



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE MATERIAIS



ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

IMPACTO AMBIENTAL DE GARRAFAS DE ÁGUA NA CIDADE DE PORTO ALEGRE E VIABILIZAÇÃO
DO USO DE ÁGUA ENCANADA

Pablo Ribeiro Dias

172507

Orientadora: Dr.^a Andréa Moura Bernardes

Julho/2013

IMPACTO AMBIENTAL DE GARRAFAS DE ÁGUA NA CIDADE DE PORTO ALEGRE E VIABILIZAÇÃO
DO USO DE ÁGUA ENCANADA.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado no mês de Julho de
2013 para a obtenção do grau de
Engenheiro de Materiais.
Orientadora: Dr.^a Andréa Moura Bernardes

“The General Assembly,...

...Recognizes the right to safe and clean drinking water and sanitation as a human right that is essential for the full enjoyment of life and all human rights;”

ONU – Resolução A/RES/64/292, Julho de 2010

... Demoramos mais de dois mil anos
para reconhecer esse direito...

Agradecimentos

Agradeço ao governo federal por ter me proporcionado um ensino gratuito e de qualidade e por ter me proporcionado a oportunidade de ir estudar no exterior para expandir meus horizontes; sem essa chance, esse trabalho não existiria.

Agradeço à minha família por ter me proporcionado um ambiente propício e fértil para meu estudo e aprendizado.

Nota Pessoal (Minha Motivação)

Minha vivência no exterior me ensinou a enxergar as situações de diversos pontos de vista. A força que a nossa cultura tem sobre nós é algo impressionante; muito da forma como pensamos e como agimos vem dessa cultura e da sociedade à nossa volta. Só tendo uma mente aberta e colocando-se em outras perspectivas é que conseguimos realmente avaliar as diferentes situações racionalmente.

Na minha última viagem, morei um ano nos Estados Unidos da América em uma pequena cidade universitária. Entre muitos choques de realidade, o que mais me impressionou foi a quantidade de resíduo (lixo) que aquela sociedade gerava diariamente. Todos os refeitórios/restaurantes da universidade (e a maioria dos refeitórios da cidade) utilizavam recipientes descartáveis, canudos de plástico descartáveis, talhares descartáveis, etc. Não existia outra opção a não ser produzir uma enorme quantidade de lixo a cada refeição. Aquilo me deixou tão impressionado e revoltado que me inspirou a fazer um trabalho sobre esse assunto e usar os copos descartáveis como exemplo para todo o resto. Consegui provar para meus colegas, professores e amigos que, ao deixarmos de utilizar um canudo e uma tampa (do copo) por refeição, estaríamos reduzindo em 40% as emissões de dióxido de carbono e o gasto energético envolvidos naquele sistema (copo, tampa e canudo). Entretanto, o mais interessante não foi só provar a eficácia de deixar de gerar aquele resíduo e aquelas emissões; o mais interessante foi mostrar para uma sociedade que eles não precisavam usar aquilo, não precisavam de canudos ou tampas. Consegui fazer com que percebessem que eles usavam aquilo simplesmente porque todos ao seu redor utilizavam também.

Quando voltei ao Brasil, tive novamente um choque de realidade, mas dessa vez com a minha própria cultura. Da mesma maneira que aquele povo nunca tinha parado para pensar e percebido quão inútil era aquele canudo e aquela tampa, nós também temos diversos hábitos e manias que são prejudiciais ao meio e que poderiam ser modificadas sem prejuízos para nós mesmos. Então, dessa vez reverti a lógica e importei da sociedade norte americana uma parte da cultura deles que não é aplicada no Brasil: a água nos restaurantes. Sempre que pedimos água em um restaurante nos Estados Unidos, somos atendidos com água da torneira num copo com gelo. Isso é um costume, uma cortesia e não possui custo monetário para o cliente. Se o cliente quiser água de garrafa pode pedi-la. No Brasil, não temos esse costume. Mais do que isso, não temos essa opção. Água é de garrafa e ponto. Os restaurantes não servem água da torneira e ainda por cima se negam com medo de prejudicar o cliente e sofrerem processos judiciais. O resultado é um prejuízo financeiro para o cliente e, principalmente, para o ambiente que sofre consequências para fornecer um produto já disponível e acessível para a maioria dos municípios brasileiros: água.

Sumário

Resumo.....	1
1. Introdução.....	2
2. Objetivos	3
3. Fundamentação Teórica.....	4
3.1 PET.....	4
3.2 Embalagens feitas de PET.....	5
3.3 Reciclagem do PET.....	5
3.4 PET no Brasil	6
3.5 Parâmetro Mundial.....	7
3.6 Impacto Ambiental do PET.....	9
3.7 O Efeito Estufa e a Pegada de Carbono.....	10
3.8 Regularização da água no Brasil.....	11
3.9 O papel do DMAE	11
3.10 Potabilidade da Água	12
3.11 Fiscalização.....	13
3.12 Qualidade da água de garrafa	13
4. Materiais e Métodos	16
5. Resultados	21
6. Conclusão	27
7. Trabalhos Futuros.....	28
8. Bibliografia	29

Resumo

Esse trabalho surge com o intuito de minimizar o impacto ambiental gerado na cidade de Porto Alegre através de uma mudança de cultura. Os procedimentos e dados obtidos aqui têm por objetivo dar fundamento a uma ideia de que foi importada dos países desenvolvidos: tomar água encanada (da torneira) ao invés de tomar água dita industrializada (da garrafa). Neste trabalho testou-se a potabilidade da água da torneira de diversos restaurantes da cidade de Porto Alegre, a fim de comprovar que essa poderia ser servida aos clientes sem prejuízos à saúde. Além disso, foram coletados os dados e as informações necessários para calcular qual o impacto ambiental em termos de gasto energético e CO₂ da produção, transporte e disposição das garrafas utilizadas em cada um dos estabelecimentos. Uma entrevista foi feita e foram coletadas amostras de água de seis estabelecimentos de Porto Alegre. As amostras foram testadas quanto à potabilidade e 100% (seis de seis) geraram resultados positivos. Os resultados em termos de impacto ambiental revelam que a substituição de uma forma pela outra é benéfica para o ambiente e deveria entrar em vigor e se expandir por todo país.

1. Introdução

As palavras sustentabilidade e preservação vêm tendo destaque cada vez maior desde o fim do século XX. Foi provado que nosso modo de vida atual não é sustentável e que nossas ações aceleram cada vez mais o fim do equilíbrio da vida na terra. Pensando nisso, várias propostas e soluções foram e são criadas a cada dia, milhares de pesquisadores e cientistas trabalham buscando um planeta sustentável sem retrocesso da tecnologia. Acredito que a ação de mudança para um planeta melhor em termos ambientais mais importantes é a que vem de cada indivíduo, é a conscientização de que cada ser tem seu papel em proteger e lutar pelo equilíbrio natural da terra.

O uso de garrafas PET também é um tema que tem estado na moda nos últimos anos. Propostas para reciclagem e reutilização desse polímero têm sido publicadas continuamente. Esse trabalho, entretanto, não visa à reciclagem ou reutilização, mas sim à redução desse material, pois acredito que estamos utilizando-o muito além do necessário e muitas vezes como embalagem para produtos que não precisam ser embalados, como a água potável.

A água é uma substância essencial para os seres humanos e o uso de embalagens plásticas para a água vem, de certa forma, privatizando esse recurso. O DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgotos) é o órgão responsável pelo tratamento e pela distribuição da água potável de Porto Alegre. Segundo esse órgão, 100% dos portoalegrenses têm acesso à água potável, ou seja, limpa e saudável dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo ministério da saúde. A partir dessa assertiva, pode-se concluir que qualquer água proveniente do DMAE pode ser ingerida sem danos à saúde. Por que, então, a população paga por água mineral industrializada? Por que gerar mais resíduo polimérico para adquirir algo que já está disponível?

Este trabalho visa provar que a água canalizada (“da torneira”) em restaurantes da cidade de Porto Alegre tem qualidade suficiente para ser consumida. Também visa mostrar quantitativamente o impacto ambiental das embalagens de água desses estabelecimentos, em termos de energia consumida e CO₂ emitido. Mais do que isso, esse trabalho visa quebrar um paradigma e usar o exemplo dos restaurantes para criar uma cultura de que a água é um recurso ao qual nós já temos acesso e direito e que não devemos pagar por ela.

2. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo:

- Comprovar que a água encanada ou 'da torneira' da cidade de Porto Alegre é potável e que ela pode ser servida em estabelecimentos para o público sem necessidade de filtro.
- Quantificar o gasto energético na produção, transporte e disposição das garrafas de água desses estabelecimentos.
- Quantificar a emissão de dióxido de carbono na produção, transporte e disposição das garrafas de água desses estabelecimentos.
- Apresentar à população de Porto Alegre uma alternativa ecológica e simples para redução de resíduo e poluição.

3. Fundamentação Teórica

3.1 PET

O PET (polietileno de tereftalato) é um polímero termoplástico que é caracterizado como um poliéster aromático linear; seu nome vem da junção das palavras “polimerização” e “esterificação” (1, 2).

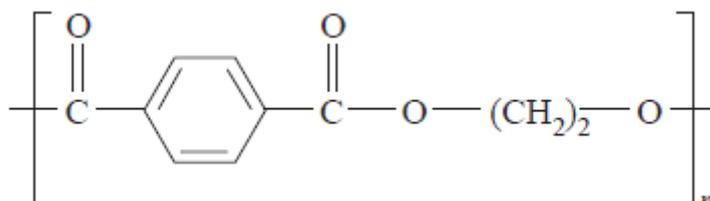


Figura 1: Estrutura Molecular do PET (2)

A fabricação de PET ocorre em diferentes etapas; a primeira é a pré-polimerização onde produz-se o bis(2hidroxi-etileno) (BHET). Essa etapa pode ser feita através de uma reação de esterificação direta ou através de uma reação de transesterificação, conforme o esquema abaixo.

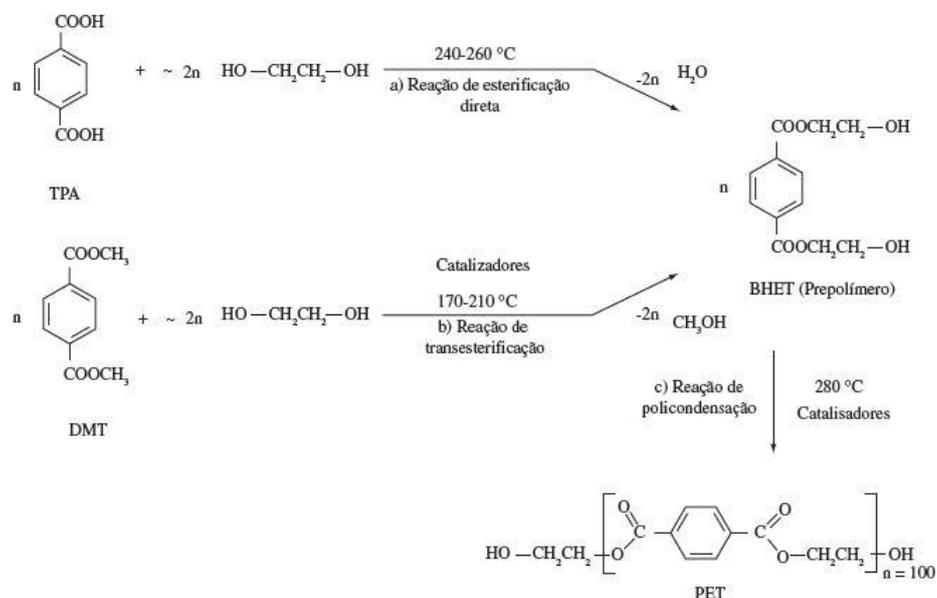


Figura 2: Mecanismos de produção do PET (3)

Uma vez obtido o BHET, ocorre a etapa da reação de policondensação, seguida da etapa de polimerização no estado-sólido. Essa última, visa “...aumentar o grau de cristalinidade do material em um intervalo de tempo curto sob alto vácuo ou com um sistema de atmosfera inerte sob agitação, evitando assim o processo de sinterização, no qual as partículas começam a aderir umas as outras...” (3).

3.2 Embalagens feitas de PET

As propriedades do PET o tornam perfeito para desempenhar o papel de embalagem de bebidas, dentre elas destacam-se algumas: não tem alto custo de matéria prima, é fácil de moldar, possui boa resistência mecânica na temperatura de uso, é possível fazê-lo transparente (importante para que o cliente veja a bebida) e impermeável à água e ao dióxido de carbono (importante para bebidas carbonatadas) (1, 2). Outra propriedade que o diferencia em relação a outros materiais é a leveza: “A leveza do PET permite produzir garrafas e frascos de alta capacidade volumétrica, com perfeita manutenção da segurança em todas as etapas (envase, empacotamento, distribuição, utilização final pelo consumidor)” (4).

“...O PET tornou-se disponível nos anos 60 como matéria prima para a embalagem, sendo amplamente utilizado para o acondicionamento de alimentos. Em 1962, surgiu o primeiro poliéster pneumático utilizado pela Goodyear e só nos anos 70 o processo de injeção e sopro permitiu a introdução do PET na aplicação de garrafas, revolucionando o mercado de embalagens, principalmente o segmento de bebidas.” (5).

A preocupação ambiental dos tempos modernos também trouxe à luz duas características importantes do PET: sua leveza acaba facilitando o transporte e gerando uma economia de combustível, emissões devido ao transporte, etc. A segunda característica é que o PET é um polímero termoplástico e, portanto, passível de ser reciclado.

3.3 Reciclagem do PET

A reciclagem do PET pode ser representada através de três processos diferentes: reciclagem química, mecânica ou energética. No processo energético, queima-se o polímero para obter-se energia, pois esse possui alto poder calorífico. Entretanto, a queima do produto gera emissão de dióxidos de carbono e outros gases tóxicos. (6, 7). No processo de reciclagem química, o PET é submetido a reações para obter-se resina de poliéster, que pode ser usada como fibra na confecção de roupas. O processo mecânico é o mais utilizado no Brasil e mantém uma boa qualidade de produto (5).

Segundo a ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET) este processo pode ser dividido em três etapas: recuperação, revalorização e transformação. A recuperação envolve toda a parte de coleta do lixo e separação. Nesta etapa, faz-se a triagem dos produtos de acordo com sua cor, conteúdo e origem, faz-se a seleção dos materiais e faz-se a prensagem a fim de reduzir o volume e facilitar o transporte. Esse processo de prensagem resulta num fardo comercial de sucata PET. A fase de recuperação acaba no momento em que se obtém a sucata comercial; desse ponto em diante, começa a fase de revalorização. Primeiramente, na revalorização, lava-se toda sucata, em seguida, são removidos contaminantes e quaisquer outros materiais que possam estar presentes. A sucata então é moída até obter granulometria adequada e, em seguida, é enxaguada e secada apropriadamente. Quando a sucata de PET torna-se matéria prima para a produção de novos produtos, acaba a fase de revalorização e começa a fase de transformação. A fase de transformação pode ocorrer de diversas maneiras, de acordo com o produto final desejado. O processo de extrusão, por exemplo, gera fibras de poliéster que podem ser usadas na indústria têxtil para a confecção de roupas. Outros produtos incluem revestimentos automotivos, vassouras e, inclusive, novas garrafas (4).

A imagem abaixo apresenta de forma esquemática o processo de revalorização:

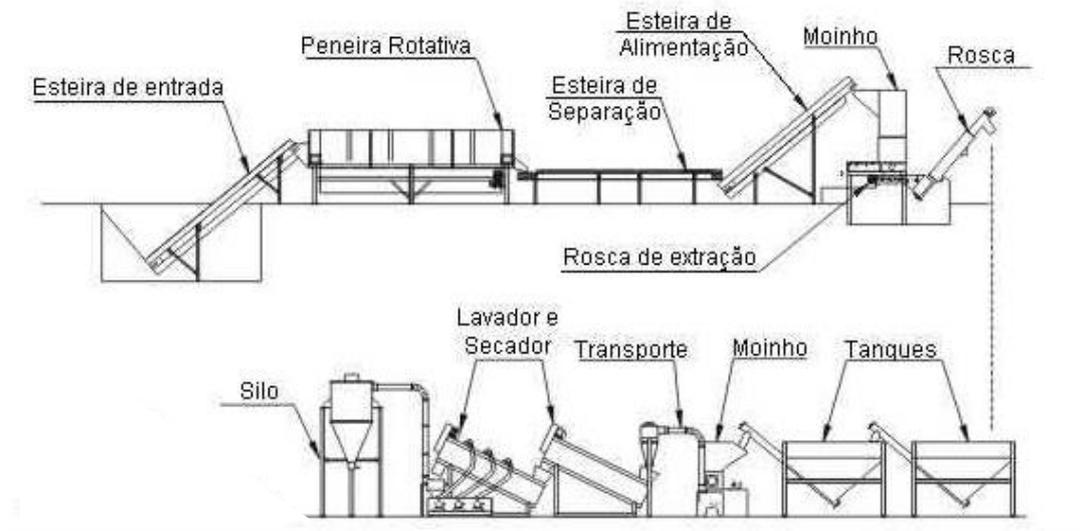


Figura 3: Linha de Moagem e Lavagem de PET - "Revalorização" (5)

3.4 PET no Brasil

O PET chegou ao Brasil no ano de 1988, mas passou a ser amplamente utilizado no mercado de embalagens somente em 1993 (5). Hoje em dia, a grande maioria das garrafas de bebida é de PET. A produção de garrafas PET no Brasil em 2007 foi estimada em 9 bilhões ao ano, sendo que 53% desse montante não são reciclados (8). Portanto, aproximadamente 4,5 bilhões de unidades ao ano são descartadas na natureza.

“No Brasil, a principal aplicação do PET é na indústria de embalagens (71%). O segmento do mercado nacional da indústria alimentícia e de embalagens corresponde a 32% do mercado brasileiro de polímeros, envolvendo diretamente o uso do PET para embalagens de bebidas carbonatadas...” (3).

A tabela 1 mostra que o consumo de PET para embalagens teve um acréscimo de mais de 90% entre os anos de 1999 e 2009.

Tabela 1: Consumo (em massa) da resina PET para produção de embalagens no Brasil por ano (4)

Ano	Consumo para Embalagens
1994	80.000 toneladas
1995	120.000 toneladas
1996	150.000 toneladas
1997	185.700 toneladas
1998	223.600 toneladas
1999	244.800 toneladas
2000	255.100 toneladas
2001	270.000 toneladas
2002	300.000 toneladas
2003	330.000 toneladas
2004	360.000 toneladas
2005	374.000 toneladas
2006	378.000 toneladas
2007	432.000 toneladas
2008	462.000 toneladas
2009	471.000 toneladas

3.5 Parâmetro Mundial

O consumo de água industrializada tem crescido muito nos últimos anos. Os países ditos “em desenvolvimento” como China, Brasil e Indonésia são os que apresentaram maior aumento no período de 1999 a 2009. No Brasil, as vendas de água mineral apresentaram um crescimento de 500% nos últimos 19 anos, segundo a Abinam (Associação Brasileira de Indústrias de Águas Minerais) (9, 10). Esse aumento está relacionado ao crescimento populacional (que foi de aproximadamente 22% nesse período) e ao desenvolvimento econômico (11, 12). Na Itália, o consumo de água de garrafa saltou de 47 litros per capita para 192 litros num período de 30 anos. (13). O mercado mundial de águas engarrafadas movimentou 232 bilhões de litros no ano de 2011, um aumento de 9% em relação a 2010. Os países de maior consumo no ano de 2011 foram os da América do Norte, Oeste Europeu e Ásia (14), e os consumos por país podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Consumo de água industrializada (de garrafa) per capita nos países líderes de 1999-2009 (13).

Ordem	País	Volume (Litros)		
		1999	2004	2009
1	México	117,4	168,5	234,3
2	Itália	158,8	183,6	191,9
3	Emirados Árabes	84,2	105,6	151,8
4	Bélgica-Luxemburgo	121,4	148,0	138,9
5	Alemanha	101,0	124,9	130,6
6	França	117,6	141,6	127,9
7	Líbano	71,3	101,5	120,4
8	Espanha	100,8	136,7	118,9
9	Hungria	29,3	76,1	110,9
10	Estados Unidos	61,7	87,8	104,5
11	Eslovênia	47,3	80,3	102,6
12	Tailândia	66,8	76,5	99,9
13	Arábia Saudita	77,0	87,8	99,9
14	Suíça	91,3	99,6	98,4
15	Croácia	39,1	68,5	96,9
16	Catar	74,3	78,0	96,6
17	Chipre	65,7	95,0	92,7
18	Áustria	74,8	82,1	89,0
19	República Tcheca	62,1	84,0	88,2
20	Hong Kong	-	58,3	82,9

Acredita-se que a falta de água acessível e de qualidade levou ao crescimento da busca por água de garrafa porque os consumidores acreditam que esta é saudável, pura e possui um gosto bom. Esses fatores acarretam em um aumento de vendas constante, mesmo com aumento do preço que chega a ser abusivo se comparado à água de torneira (11). Uma pesquisa realizada nos Estados Unidos relata que não há provas científicas suficientes para que se conclua que o gosto da água de garrafa seja melhor do que o da água encanada. Entretanto, a pesquisa aponta o cloro como substância que piora o gosto da água. A cloração é um processo geralmente utilizado pelos departamentos responsáveis pelo tratamento de água por ser eficaz e barato, enquanto que algumas empresas privadas de água de garrafa usam ozônio ou radiação ultravioleta no processo de purificação da água (15). Outro estudo, realizado no Reino Unido e em Portugal, explora a percepção que a população dessas localidades têm ao beber água. Os resultados revelam que a percepção em relação à qualidade da água está diretamente relacionada a diversos fatores, entre eles, o gosto da água e a confiança nas empresas que comercializam água (16). O panorama mundial da atualidade é contraditório: que os países com a água de torneira mais saudável para consumo são os que mais consomem água de garrafa (17).

O Brasil, apesar de não estar entre os primeiros na tabela 2, apresenta um crescimento no consumo de água engarrafada considerável. Yara Kulaif, geóloga do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), afirma: “O consumo de água mineral e potável de mesa

engarrafada no Brasil tem crescido rapidamente nos últimos anos e a tendência é a continuidade deste crescimento” A companhia de pesquisa de recursos minerais (CPRM) afirma que entre 1996 e 2007, o consumo per capita passou de 11,54 litros por habitante ao ano para 20,68. (18). A figura abaixo mostra essa evolução:

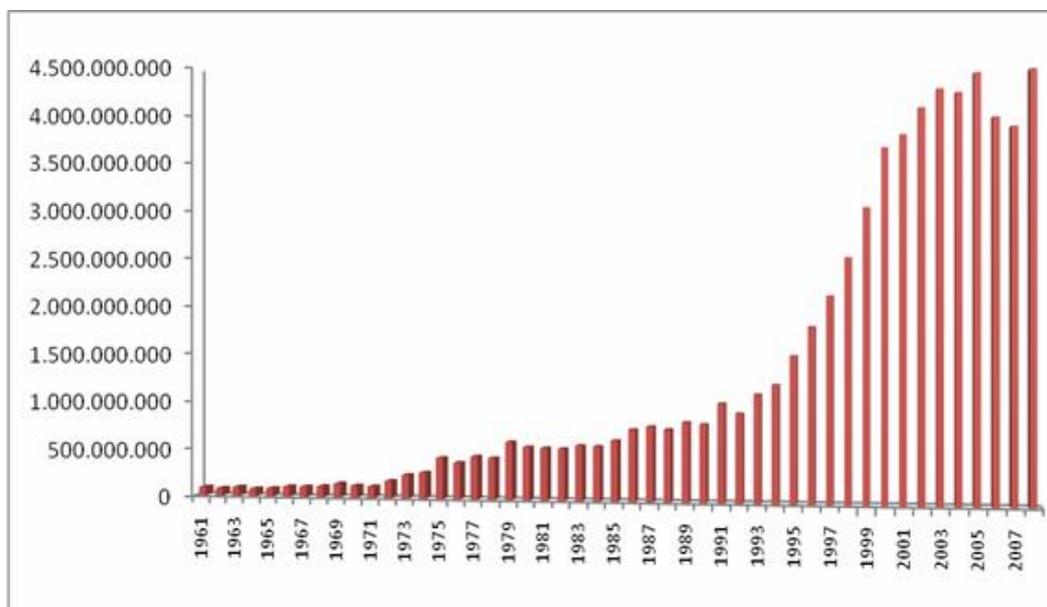


Figura 4: Evolução da produção brasileira de água mineral e potável de mesa envasada de 1961 a 2008 (1.00 litros) (18)

Segundo a CPRM, esse aumento é devido à percepção da população de que a água envasada é pura e de melhor qualidade em relação à água distribuída na rede pública (encanada), mas destaca que fatores sazonais têm forte influência nesse aspecto. A produção brasileira de água mineral engarrafada no ano de 2011 foi estimada em 6,2 bilhões de litros, enquanto aproximadamente 2 bilhões de litros foram importados. As importações vêm principalmente da França (47%) e da Itália (46%) (14).

3.6 Impacto Ambiental do PET

A análise do impacto ambiental de um determinado material deve levar em conta toda sua vida, desde a extração da matéria prima e o consumo de recursos naturais para tal (energia, água, etc), até seu destino após o uso. Um estudo que comparou o ciclo de vida das embalagens PET, alumínio e vidro, apontou o PET como o que causa maiores impactos ambientais (19).

No caso de polímeros como o PET, seu ciclo começa na extração do petróleo (recurso natural não renovável), envolve o transporte do óleo, o processo de fabricação da resina PET, o processo de conformação do produto, o processo de lavagem, o transporte necessário do produto, o uso, o descarte, o transporte do resíduo, as consequências do destino final do resíduo, os efluentes e emissões gerados em todo este ciclo, entre outros (20). Na fase de descarte, há diversas vias que o resíduo pode seguir, entre elas destacam-se o encaminhamento para aterros sanitários, a reciclagem (por qualquer dos métodos citados em 3.3) e o descarte impróprio (diretamente na natureza). Esse último tem consequências diretas no meio ambiente, causa poluição de rios, auxilia na formação de enchentes, serve de

alimento para muitos animais que comem resíduos plásticos confundindo-os com comida. Além disso, partículas de plástico em altas concentrações no oceano acabam absorvendo e adsorvendo poluentes orgânicos persistentes (POPs) (21).

Os resíduos à base de PET, em geral, levam muito tempo para sofrerem degradação (6, 7). Isso torna esse resíduo um problema ambiental mesmo quando reciclado, pois o processo de reciclagem é questionado pelos especialistas devido ao seu alto consumo de água e energia. “A reciclagem tem um custo muito alto para o ambiente” (8), sendo assim, a melhor alternativa é evitar o seu uso ao máximo.

3.7 O Efeito Estufa e a Pegada de Carbono

“A atmosfera terrestre é constituída de gases que são relativamente transparentes à radiação solar, enquanto absorvem grande parte da radiação emitida pela superfície aquecida da Terra. Isso faz com que sua superfície tenha uma temperatura maior do que se não houvesse a atmosfera. Tal processo é conhecido como Efeito Estufa” (22). O efeito estufa é um fenômeno natural que sempre esteve presente no planeta terra e é um dos responsáveis pelo planeta ser um local habitável para muitas espécies.

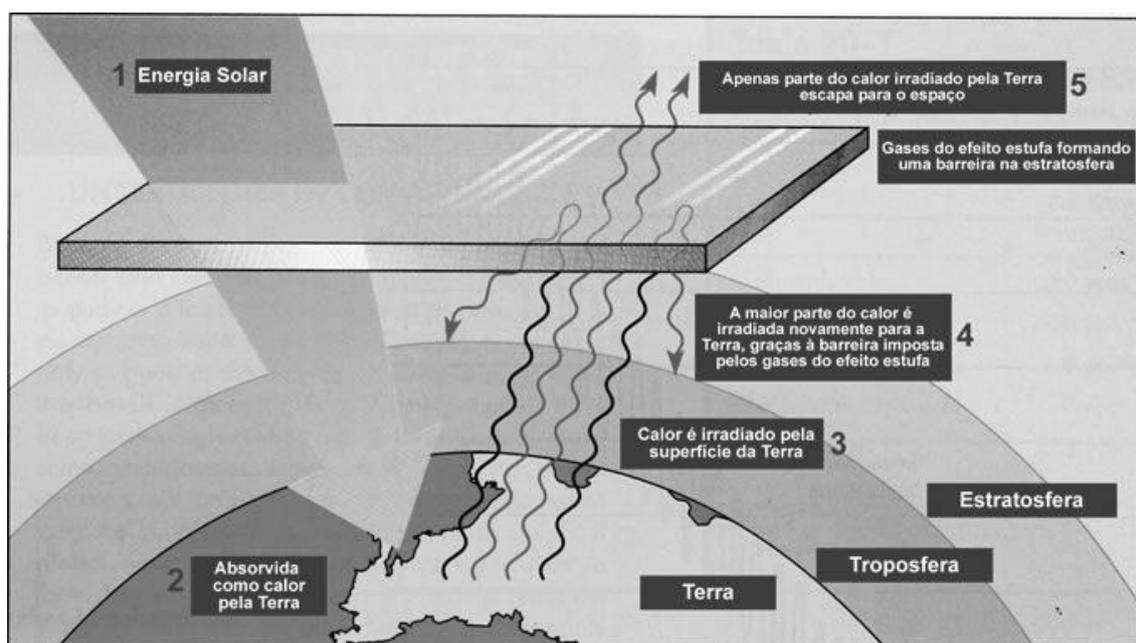


Figura 5: Ilustração esquemática do funcionamento do efeito estufa (23)

O motivo que torna o efeito estufa uma preocupação nos dias de hoje é o desequilíbrio que as ações do ser humano têm causado. O aumento significativo das emissões de dióxido de carbono e de outros gases denominados GHG (*Green House Gases*) intensifica o efeito estufa e faz com que, gradativamente, a temperatura do planeta terra suba. Esse desequilíbrio térmico gera diversas consequências ambientais, muitas delas irreversíveis. Portanto, há um entendimento comum entre os cientistas de hoje de que se deve controlar as emissões de GHG e de que se deve identificar todos os processos que geram esses gases a fim de poder melhor entender a origem, contabilizar e minimizar essas emissões. Por esse motivo, a

emissão de GHG é um critério de avaliação do desempenho ambiental de produtos e atividades nos dias de hoje (24).

A fim de quantificar as emissões de dióxido de carbono e de desenvolver um conceito que acompanhe o ciclo de vida completo dos produtos e ações modernas, criou-se o conceito da pegada de carbono (“Carbon Footprint”, em inglês). Segundo Wiedmann and Minx (2008), a pegada de carbono é uma medida do total de dióxido de carbono emitido diretamente ou indiretamente por uma atividade ou por um produto acumulado ao longo de todos os estágios do seu ciclo de vida. Portanto, mesmo sabendo-se que há outros gases que contribuem para a intensificação do efeito estufa, a pegada de carbono é um conceito que abrange somente o dióxido de carbono. Ressalta-se, ainda, que as unidades adotadas para a pegada de carbono são unidades mássicas (kg, t, etc) (25).

3.8 Regularização da água no Brasil

A ANA (Agência Nacional de Águas) é o órgão federal que regulariza o uso de água no país, entretanto, a qualidade da água e saneamento não são de responsabilidade do governo federal. Segundo a própria ANA “...a prestação dos serviços de saneamento, diferentemente dos serviços de energia elétrica ou os de telecomunicações, não é regulada em nível federal. Conforme estabelecido na Constituição Federal, na maioria das situações, eles estão sob responsabilidade do poder local. Assim sendo, não é competência da ANA fiscalizar a prestação dos serviços de saneamento à população. Essa é uma competência dos “titulares” do serviço de saneamento, ou seja, dos próprios municípios” (26). Sendo assim, todo processo de tratamento e regularização da água da cidade de Porto Alegre fica sob responsabilidade do DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgotos).

3.9 O papel do DMAE

Em Porto Alegre, o processo de tratamento de água do DMAE dá-se da seguinte forma: a água bruta é captada no Lago Guaíba e na Represa da Lomba do Sabão. Essa sofre um pré-tratamento pela aplicação de agentes oxidantes e carvão ativado, que reduzem a quantidade de matéria orgânica presente. A fase seguinte ocorre na estação de tratamento de água. Um agente coagulante é adicionado para que partículas sólidas em suspensão, como sujeira e microrganismos, aglutinem e depois decantem. Em seguida, filtra-se as partículas menores que não decantaram. A fase seguinte é a cloração: adição de cloro, que tem como consequência a desinfecção da água e uma diminuição do seu pH. Essa fase é a responsável pela eliminação da maioria dos microrganismos ainda presentes. A adição de agentes alcalinizantes, posteriormente, faz com que a água retorne ao seu pH natural. A última parte é a fluoretação, onde adiciona-se flúor à água para prevenção de cárie dentária (27).

Uma vez tratada, a água é armazenada em reservatórios e depois distribuída para a cidade. Nesta etapa, a água pode tanto ir diretamente para a torneira dos usuários quanto para caixas d’água. No momento em que a água chega à caixa d’água dos usuários, ela deixa de ser responsabilidade do DMAE e passa a ser responsabilidade dos próprios donos das caixas. Nesta etapa do processo há grandes chances de ocorrer contaminação porque os usuários nem sempre têm o cuidado necessário com suas caixas d’água. Contaminações

relacionadas à corrosão ou falta de limpeza dos reservatórios faz com que a crença da água de ‘torneira’ não ser potável se dissemine.

Segundo o DMAE, a distribuição é feita por tubulações de diversos materiais diferentes, incluindo aço galvanizado, ferro fundido, policloreto de vinila (PVC) e polietileno de alta densidade (PEAD). O planejamento do departamento inclui a substituição das redes de outros materiais por polímeros durante os próximos 20 anos.

3.10 Potabilidade da Água

A portaria do Ministério da Saúde (MS) número 2914/2011 é a que define os padrões de potabilidade da água no Brasil (28): “Art. 2º Esta Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água.”. Segundo essa Portaria, os parâmetros analíticos a serem avaliados em água tratada incluem Parâmetros Microbiológicos (Anexo I), Substâncias Químicas que representam risco à saúde (Inorgânicas, Orgânicas, Agrotóxicos, Desinfetantes e Produtos Secundários da Desinfecção) (Anexo VII), Cianotoxinas (Anexo VIII), Compostos Radioativos (Anexo IX), e compostos considerados no Padrão Organoléptico de Potabilidade (Anexo X). Quando se trata de água proveniente de sistemas de distribuição, um dos critérios importantes citados é a contagem de bactérias heterotróficas “Art. 28. A determinação de bactérias heterotróficas deve ser realizada como um dos parâmetros para avaliar a integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).” (28).

A tabela 3 mostra alguns dos parâmetros da Portaria 2914/2011 citados no anexo I para microrganismos patogênicos:

Tabela 3: Padrão microbiológico da água para consumo humano (28).

Tipo de água		Parâmetro		VMP ⁽¹⁾
Água para consumo humano		Escherichia coli ⁽²⁾		Ausência em 100mL
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais ⁽³⁾		Ausência em 100mL
		Escherichia coli		Ausência em 100mL
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	Coliformes totais ⁽⁴⁾	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

NOTAS: (1) Valor máximo permitido. (2) Indicador de contaminação fecal. (3) Indicador de eficiência de tratamento. (4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Quanto ao papel do cloro na potabilidade da água, cita-se: “Um dos mais importantes atributos de um desinfetante é sua capacidade de manter residuais minimamente estáveis após sua aplicação e reações na água, sendo esta uma das principais vantagens do cloro. Na saída do tanque de contato, a medida do cloro residual cumpre um papel de indicador da

eficiência da desinfecção, devendo ser observado um mínimo de 0,5mg/L de cloro livre. No sistema de distribuição, a manutenção de residuais de cloro tem por objetivo prevenir a pós-contaminação, sendo sua medida também um indicador da segurança da água distribuída. No sistema de distribuição, deve ser mantido um teor de cloro residual livre de 0,2 mg/L” (29,28).

3.11 Fiscalização

A fiscalização do processo fica por conta do ministério da saúde: “Art. 43. Cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio da SVS/MS, e às Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal dos Municípios, ou órgãos equivalentes, assegurar o cumprimento desta Portaria.” (28).

Se forem detectadas amostras fora da regulamentação da Portaria número 2914/2011, os responsáveis pelo sistema de abastecimento de água serão penalizados de acordo com a Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977. Entre outras penas, está prevista a suspensão das vendas, apreensão do produto e multa, que pode ir de R\$2.000,00 para infrações leves até R\$200.000,00 para infrações gravíssimas (30).

3.12 Qualidade da água de garrafa

A categoria “água de garrafa” tem duas classificações: água mineral ou água potável de mesa. Ambas são definidas pela lei número 7.841, de 1945. As águas minerais são “aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuem composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa”. As águas potáveis de mesa são “as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas, que preencham tão somente as condições de potabilidade para a região” (31).

Diferentes artigos e pesquisas têm sido realizados com o objetivo de comparar a qualidade da água encanada com a água de garrafa. A Itália tem se destacado nessas avaliações e várias publicações apresentam resultados desta comparação. Cidu et al. (32) estudaram 37 amostras de água industrializada (de garrafa) e 15 amostras de água da torneira fornecidas pela rede pública na Itália e concluíram que a qualidade da água industrializada nem sempre é superior a da água de torneira e que a preocupação que a população geralmente tem quanto à água canalizada municipal não é justificável. Botto et al. (33) realizaram outro estudo na Itália que teve como objetivo identificar o gasto total de água necessário para prover uma quantidade de água relativa para o consumo, ou seja, quantos litros são efetivamente usados de água da torneira ou de água de garrafa para prover alguém com 1,5 litros de água. O resultado obtido foi que a água de torneira tem um gasto efetivo menor quando contabilizada a água cinza utilizada para o resfriamento no processo de produção da água de garrafa. Cicchella et al. (34) fizeram análises de 69 elementos e íons a fim de testar a qualidade da água de garrafa. A pesquisa concluiu que deve-se criar uma base de dados internacional com o intuito de controlar a qualidade da água de garrafa, pois diversos elementos considerados de ocorrência rara chegaram a altíssimos níveis nas análises. Afirmaram, também, que a embalagem pode contaminar a água em pequenas proporções. Esse resultado condiz com a opinião de Dinelli et al. (35), que acreditam que a presença de antimônio na água está diretamente relacionado com a embalagem de PET. Os mesmos autores afirmam, também, que a contaminação da água encanada vem dos processos

corrosivos dos canos e envolve elementos como alumínio, cádmio, cobre, ferro, níquel, chumbo e zinco, enquanto as contaminações da água de garrafa são provenientes da interação da água-pedra típica. Essas contaminações incluem elementos como berílio, célio, estanho e tálio. Já Walter et al. (36) estudaram a contaminação proveniente das tubulações de policloreto de vinila (PVC). Eles afirmam que ocorre a lixiviação de cloreto de vinil nessas tubulações, mas que não em proporções suficientes para prejudicar a saúde humana.

Em termos quantitativos de impacto ambiental, destaca-se outra pesquisa italiana: Lagioia et al. (37) conduziram uma pesquisa para determinar o gasto em termos de material e energia consumida tanto para água de garrafa quanto para a água encanada. Os cálculos mostram que o impacto ambiental das águas de garrafas é muito superior ao impacto das águas de torneira. Em termos de material, a de garrafa requer de 130 a 154 kg/m³, enquanto a de torneira requer de 0,5 a 1,3 kg/m³. Em termos de energia consumida, a água de garrafa requer de 1000 a 4900 MJ/m³, enquanto a de torneira requer de 2 a 3 MJ/m³. O terceiro aspecto calculado foi o de resíduo produzido. Enquanto a água de garrafa produz de 130 a 155 kg/m³, a de torneira produz de 0,3 a 0,7 kg/m³. Além da comparação entre as duas águas, a pesquisa também apresenta sugestões para que haja uma redução no impacto ambiental dos processos de ambas as águas. Algumas sugestões para a água de garrafa incluem: um novo design de embalagem com menos uso de material, uma redução na água perdida no processo, uma melhor organização no sistema de reciclagem e campanhas de marketing para deixar os clientes cientes das questões ambientais envolvidas. Já para a água de torneira eles sugerem, entre outros: um sistema de bombeamento de água mais eficiente e uma melhora na infraestrutura para reduzir a diferença entre a água que entra na canalização e a que sai para o consumidor final.

Um estudo de caso similar ao realizado neste trabalho foi conduzido na Itália, em Siena. O resultado mostra que um consumo de 1,5 litros de água da torneira reduziria as emissões de dióxido de carbono em 0,34Kg, se comparado à água industrializada em garrafa PET. A pesquisa extrapola o resultado para uma população de 55.000 habitantes e ressalta que haveria uma redução significativa em termos de emissões de gases que participam do efeito estufa, se essa amostragem trocasse a água de garrafa pela água de torneira (13).

Bharath et al. (38) coletaram dados na República de Trindade e Tobago, no Caribe. Analisando 344 garrafas de água industrializadas, tanto domésticas quanto importadas, quanto à sua potabilidade, os autores concluíram que 5% das águas de garrafa podem ser consideradas impróprias para consumo humano, um argumento contra a crença de que água industrializada é totalmente segura e saudável. Nos Estados Unidos, dois médicos conduziram uma pesquisa sobre os riscos e benefícios da água de garrafa. A sua pesquisa conclui que é difícil afirmar que o nível de contaminação da água encanada seja superior ao da água de garrafa devido às variações de definições e regulamentações, exceto nos casos em que a água canalizada é sabidamente contaminada (15).

No Brasil, foi provado em estudos recentes, que água de garrafa não possui necessariamente qualidade superior à água de torneira. Isso é uma quebra de paradigma para muitos, porque somos induzidos a pensar que produtos industrializados possuem qualidade superior e passam por controles de qualidade muito rigorosos (11). Entretanto, há pesquisas

que mostram justamente o contrário: Dias (39) afirma que "... considerando os padrões para água mineral e o padrão para bactérias heterotróficas estabelecidos pela legislação para água de consumo humano, quarenta amostras (58%) de doze marcas (70,6%) apresentaram-se em desacordo com um ou mais padrões.". Dentre as razões para tal desvio de qualidade destacam-se dois fatores: muitas das empresas que trabalham com água mineral não necessitam, por lei, realizar qualquer tratamento nas mesmas. O segundo fator é justamente o rigoroso processo de tratamento de água nos departamentos responsáveis. Estes possuem altos padrões que devem ser atendidos, de modo que a água dita de 'torneira' acaba, muitas vezes, superando a industrializada. Destaca-se ainda que muitas das empresas que comercializam água obtêm a água da própria torneira e acabam cobrando do consumidor o custo do produto, da embalagem, do transporte, da propaganda e do tratamento que é, conforme Dias (39), por vezes desnecessário. Em outras palavras, não só o meio ambiente sofre impactos maiores, como o consumidor acaba pagando mais caro por um produto que já está disponível na sua casa (40).

4. Materiais e Métodos

Para esta pesquisa, fez-se uma seleção de restaurantes da cidade de Porto Alegre – Rio Grande do Sul que tivessem público alvo similar, preço similar e que fossem já estabelecidos (“tradicionais”) na cidade. Foi feita ligação telefônica para cada um dos estabelecimentos a fim de verificar a disponibilidade dos mesmos em relação à pesquisa. Uma vez que a direção do restaurante concordava com os termos da pesquisa, um encontro era marcado para coleta dos dados e das amostras. Nesse encontro, uma entrevista foi conduzida e a amostra foi coletada. O nome dos restaurantes foi considerado irrelevante neste trabalho e, portanto, os mesmos não foram identificados. Além disso, um termo de sigilo foi assinado e entregue aos estabelecimentos.

A entrevista consistiu nas seguintes perguntas:

- a - O funcionamento do estabelecimento é de quantos dias por semana?
- b - Almoço e jantar?
- c - Qual a média de clientes por mês?
- d - Em que tipo de embalagem vêm as suas garrafas de água? Plástico (PET) ou vidro?
- e - Quantas garrafas de água (com e sem gás) são encomendadas por mês?
- f - Com qual marca de água vocês trabalham?
- g - Qual o destino das garrafas de água? Lixo comum ou reciclável?
- h - O estabelecimento possui caixa d'água? Ela é limpa com que frequência?
- i - Hipoteticamente, se o estabelecimento servisse água da torneira para seus clientes, as jarras de água seriam lavadas depois de cada uso, correto? Usar-se-ia água e sabão ou algum outro procedimento de limpeza?

Apenas 3 estabelecimentos revelaram sua média de clientes ao mês. A partir deste dado, fez-se uma relação entre clientes e águas vendidas, a fim de se determinar a quantidade de água engarrafada consumida por cliente.

O departamento municipal de águas e esgotos (DMAE) de Porto Alegre identificou as estações de tratamento de água (ETA) de cada estabelecimento entrevistado. Dentre os 6 restaurantes, 3 são abastecidos pela ETA Moinhos de Vento (estabelecimentos número 3, 4 e 5), 2 são abastecidos pela ETA São João (estabelecimentos número 1 e 2) e um é abastecido pela ETA Rio Branco (estabelecimento número 6), segundo as informações divulgadas. Em caso de parada operacional de uma ETA, outras estações auxiliam na distribuição de modo a suprir a demanda. Assim, além dos já citados, a ETA José Loureiro da Silva pode, eventualmente, distribuir água para alguns dos estabelecimentos entrevistados.

As operações que foram utilizadas nas coletas são uma adaptação das instruções para coleta de água do CEPA (Centro de Pesquisa de Alimentação) da Universidade de Passo Fundo, conforme formulário disponibilizado (41). Esse formulário é apresentado a seguir:

- Antes da coleta, lave as mãos com água e sabão. Preferencialmente, utilize um anti-séptico como álcool-gel, ou use luva estéril.
- A torneira deve ser flambada, ou desinfetada com uma solução de hipoclorito de sódio, por dentro e por fora.
- Recomenda-se não escolher torneiras com vazamentos de água, aeradores ou filtros.
- Deixe a água correr por 2 a 3 minutos, para eliminar impurezas e água acumulada na tubulação.
- Reduza o fluxo da água para evitar respingos.
- Mantenha o recipiente fechado até o momento da coleta. Abra a embalagem e encha o frasco. Feche o frasco rapidamente. Identifique a amostra e preencha o formulário de coleta.
- Manter a amostra refrigerada (<10°C) desde o momento da coleta até a chegada ao laboratório.
- A amostra deverá ser levada ao laboratório imediatamente. Se não for possível, não exceder 24 horas do momento da coleta até o início do ensaio.

Para a coleta da amostra, foram utilizadas garrafas de PET com capacidade de 5 litros. Escolhia-se sempre a torneira mais acessível para os garçons, pois é o suposto local de onde viria água para os clientes. Flambou-se a torneira para esterilizar a mesma. Em seguida, a válvula era acionada e deixava-se a água correr por 1 minuto, a fim de eliminar impurezas e água acumulada na tubulação. Em seguida, lavava-se a garrafa com a água a ser coletada diversas vezes até que, por fim, coletava-se aproximadamente 5 litros da mesma.

As 6 amostras coletadas foram enviadas para o laboratório de análise “ACQUALAB” (42) que conduziu as seguintes análises segundo a Portaria 2914 MS/ANVISA:

- Microbiológico incluindo contagem de bactérias heterotróficas
- Físico-químico: alumínio, cloreto, Cloro Residual, Condutividade, Cor, Dureza, Ferro, Fluoreto, Manganês, Nitrato, pH, Sólidos Totais Dissolvidos, Temperatura, Turbidez, gosto e odor.

A metodologia de teste de cada amostra de água realizada pelo laboratório Acqualab (42) é apresentada na tabela abaixo:

Tabela 4. Relação entre a metodologia utilizada e os parâmetros analisados. SM = Standard Methods (43)

Parâmetro	Metodologia
Alumínio	SM 3500 Al
Cloreto	SM 4500 Cl- C
Cloro Residual	Iodométrico
Condutividade	SM 2510 B
Cor	SM 2120 B
Dureza	SM 2340
Ferro	SM 3500 Fe
Fluoreto	SM 4500 F-D
Manganês	SM 3500 Mn
Nitrato	Salicilato
p H	Termométrico
Sólidos T.Dissolvidos	Gravimétrico
Temp. do Ar	Termométrico
Temp. da Amostra	Termométrico
Turbidez	SM 2130 B
Contagem Mesófilos Viáveis	Plaqueamento
Coliformes totais	Tubos múltiplos
Escherichia coli	Tubos múltiplos

Para verificar o material das garrafas poliméricas de água, fez-se uma inspeção visual nas embalagens a fim de encontrar símbolos identificadores. Para todas as marcas analisadas, encontrou-se o símbolo de PET para o corpo da garrafa e PP para a tampa da garrafa. Nas imagens que possuem o nome da empresa que as fabricou (como a polyguard), verificou-se o material através das informações disponíveis nos seus meios de comunicação: “A tampa PG283 é fabricada a partir de um material específico de polipropileno que proporciona elevada resistência mecânica ao impacto e reduzido torque de abertura da tampa” (44).

A inspeção visual indicou que, em todas as marcas inspecionadas, a tampa era feita de PP (polipropileno) e o corpo da garrafa de PET (polietileno de tereftalato), segundo as figuras abaixo.



Figura 6. Identificação do material do corpo da garrafa por inspeção visual em três marcas de água diferentes



Figura 7. Identificação do material da tampa da garrafa por inspeção visual em diferentes marcas

Uma vez identificado o material, fez-se uma separação dos três componentes que compõem a garrafa (corpo, tampa e rótulo) para determinar o peso de cada componente separadamente. A partir desses dados, usou-se o programa CES Edupack (1) para fazer uma análise ecológica do produto. Assim, calculou-se a quantidade de gás carbônico emitido para a produção, transporte, uso, descarte, bem como a quantidade de energia gasta nesses processos. Para o cálculo do gasto com transporte das tampas, foi usada a localização da empresa AmericaTampas (44), que produz as tampas de polipropileno PolyGuard, que fica na cidade de Venâncio Aires, Rio Grande do Sul, a uma distância de aproximadamente 133 quilômetros de Porto Alegre. Já o gasto do transporte com o PET foi calculado a partir da empresa Plastipak (45), que é uma fornecedora de resina PET para o mercado portoalegrense. A Plastipak tem sítio de fabricação em Paulina, São Paulo, a uma distância de aproximadamente 1240 quilômetros de Porto Alegre. Além disso, foi adicionado ao cálculo o destino final do produto pós-consumo, de modo que um produto reciclado teria uma fração ecológica mais positiva do que um produto destinado a aterros sanitários, por exemplo. Assumiu-se que 47% das garrafas seriam recicladas, enquanto os outros 53% seriam destinados a aterros (8).

O rótulo não foi considerado no cálculo do impacto ambiental devido à sua baixa porcentagem mássica (<2%).

Os cálculos do software CES Edupack são feitos considerando que há três fatores que contribuem para a energia incorporada e emissão de dióxido de carbono em um material: a energia incorporada na matéria-prima, a energia associada à coleta das perdas durante a fabricação do material e o “crédito” que se obtém recuperando essas perdas. A partir daí, tem-se que:

$$H_{grade}(incl\ as\ perdas) = H_{grade} \cdot M_{cf} + H_c \cdot W_f + H_{reciclado}(perdas) \cdot W_f \left(\frac{MJ}{kg} \right)$$

$CO2_{grade}(incl\ as\ perdas)$

$$= CO2_{grade} \cdot Mcf + CO2_c \cdot Wf + CO2_{reciclado(perdas)} \cdot Wf \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

Onde:

H_{grade} e $CO2_{grade}$ são energias que dependem do material usado no produto.

H_c e $CO2_c$ são energia e $CO2$ emitidos a partir da coleta das perdas durante o processo de fabricação.

$H_{recycle(waste)}$ e $CO2_{recycle(waste)}$ dependem de como as perdas de material são recuperadas.

Mcf é o fator de correção de massa devido a perdas que ocorrem no processo de

$$\left(\frac{1}{1 - \% \frac{removida}{100}} \right)$$

fabricação. Ele é calculado segundo:

Wf é o fator de desperdício, calculado segundo: $Wf = (Mcf - 1)$

Os cálculos para o potencial do “fim de vida” (EoL -End of Life Potential) em termos de energia e emissão de dióxido de carbono para determinado material seguem as seguintes equações:

$$H_{reciclado} = (H_{rc} - H_{grade}) \cdot \frac{r}{100} \left(\frac{MJ}{kg} \right)$$

$$CO2_{reciclado} = (CO2_{rc} - CO2_{grade}) \cdot \frac{r}{100} \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

Onde:

H_{rc} e $CO2_{rc}$ são energia gasta e dióxido de carbono emitido para realizar a reciclagem de determinado material, respectivamente.

H_{grade} e $CO2_{grade}$ são energia e dióxido de carbono emitido para fabricar o material a partir de sua matéria prima, respectivamente.

5. Resultados

Na Tabela 5 encontram-se as respostas ao questionário aplicado quanto à dimensão dos restaurantes e mostram o grau de preocupação do estabelecimento com o meio ambiente:

Tabela 5. Respostas das entrevistas com os estabelecimentos

Restaurante	Funcionamento (dias por semana)	Almoço e Jantar?	Média de clientes por mês	Destino após o consumo	Estaria disposto a servir água de torneira?	Procedimento de limpeza das jarras
1	6	Sim	NR	Reciclável/Retornável	Sim	Água + Sabão
2	7	Sim	NR	Lixo Seco	NR	NR
3	7	Sim	NR	Lixo Comum	Sim	Água + Sabão
4	7	Sim	15000	Reciclável	Sim	Água + sabão
5	7	Sim	8000	Reciclável	NR	NR
6	7	Sim	1800	Lixo Comum	NR	Higienizado

NR = Não Respondeu

Primeiramente, nota-se que há uma grande variação entre o tamanho dos estabelecimentos, que vai de 1.800 a 15.000 clientes por mês. Há, também, uma distinção em relação à consciência ambiental dos estabelecimentos escolhidos. Observa-se que alguns destinam seu resíduo para a reciclagem, enquanto outros sequer possuem separação. A partir das respostas quanto à limpeza dos recipientes da água encanada, pode-se concluir que água e sabão deveriam ser levadas em consideração (na forma de efluentes), para o cálculo do impacto ambiental da adoção dessa prática.

Os resultados quanto aos aspectos relacionadas à água, gerados a partir das entrevistas com os restaurantes, podem ser verificados na tabela 6.

Tabela 6. Resultados da entrevista relacionados à água

Restaurante	Material da Garrafa	Garrafas de água PET/mês	Possui caixa d'água?	Período de limpeza da caixa d'água
1	PET e Vidro	720	Sim	6 meses
2	PET	2400	Sim	6 meses
3	PET	576	Não	-
4	PET	3263	Sim	1 semana
5	PET	3400	Sim	2 meses
6	PET	260	Sim	2 meses

Observa-se que a relação média de clientes ao mês (tabela 5) e garrafas de água ao mês (tabela 6) não é linearmente proporcional. Também pode ser observado que todas as

caixas d'água são limpas num intervalo recomendado, o que reduz a possibilidade de uma contaminação da água encanada após a saída da canalização municipal.

Através dos dados da tabela 5 e da tabela 6, calculou-se uma média que representa a frequência de venda de água por cliente:

$$\frac{15000 + 8000 + 1800}{3} \cong 8267$$

sendo 8267 a média de clientes ao mês para os três estabelecimentos que forneceram esta informação;

$$\frac{3269 + 3400 + 260}{3} \cong 2308$$

e 2308 é a média de garrafas PET ao mês para os mesmos três estabelecimentos que informaram o número de clientes;

$$\frac{(8267 \text{ clientes ao mês})}{2308 \text{ garrafas ao mês}} \cong 3,58 \frac{\text{clientes}}{\text{garrafa}}$$

Portanto, infere-se que a cada 7 clientes, aproximadamente dois pedem uma garrafa de água.

Os resultados obtidos através da pesagem dos componentes das garrafas encontram-se na tabela 7. O nome das marcas é irrelevante e, portanto, elas não serão identificadas.

Tabela 7. Porcentagem mássica por componente das garrafas de água de diferentes marcas

Marca	% massa Tampa	% massa Corpo	% massa Rótulo	Massa total (g)
1	10,55%	87,43%	2,02%	25,30g
2	11,95%	85,35%	2,70%	24,77g
3	12,79%	86,32%	0,89%	21,35g
4	14,85%	83,35%	1,80%	20,60g
5	12,57%	86,25%	1,18%	22,03g
Média	12,54%	85,74%	1,72%	22,81g

Nota-se que independentemente da marca, todas as garrafas têm peso similar. Baseado nisso, usou-se a média das proporções nos cálculos realizados.

Os resultados dos testes de potabilidade das 6 amostras de água canalizada são apresentados na tabela 8:

Tabela 8. Resultados microbiológicos e físico-químicos das amostra 6 amostras coletadas

Parâmetro	*V.M.P.	L.D.	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Alumínio (mg/L)	0,20	0,001	0,07	0,03	0,03	0,04	0,01	<0,001
Cloreto (mg/l)	250	0,5	24	20	26	24	20	26
Cloro Residual (mg/L)	0,20 - 2,0	0,1	0,12	0,13	0,36	0,31	0,29	0,36
Condutividade (µS/cm)	500	0,50	114	116	207	118	114	117
Cor (uH)	15	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Dureza (mg/L)	500	1	20	20	30	30	24	30
Ferro (mg/L)	0,30	0,005	0,01	<0,005	<0,005	0,02	0,02	<0,005
Fluoreto (mg/L)	1,50	0,05	0,62	0,53	2,07	0,49	1,02	0,91
Manganês (mg/L)	0,10	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Nitrato (mgNO3/l)	10,0	0,2	3,12	2,16	1,76	3,77	1,64	2,30
p H	6,5 – 9,5	1	6,80	6,76	8,06	7,18	7,06	7,20
Sólidos T.Dissolvidos (mg./L)	1.000	2	59	58	113	91	58	59
Temp. do Ar (°C)	-	-	24,2°C	24,2°C	24,2°C	24,2°C	26,0°C	26,0°C
Temp. da Amostra (°C)	-	-	20,8°C	20,3°C	20,2°C	24,0°C	23,7°C	23,7°C
Turbidez (NTU)	5	1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60
Contagem Mesóf.Viáveis (UFC/100ml)	100	1	<1	<1	<1	<1	25	<1
Coliformes totais (NMP/100ml)	Ausência	Presença	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Escherichia coli (NMP/100ml)	Ausência	Presença	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

Dentre as 6 amostras, duas (amostras 1 e 2) apresentaram teor de cloro residual abaixo do valor mínimo permitido. Há diversos fatores que podem ter causado esse baixo índice de cloro. O mais provável é o intervalo de tempo entre a coleta e a análise. Recomenda-se um intervalo máximo de 15 minutos entre a coleta e a análise, e que não deve exceder mais de 24 horas entre a coleta e os ensaios, conforme o CEPA (41). Neste trabalho, o intervalo excedeu 24 horas. Entretanto, apesar desta não conformidade, todas as 6 amostras são consideradas potáveis. Isso é explicado através da citação “a manutenção de residuais de cloro tem por objetivo prevenir a pós-contaminação” (28), que explica a função do cloro como uma prevenção contra possíveis contaminações futuras. Baseado nesses resultados, afirma-se que todas as amostras são potáveis.

Os resultados referentes à emissão de dióxido de carbono e energia gasta para o ciclo de vida do PET obtidos através do software CES Edupack (1) estão mostrados na figura 8.

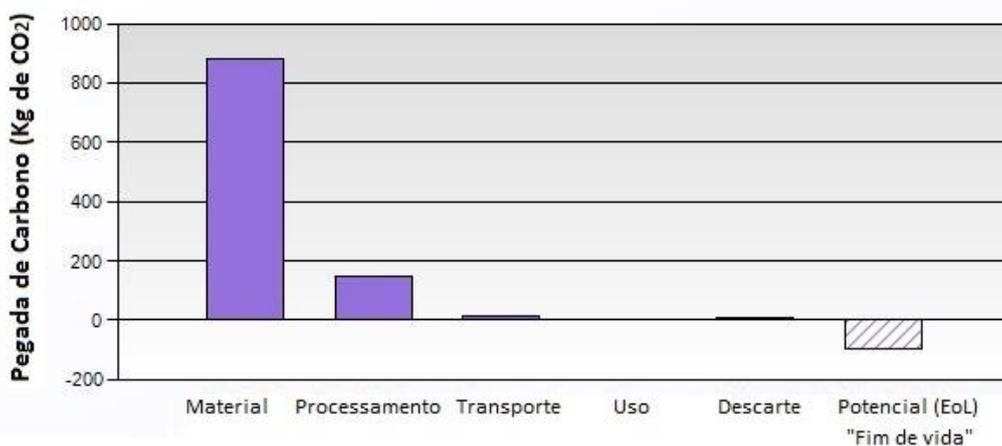


Figura 8. CO2 emitido no ciclo de vida do corpo da garrafa PET dividido por processo

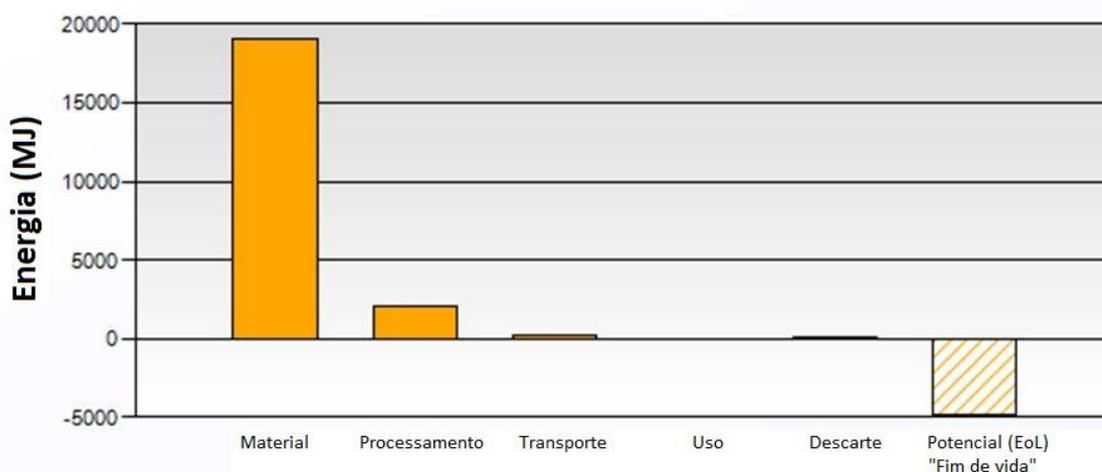


Figura 9. Energia gasta no ciclo de vida do corpo da garrafa PET dividida por processo

Esses valores são referentes aos 6 estabelecimentos somados. Nota-se nitidamente que a etapa que envolve o maior impacto ambiental, tanto em termos de emissões de dióxido

de carbono quanto em termos de energia necessária, é o custo do material em si, que envolve todo o processo inicial (extração de matéria-prima, transporte de matéria-prima, etc). O custo de transporte é baixo, pois a água (produto com maior massa do sistema) não foi incluída na conta do transporte e a distância entre o local aonde as garrafas são enchidas e o consumidor é pequena. Nota-se que o potencial do “fim de vida” (EoL -End of Life Potential) assume valor negativo, pois emite-se menos CO₂ reciclando esse material do que gasta-se processando-o a partir de matéria-prima petrolífera.

Os resultados referentes à emissão de dióxido de carbono e energia gasta para o ciclo de vida da tampa de PP obtidos através do software CES Edupack (1) são mostrados a seguir.

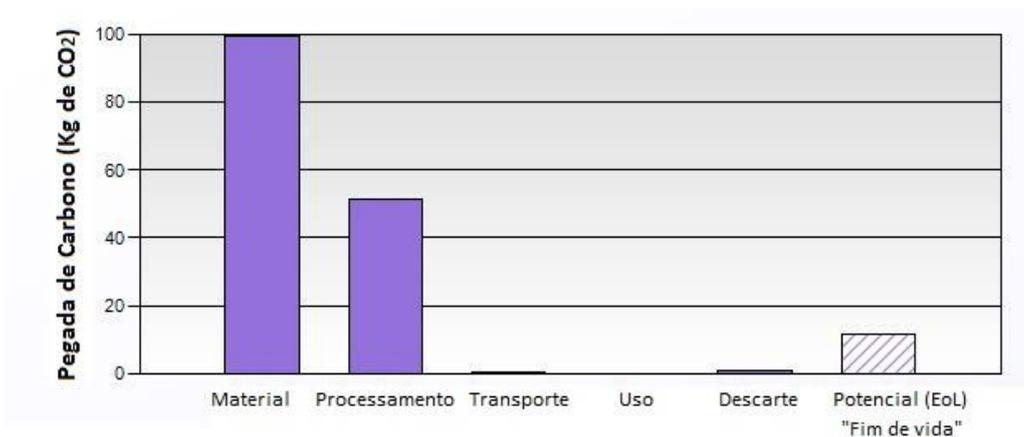


Figura 10. CO₂ emitido no ciclo de vida da tampa (feita de PP) da garrafa de água dividido por processo

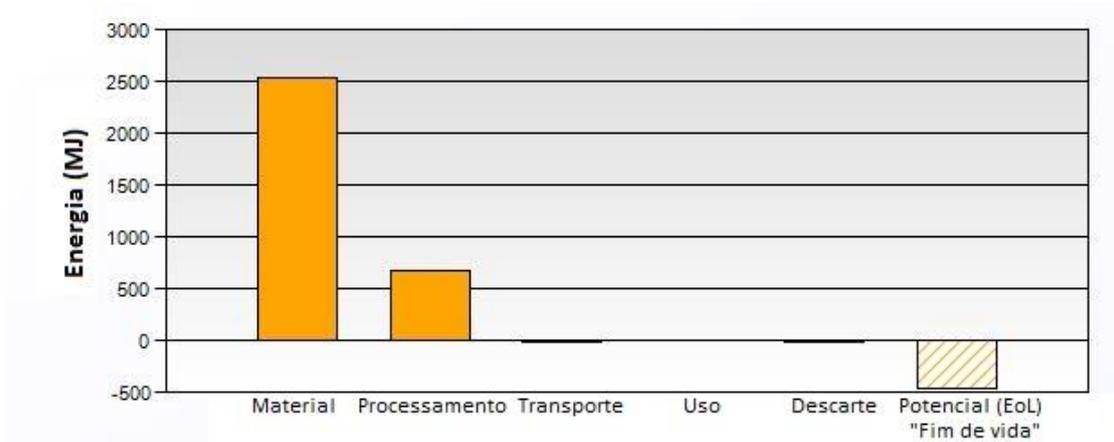


Figura 11. Energia gasta no ciclo de vida da tampa (feita de PP) da garrafa de água dividida por processo

Ao contrário do PET, o PP requer uma grande quantidade de emissão de CO₂ no seu processamento (manufacture). Mesmo assim, o maior impacto ambiental é proveniente do material em si, como no caso do PET. Destaca-se que o potencial de “fim de vida” é negativo em termos de energia, mas positivo em termos de emissão de CO₂. Em outras palavras, emite-se mais dióxido de carbono ao reciclar o PP do que se emite processando-o a partir de matéria-prima.

Finalmente, uma tabela contendo o total de emissão de dióxido de carbono e energia necessária para o ciclo de vida do somatório das garrafas (corpo e tampa somados) dos estabelecimentos entrevistados é apresentada na tabela 9.

Tabela 9. Valores quantitativos da energia gasta e dióxido de carbono emitido para a fabricação, transporte, matéria-prima, uso e descarte da garrafa de água

Fase do Processo	Energia (MJ)	Energia (%)	CO ₂ (kg)	CO ₂ (%)
Material	21591,845	87,6	983,686	81,3
Processamento	2697,085	10,9	202,168	16,7
Transporte	239,631	1,0	17,014	1,4
Uso	0,000	0,0	0,000	0,0
Descarte	111,279	0,5	7,790	0,6
Total (para o primeiro ciclo de vida)	24639,840	100,0	1210,657	100,0
Potencial EoL ("fim de vida")	-5327,573		-83,395	

Observamos que a frequência média de consumo de garrafas nos restaurantes é de duas águas a cada sete clientes. Portanto, se o total de garrafas por mês foi de 10.619, podemos calcular a quantidade de energia e a pegada de carbono por garrafa:

$$\frac{24639,84}{10619} \left(\frac{MJ}{garrafa} \right) = 2,32 \left(\frac{MJ}{garrafa} \right) ;$$

Enquanto que a pegada de carbono é calculada segundo:

$$\frac{1210,66}{10619} \left(\frac{Kg}{garrafa} \right) = 0,114 \left(\frac{Kg}{garrafa} \right) ;$$

Se cada garrafa contem 500 mL (ou 0,0005 m³):

$$\frac{2,32}{0,0005} = 4640 \left(\frac{MJ}{m^3} \right); \quad e \quad \frac{0,114}{0,0005} = 228 \left(\frac{Kg}{m^3} \right); \text{ para água de garrafa.}$$

Esses valores condizem com os de Lagiola et al. (37) e com os de Botto et al. (13) e reforçam a conclusão de que uma substituição da água de garrafa pela água encanada leva a uma redução do impacto ambiental, bem como uma redução no custo monetário para o cliente.

6. Conclusão

A partir dos resultados observados, pode-se concluir que a água encanada (“da torneira”) dos estabelecimentos escolhidos poderia ser consumida por seres humanos sem danos à saúde. Portanto, todos os restaurantes participantes poderiam passar a servir água da torneira para seus clientes. Além disso, conclui-se que, se esse hábito passasse a ser adotado pelos frequentadores desses estabelecimentos, evitar-se-ia emitir aproximadamente 1,2 toneladas de gás carbônico por mês e ter-se-ia uma redução de aproximadamente 24,6 Giga Joules do gasto energético por mês. Já com relação ao resíduo gerado, trocar-se-ia aproximadamente 30 quilogramas de polipropileno (PP) e 208 quilogramas de polietileno de tereftalato (PET) por efluentes (água e sabão) gerados no processo de higienização dos recipientes para água encanada, que passariam a ser utilizados ao invés da garrafa. Isso é uma pequena parcela do que pode ser feito para reduzirmos o impacto ambiental antrópico atual sem grandes sacrifícios.

7. Trabalhos Futuros

Algumas sugestões para trabalhos futuros incluem:

- Repetir as análises de potabilidade numa amostragem maior para garantir uma representatividade maior dos resultados.
- Analisar a potabilidade de outros estabelecimentos que não se enquadrem na mesma classe dos estudados no presente trabalho para expandir a abrangência da aplicação do conceito aqui defendido.
- Expandir a representatividade dessa amostragem para diferentes regiões do país e do mundo.
- Contabilizar o impacto ambiental referente à fabricação do recipiente de vidro ou polímero não descartável que seria usado pelos restaurantes e o impacto ambiental dos efluentes gerados a partir da limpeza desses recipientes, para fins de comparação com o impacto ambiental apresentado neste trabalho.
- Realizar novamente as análises de potabilidade mantendo o intervalo de tempo entre coleta e análise indicado na literatura.
- Estudar possíveis causas para o baixo teor de cloro residual nos dois estabelecimentos.

8. Bibliografia

1. Granta CES EduPack Version 11.9.9. 2012.
2. **Mark, James E.** *Polymer Data Handbook*. s.l. : Oxford University Press, Inc, 1999.
3. **W Romão, MAS Spinacé, MA De Paoli.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia, Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem*. SciELO Brasil, 2009.
4. Associação Brasileira da Indústria do PET . [Online] [Acesso: Maio 29, 2013.] <http://www.abipet.org.br/> .
5. **TF Guelbert, M Guelbert, M Correa, SAC Leszczynski , JCC. Guerra.** A EMBALAGEM PET E A RECICLAGEM: UMA VISÃO ECONÔMICA SUSTENTÁVEL PARA O PLANETA. 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENE>.
6. **MANO, E. B. and BONELLI, C. M. C. A.** *Reciclagem de plásticos pós-consumidos*. Rio de Janeiro : Rev. Química. Industrial , 1994 , Vols. n. 698, p. 18-22.
7. **ZANIN, M. and MANCINI, S. D.** *Resíduos Plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia*. São Carlos : Edusfcar, 2004.
8. Jornal O Estado de São Paulo. [Online] [Acesso: Maio 29, 2013.] <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-descarta-53-de-garrafas-pet-na-natureza,61799,0.htm>.
9. Araraquara.Com - Saúde. [Online] [Acesso: Maio 30, 2013.] <http://www.araraquara.com/noticias/cidades/NOT,0,0,838402,Pesquisa+detecta+contaminacao+em+65+dos+galoes+de+agua+mineral.aspx>.
10. Abinam - Associação Brasileira de Indústrias de Águas Minerais. [Online] [Acesso: Maio 30, 2013.] <http://www.abinam.com.br/home.php>.
11. **Ferrier, C.** *Bottled water: understanding a social phenomenon*. s.l. : Ambio 30 (1), 118–119, 2001.
12. **IBGE.** *Censo 1996 e 2011*. <http://www.ibge.gov.br/>.
13. **S. Botto, V. Niccolucci, B. Rugani, V. Nicolardi, S. Bastianoni, C. Gaggi.** *Towards lower carbon footprint patterns of consumption: The case of drinking water in Italy*. Siena, Itália : Environmental Science & Policy, Volume 14, Issue 4, June 2011, Pages 388–395.
14. **Kulaif, Yara.** *MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2012. pg 27 - 28*. Brasília : s.n., 2012. ISSN 0101 2053.
15. **Gena L. Napier, MD, CharlesM. Kodner, MD.** *Health Risks and Benefits of Bottled Water*. Volume 35, Issue 4, December 2008, Pages 789–802, Louisville, KY, USA : Primary Care: Clinics in Office Practice.

16. **Miguel de França Doria, Nick Pidgeon, Paul R. Hunter.** *Perceptions of drinking water quality and risk and its effect on behaviour: A cross-national study.* Itália : Science of the Total Environment 407. 5455–5464, 2009.
17. **Burlingame, B.** *Reflections on water* . s.l. : Journal of Food Composition and Analysis , 2003, Vols. 16, 533–534.
18. **Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral/DNPM-MME (vários anos).** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. CPRM. [Online] [Acesso: Junho 10, 2013.] <http://www.cprm.gov.br/>.
19. **Valt, Renata Bachmann Guimarães.** *Ciclo de vida das embalagens para bebidas no Brasil.* . Brasília : Thesaurus, 2007.
20. Agua na Jarra. [Online] [Acesso: Maio 2013, 30.] <http://www.aguanajarra.com.br/nossa-causa/?id=12>.
21. 5Gyres. [Online] [Acesso: Maio 30, 2013.] http://5gyres.org/what_is_the_issue/the_problem/.
22. **Xavier, Maria Emília Rehder and Kerr, Américo Sansigolo.** *A ANÁLISE DO EFEITO ESTUFA EM TEXTOS PARADIDÁTICOS E PERIÓDICOS JORNALÍSTICOS.* São Paulo, São Paulo : Instituto de Física USP, 2004.
23. USP - LEPAC - Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação. [Online] [Acesso: 05 02, 2013.] http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/es_efeitoestufa.htm.
24. **Kollmuss, A., Zink, H., Polycarp, C.** *Making Sense of the Voluntary Carbon Market: A Comparison of Carbon Offset Standards.* s.l. : WWF Germany - Disponível em http://assets.panda.org/downloads/vcm_report_final.pdf, 2008.
25. **Wiedmann, T. and Minx, J.** *A Definition of 'Carbon Footprint'.* Hauppauge NY, USA : In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, 2008. https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999..
26. ANA - Agência Nacional de Águas. [Online] [Acesso: Maio 28, 2013.] <http://www2.ana.gov.br/Paginas/acessoainformacao/perguntasfrequentes.asp>.
27. **Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre.** [Online] [Acesso: 06 Maio, 2013.] http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=172.
28. Ministério da Saúde - PORTARIA Nº 2.914. [Online] Dezembro 12, 2011. [Acesso: Maio 28, 2013.] http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html.
29. **Ministério da Saúde.** Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano . [Online] [Acesso: Junho 02, 2013.] http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/manual_procedimentos_agua.pdf.
30. Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977. [Online] Agosto 20, 1977. <http://legis.senado.gov.br/mateweb/arquivos/mate-pdf/93649.pdf>.

31. Informações da Legislação. *DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral*. [Online] [Acesso: Junho 10, 2013.] <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=3>.
32. **Rosa Cidu, Franco Frau, Paolo Tore**. *Drinking water quality: Comparing inorganic components in bottled*. Cagliari, Itália : Journal of Food Composition and Analysis, 2009.
33. **V. Niccolucci, S. Botto, B. Rugani, V. Nicolardi, S. Bastianoni, C. Gaggi**. *The real water consumption behind drinking water: The case of Italy*. s.l. : Journal of Environmental Management, Volume 92, Issue 10, October 2011, Pages 2611–2618.
34. **D. Cicchella, S. Albanese, B. De Vivo, E. Dinelli, L. Giaccio, A. Lima, P. Valera**. *Trace elements and ions in Italian bottled mineral waters: Identification of anomalous values and human health related effects*. Itália : Journal of Geochemical Exploration 107. 336–349, 2010.
35. **Enrico Dinelli, Annamaria Lima, Stefano Albanese, Manfred Birke, Domenico Cicchella, Lucia Giaccio, Paolo Valera, Benedetto De Vivo**. *Comparative study between bottled mineral and tap water in Italy*. Itália : Journal of Geochemical Exploration 112. 368–389, 2012.
36. **Ryan K. Walter, Po-Hsun Lin, Marc Edwards, Ruth E. Richardson**. *Investigation of factors affecting the accumulation of vinyl chloride in polyvinyl chloride piping used in drinking water distribution systems*. Estados Unidos : Water Research 45. 2607–2615, 2011.
37. **Giovanni Lagioiaa, Grazia Calabròb, Vera Amicarellia**. *Empirical study of the environmental management of Italy's drinking water study*. Itália : Resources, Conservation and Recycling 60. 119– 130, 2012.
38. **J. Bharath a, M. Mosodeen, S. Motilal, S. Sandy, S. Sharma, T. Tessaro, K. Thomas, M. Umamaheswaran, D. Simeon, A.A. Adesiyun**. *Microbial quality of domestic and imported brands of*. Trindade e Tobago : International Journal of Food Microbiology 81 (2003) 53– 62.
39. **Dias, Maria Fernanda Falcone**. *QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE ÁGUAS MINERAIS EM GARRAFAS INDIVIDUAIS COMERCIALIZADAS EM ARARAQUARA-SP*. Araraquara, São Paulo : s.n., 2008.
40. The Story of Bottled Water - Annotated Scrpit. [Online] [Acesso: Maio 06, 2013.] <http://www.storyofstuff.org/2011/01/14/story-of-bottled-water/>.
41. CEPA - Centro de Pesquisa de Alimentos. [Online] [Acesso: Abril 14, 2013.] <http://www.upf.br/cepa/>.
42. Laboratório Acqualab, Porto Alegre, Avenida Independência, 794. [Online] <http://www.laboratorioacqualab.com.br/site/>.
43. **APHA - AWWA- WEF**. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. s.l. : 21st Edition, 2005.
44. AmericaTampas - Polyguard. [Online] [Acesso: Maio 13, 2013.] http://www.americatampas.com.br/produtos_bebidas.html .

45. PlastiPak Packing Inc. [Online] [Acesso: Maio 02, 2013.]
<http://www.plastipak.com/worldwide/sa/>.