privado. Primeiramente, a análise e detalhamento de cenários através dos pilares do tripé da sustentabilidade incentivaram o olhar e criação de projetos nessa multitude de fatores. De forma complementar, a escolha da metodologia AHP permitiu a estruturação de um problema complexo em critérios hierárquicos, facilitando a mensuração de características qualitativas observadas e a comparação de aspectos de natureza diferente de forma racional. Nas reuniões de estruturação dos critérios e ranqueamento dos cenários, o trabalho levou os gestores à reflexão e à discussão quanto à importância de cada critério no cenário atual.

Sabe-se que, para um investimento tão importante, outros atores da empresa deverão ser consultados, assim como uma busca interna por ideias de outros cenários a serem analisados. Ainda assim, recomenda-se que o cenário de centralização proposto por um CCC seja considerado, assim como uma priorização de projetos nas Regiões Nordeste e Norte, pela disparidade observada entre número de consumidores na região versus projetos e infraestruturas facilitadoras da LR que existem na região. Uma análise de viabilidade econômica da solução desejada deve ser realizada, porém, garantindo que se considerem fatores importantes de projetos sustentáveis não abordados em métodos tradicionais.

Finalmente, é importante pontuar que apenas a melhoria da logística não é suficiente para a economia circular do vidro. Mesmo que com a diminuição do custo do transporte, ainda é necessário o estudo de formas de melhoria e incentivo na coleta do material. Além disso, há no mercado de crédito de carbono um potencial muito grande de incentivo à coleta e realização da LR – uma possibilidade a ser estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E EFLUENTES – ABETRE. Aterros sanitários são responsáveis por 58% dos resíduos públicos no Brasil, mas 39% ainda vão para lixões. **Abetre**, São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <<https://abetre.org.br/aterros-sanitarios-sao-responsaveis-por-58-dos-residuos-publicos-no-brasil-mas-39-ainda-vao-para-lixoes/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**: 2020. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

ABIVIDRO. **Guia de reciclagem do vidro**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro-Guia-Reciclagem-do-Vidro.pdf>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

_____. Vidro: o resíduo infinitamente reciclável. **ABiVidro**, São Paulo, 7 de fev. de 2019. Disponível em: <<https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/>>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

AMATO NETO, João Amato. **Sustentabilidade & Produção**: Teoria e prática para uma gestão sustentável. São Paulo: Atlas, 2011.

AMBEV. **Relatorio de Sustentabilidade, 2019**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2020/05>>. Acesso em: 25 de nov. de 2021.

_____. **Relato Anual e de ESG Ambev 2020**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2021/05/Relato-Anual-e-ESG-Ambev-2020.pdf>>. Acesso em: 25 de jul. de 2021.

BANIHASHEMI, Taknaz Alsadat; FEI, Jiangang; CHEN, Peggy Shu-Lign. Exploring the relationship between reverse logistics and sustainability performance: A literature review. **Modern Supply Chain Research and Applications**, Bingley, v. 1, n. 1, p. 2-27, 2019. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MS CRA-03-2019-0009/full/pdf>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

BANDEIRA, Denise Lindstrom; BECKER, João Luiz; ROCHA, Amanda Kruse. Sistemática multicritério para priorização de embarques marítimos. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 108-130, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ram/a/Bqwj45QJ76jFdhmWtrwbqq/?lang=pt>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 de dez. de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 de ago. de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

COSENZA, José Paulo; ANDRADE, Eurídice Mamede de; ASSUNÇÃO, Gardênia Mendes de. Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 1-30, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/16147>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

BURT, David N.; DOBLER, Donald W.; STARLING, Stephen L. **World Class Supply Management: The Key to Supply Chain Management**. 7ª ed. Boston: McGraw Hill, 2002.

JEURISSEN, Ronald. John Elkington, Cannibals With Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. **Journal of Business Ethics**, Nova York, v. 23, p. 229-231. 2000. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006129603978>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

DAUHERTY, Patricia J. *et al.* Reverse logistics: superior performance through focused resource commitments to information technology. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Amsterdã, v. 41, n. 2, p. 77-92, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554504000195?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. Fundamentos da Administração da Produção. Porto Alegre: Bookman, 2009.

DIABAT, Ali; GOVINDAN, Kannan. An analysis of the drivers affecting the implementation of green supply chain management. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdã, v. 55, n. 6, p. 659-667, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344910002466?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

TOTVS, ESG: Conceito, como funciona e principais características. **TOTVS**, São Paulo, 10 de mai de 2021. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/business-performace/esg/>>. Acesso em: 20 de jul. de 2021.

FERDOUS, Wahid. *et al.* **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdã, v. 173, p. 1-13, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921003542>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

FEVE. Statistics. **FEVE**, Bruxelas, 1 de dez. de 2020. Disponível em: <<https://feve.org/about-glass/statistics/>>. Acesso em: 30 de jul. de 2021.

FURTADO, João Salvador. **Sustentabilidade empresarial: guia e práticas econômicas, ambientais e sociais**. Salvador: Centros de Estudos Ambientais, 2005.

GARCIA, Marcio Barreto dos Santos. Resíduos Sólidos: Responsabilidade Compartilhada. **Semioses**, Rio de Janeiro, v. 9 n. 2, p. 77-91, 2015. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/05/Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Responsabilidade-Compartilhada.pdf>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

GEISSDOERFER, M. *et al.* The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 143, p. 757-768, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616321023>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

GOMES, Luiz F. A. M.; ARAYA, Marcela C. G.; CARIGNANO, Claudia. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

KEENEY, Ralph L. **Value-focused thinking: a path to creative decision making**. Cambridge: Harvard University, 1992.

LAVNITCKI, Laís; BAUM, Camila Angelica; BECEGATO, Valter Antonio. Política Nacional dos Resíduos Sólidos: abordagem da problemática no Brasil e a situação na região sul. **Ambiente & Educação**, Carreiras, v. 23, n. 3, p. 379-401, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/7783>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

MAJDINASAB, Alireza YUAN, Qiuyan. Post-consumer cullet and potential engineering applications in North America. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdã, v. 147, p. 1-9, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919301715?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MAY, Peter (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

NEOGRID. Falta de cerveja nos supermercados brasileiros aumenta e bate novo recorde em novembro. **Neogrid**, 4 de jan. de 2021. Disponível em: <<https://www.neogrid.com/br/news/falta-de-cerveja-nos-supermercados-brasileiros-aumenta-e-bate-novo-recorde-em-novembro>>. Acesso em: 20 de mar. de 2021.

PEREIRA, Tatiana Cotta Gonçalves. Política Nacional de Resíduos Sólidos: nova regulamentação para um velho problema. **Direito e Justiça: Reflexões Sociojurídicas**, Erechim, v. 11, n. 17, 2011

PEREIRA NETO, Tiago José. A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Os Reflexos nas Cooperativas de Catadores e a Logística Reversa. **Revista Diálogo**, Canoas, n. 18, p. 77-96, 2011. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Dialogo/article/view/104/121>>. Acesso em: 29 de nov. de 2021.

RIBEIRO, M.C.; ALVES, A. Aplicação do Método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016. Disponível em: <<https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/988>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

SAATY, T. L. Rank generation, preservation, and reversal int the analytic hierarchy decision process. **Decision Sciences**, Hoboken, v. 18, n. 2, p.157-177, 1987. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1540-5915.1987.tb01514.x>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Amsterdã, v. 48 n. 1, p. 9-26, 1990. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037722179090057I>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill-Makron, 1991.

SHIMIZU, Tamio. **Decisão nas Organizações**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SHIN, Yong B. *et al.* A critical review of popular multi-criteria decision making methodologies. **Issues in Information Systems**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 358-365, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271526736_A_CRITICAL_REVIEW_OF_POPULAR_MULTI-CRITERIA_DECISION_MAKING_METHODLOGIES>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

SILVA, Jonathan Alessandro da Rosa. **Créditos de Logística Reversa: Atuação e Impactos na Logística Reversa Brasileira e Cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SU, Nan. Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdã, v. 35, n. 4, p. 259-274, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344902000071?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 de nov. de 2021.

TESTA, Mario *et al.* Long-Term Sustainability from the Perspective of Cullet Recycling in the Container Glass Industry: Evidence from Italy. **Sustainability**, Basileia, v. 9, n. 10, p. 1752, 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1752>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

TORRES, A. F. R.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. Entendendo a Estrutura da Cadeia Reversa das Garrafas de Vidro em São Paulo. In: INTERNATIONAL WORKSHOP: ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 7th, 2018, Barranquilla. **Anais...** Barranquilla, 2018. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/7th/files/sessoes/6A/6/torres_and_goncalves-dias_academic.pdf>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.

VARGAS, Ricardo. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: PMI GLOBAL

CONGRESS, 2010, Washington, D.C. **Report...** Washington, D.C., 2010, p. 2-23. Disponível em: <<https://ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2021.