



**INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
CETEA**

**MARIA PAULA DE FIGUEIREDO TAVARES**

**AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DA  
BEBIDA DE CAFÉ NO BRASIL SOB A ÓTICA AMBIENTAL**

**CAMPINAS**

**2018**



MARIA PAULA DE FIGUEIREDO TAVARES

**AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DA  
BEBIDA DE CAFÉ NO BRASIL SOB A ÓTICA AMBIENTAL**

*Dissertação apresentada ao Instituto de  
Tecnologia de Alimentos para obtenção do  
título de Mestre em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos.*

Aluna: Maria Paula de Figueiredo Tavares

Orientadora: Anna Lúcia Mourad

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pela aluna  
Maria Paula de Figueiredo Tavares orientada pelo Profa. Dra. Anna Lúcia Mourad.

**CAMPINAS**

**2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Bibliotecária Adriana Gomes do Nascimento CRB/8 8853  
Biblioteca Central do ITAL- Instituto de Tecnologia de Alimentos.

T231a Tavares, Maria Paula de Figueiredo.

Avaliação das diferentes formas de preparo da bebida de café sob a ótica ambiental. Maria Paula de Figueiredo Tavares / Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP: ITAL- Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2018. 00f.

Profa. Dra. Anna Lúcia Mourad.

1. Pensamento do ciclo de vida; 2. bebida de café; 3. impacto ambiental; 4 sustentabilidade. I Instituto de Tecnologia de Alimentos, CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagem II. Maria Paula de Figueiredo Tavares. III. Título.

**Título em inglês: Coffee beverage preparation by different methods under environmental perspective.**

**Key-words: Life Cycle Thinking; coffee beverage; coffee brewing method; environmental impact; sustainability**

**Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

**Banca Examinadora: Profa. Dra. Anna Lucia Mourad,  
Profa. Dra. Leda Coltro, Profa. Dra. Priscilla Efraim.**

**Data da Defesa: 16/03/2018**

**Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

## BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Maria Paula de Figueiredo Tavares, aprovada pela Comissão Julgadora em 16/03 /2018.

---

Profa. Dra. Anna Lúcia Mourad  
CETEA/ITAL (Presidente)

---

Profa. Dra. Leda Coltro  
CETEA/ITAL (Titular)

---

Profa. Dra. Priscilla Efraim  
FEA/ UNICAMP (Titular)

---

A ata de defesa de dissertação de mestrado com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se arquivada junto à documentação do aluno.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que acreditam em seus sonhos e ao tempo, melhor amigo dos que ousam sonhar.

“Fechei os olhos e pedi um favor ao vento: leve tudo o que for desnecessário. Ando cansada de bagagens pesadas. Daqui para frente apenas o que couber na bolsa e no coração”.

Cora Coralina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus pais que me ensinaram a voar com minhas próprias asas.

A meus irmãos Maurício e Flávia pela paciência e amor incondicional.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Anna Lucia Mourad, por todo conhecimento, orientação e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos que acrescentam alegria aos meus dias e, em especial a você Mateus.

Agradeço a Paulo Eduardo, Mastrô, Raul e Marcus Vinicius.

Agradeço a Eliana e Carmen, grandes companheiras de viagem.

Agradeço a Paulo, Ederson, Fernando, Sorley, Ricardo, Argeu, Marcelo, Aparecido, Sarney, Iedo, Osvaldo e Alexandre.

Agradeço a todos os baristas e apaixonados por café, que dedicaram seu tempo durante a coleta dos dados: Peterson, Frederico, Lidiane, Antônia Francisca, Dorival, Jhanaína, Estela, Carlos, Rosilene, Fabiana, Agatha, Camila, Rafael, Tony, Carol, Fabio, Vinicius, Claudia, Adriana, Daiana, Marcia, Ariana, Luciana, Daiane, Aline, Gustavo, Renata, Hesli, Midori, Carol, Quevedo, Viviane, Robinho, Osnei, Melissa, Gabriel e Catlin.

Agradeço a todos os consumidores que participaram dos testes e aos colegas, professores e pesquisadores do ITAL.

Um agradecimento a todos aqueles que me acompanharam nesta jornada e que como eu acreditam que desistir não é uma opção.

Que o Universo conspire a nosso favor.

## RESUMO

Segunda *commodity* mais vendida no mundo, o café respondeu por 6,4% das exportações do agronegócio nacional em 2016. Além de ser o maior produtor de café no mundo, o Brasil é também o segundo mercado consumidor da bebida de café. O café está entre as bebidas mais apreciadas no mundo, sendo que existe uma grande variedade de formas de consumo da bebida de café, dentro e fora do lar, com expressivo crescimento do mercado de máquinas de café para monodoses. Devido a este significativo crescimento e em concordância com as atuais diretivas de sustentabilidade, este trabalho teve o objetivo de avaliar as formas de preparo mais representativas no País sob a perspectiva ambiental. Neste trabalho utilizou-se princípios da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para avaliação da performance ambiental de preparo da bebida de café por diferentes métodos. O estudo incluiu desde a etapa de transporte do café dos beneficiadores até unidade industrial para torrefação e moagem e o preparo da bebida por nove métodos diferentes, dentre os quais incluiu-se o tradicional Espresso, a Prensa Francesa, AeroPress, Filtrado caseiro e Máquinas automáticas que utilizam monodose. Os resultados do estudo demonstram que os métodos de preparo fora do lar, que utilizam máquinas monodoses com cápsulas de plástico e ou de alumínio, refletem em maior consumo de energia, de água, bem como geração de resíduos dentre os avaliados. Na categoria de consumo fora do lar, o café Espresso, produzido sob pressão e temperaturas superiores, e tem o maior impacto, devido principalmente à sua concentração e à energia demandada pelas máquinas automáticas. O café preparado em máquina automática com uso de sachê de papel tipo *soft pod* apresentam desempenho ambiental próximo ao Filtrado V60. Neste estudo também foram comparadas as práticas de uso de copo lavável com copo descartável e identificou-se a necessidade de mudança de hábito na frequência de lavagem dos copos para manutenção da superioridade ambiental do lavável sobre o descartável.

### **Palavras-chave:**

Pensamento de Ciclo de vida; bebida de café; impacto ambiental; sustentabilidade;



## **ABSTRACT**

The second most commercialized commodity in the world, coffee accounted for 6.4% of Brazilian agribusiness exports in 2016. In addition to being the largest producer of coffee in the world, Brazil is also the second largest consumer market for coffee. Coffee is among the most appreciated beverages in the world, and there is a wide variety of forms of consumption of the coffee beverage, inside and outside the home, with a significant growth in the coffee machine market for single-serve. Due to this significant growth and in agreement with the current sustainability directives, this work had the objective of evaluating the most representative forms of coffee preparation in the country from the environmental perspective. In this work, the principles of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology were used to evaluate the environmental performance of the preparation step of the coffee beverage by different methods. The study included the transportation of the green coffee from the processors to the industrial unit for roasting and grinding up to the preparation of the beverage using nine different methods: the traditional Espresso, the French Press, AeroPress, Filter Coffee outside home, the Homemade Filtration and Automatic Single Serving Machines. The results of the study demonstrated that the methods of preparation outside the home, using single-serve machines with plastic capsules and or aluminum, have the highest consumption of energy, water and waste generation among those evaluated. In the category of consumption outside the home, Espresso coffee, produced under pressure and higher temperatures, has the greatest impact, mainly due to its concentration and the energy demanded by the automatic machines. The coffee prepared in automatic machine with use of soft pod type sachet showed environmental performance similar to the Homemade Filtration. This study also compared the practices of use of washable cup with disposable cup and identified the need for change of habit in the frequency of washing of the cups to maintain the environmental superiority of the washable cups over the disposable cups.

### **Key words:**

Life Cycle Thinking; coffee drink; environmental impact; sustainability

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	vii
SUMÁRIO.....	viii
Sumário de tabelas .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1 Objetivo principal.....	2
2.2 Objetivos específicos .....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1 Café e bebida de café – histórico .....	2
3.2 Métodos de preparo da bebida.....	6
3.2.1 Preparo de Café Espresso .....	9
3.2.2 Preparo na Prensa Francesa .....	10
3.2.3Preparo na AeroPress .....	11
3.2.4 Preparo no Método Filtrado .....	12
3.2.5 Preparo no Método Hario V60 .....	12
3.2.6 Preparo em Monodoses .....	13
3.3 Café: fisiologia, composição química e componentes extraídos em diferentes condições .....	14
3.4 Efeito da bebida sobre a saúde humana.....	17
3.5 A ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida .....	19
3.5.1 Etapas da ACV .....	21
3.6 Revisão bibliográfica de estudos de ACV com bebida de café .....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Fronteiras do Estudo .....	29
4.2 Unidade Funcional .....	31

4.3 Seleção dos Métodos de Preparo da Bebida .....	31
4.4 Coleta de Dados.....	33
4.5 Tratamento dos Dados .....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Transporte .....	36
5.2 Processo de torrefação e moagem .....	37
5.3 Inventários resultantes do estudo .....	42
5.4 Avaliação dos principais impactos ambientais e análise de contribuição	55
5.4.1 Consumo de Energia .....	55
5.4.2 Consumo de Água .....	56
5.4.3 Emissão de gases de efeito estufa – GWP.....	59
5.4.4 Geração de resíduos .....	60
5.5 Avaliações dos perfis ambientais de bebida de café preparada através de filtro caseiro e servida em copo lavável ou descartável .....	61
6. CONCLUSÕES .....	64
7. REFERÊNCIAS.....	66
8. ANEXOS .....	70

## SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 1. Composição química das variedades de café verde .....	16
Tabela 2. Perfil da amostragem realizada nas cafeterias.....	34
Tabela 3. Inventário médio dos processos produtivos de torrefação e moagem da empresa colaboradora.....	41
Tabela 4. Inventário médio da preparação da bebida de café Espresso. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	43
Tabela 5. Inventário médio da preparação da bebida de café Aeropress. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	44
Tabela 6. Inventário médio da preparação da bebida de café Prensa Francesa. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	44
Tabela 7. Inventário médio da preparação da bebida de café Filtrado V 60. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	45
Tabela 8. Inventário médio da preparação da bebida de café Filtrado cafeterias. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	45
Tabela 9. Inventário médio da preparação da bebida de café Filtrado caseiro. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	46
Tabela 10. Inventário médio da preparação da bebida de café Monodose com sachê. Unidade funcional: 1 dose como preparada.....	46
Tabela 11. Inventário médio da preparação da bebida de café Monodose com Cápsula 1. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	47
Tabela 12. Inventário médio da preparação da bebida de café Monodose com Cápsula 2. Unidade funcional: 1 dose como preparada. ....	47
Tabela 13. Inventário médio da preparação da bebida de café Espresso. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	48
Tabela 14. Inventário médio da preparação da bebida de café Aeropress. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	48
Tabela 15. Inventário médio da preparação da bebida de café Prensa Francesa. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	49

Tabela 16. Inventário médio da preparação da bebida de café Filtrado V 60. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	49
Tabela 17. Inventário médio da preparação da bebida de café Filtrado cafeterias. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	50
Tabela 18. Inventário médio da preparação da bebida de café Filtrado Caseiro. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL .....	50
Tabela 19. Inventário médio da preparação da bebida de café Monodose com sachê. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.....	51
Tabela 20. Inventário médio da preparação da bebida de café Monodose com Cápsula 1. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	51
Tabela 21. Inventário médio da preparação da bebida de café Monodose com Cápsula 2. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL. ....	52
Tabela 22. Avaliação de café, dose preparada e grau Brix médios para os diferentes métodos estudados. Unidade funcional: dose como preparada. ....	52
Tabela 23. Principais impactos associados aos copos lavável e descartável para o consumo de café preparado através de método filtrado caseiro. ....	62

## 1. INTRODUÇÃO

Existem poucos estudos de ACV relacionados aos aspectos de processamento e preparo da bebida de café, em sua maioria estudos internacionais.

O aumento da consciência ambiental de consumidores ao redor do mundo tem exigido o conhecimento das interfaces ambientais relativas aos produtos consumidos.

A etapa de consumo de café é diversificada, envolvendo não somente a aquisição direta do produto no mercado, mas também as preparações que incluem modos diversos como percolação<sup>1</sup> e filtragem da bebida no lar ou fora do lar.

Em virtude da importância do cafezinho na vida do brasileiro, o conhecimento das interfaces ambientais na etapa de preparo da bebida permite que o consumidor tenha papel ativo, e possa vir a contribuir para redução dos impactos ambientais.

A aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na avaliação das diferentes formas de preparo da bebida de café pode fornecer informações ao consumidor, de modo a identificar as melhores práticas no preparo, e permitir a diferenciação e seleção dos produtos existentes do ponto de vista ambiental, com foco no preparo da bebida.

A ACV é uma ferramenta útil para implementar estratégias efetivas de sustentabilidade, e como benefício desta ferramenta, por meio do Pensamento de Ciclo de Vida (*Life Cycle Thinking*), podemos citar a minimização de impactos negativos, evitando a transferência destes impactos de um estágio do ciclo de vida para outro.

A escolha do tema se justifica pela ausência de estudos teóricos sobre estudos de ACV da bebida de café no Brasil, aliado ao fato do país ser o segundo maior mercado consumidor mundial da bebida de café, que além de sua importância econômica tem efeitos benéficos à saúde humana.

---

<sup>1</sup> Percolação é o processo que ocorre quando um líquido flui através de um meio poroso

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

- O objetivo deste estudo é identificar e quantificar os principais impactos ambientais relativos à etapa de preparo da bebida de café, nas diversas formas de preparo, utilizando-se princípios da técnica de Avaliação de Ciclo de Vida, por meio da aplicação do “*Life Cycle Thinking*” (LCT – Pensamento do Ciclo de Vida).

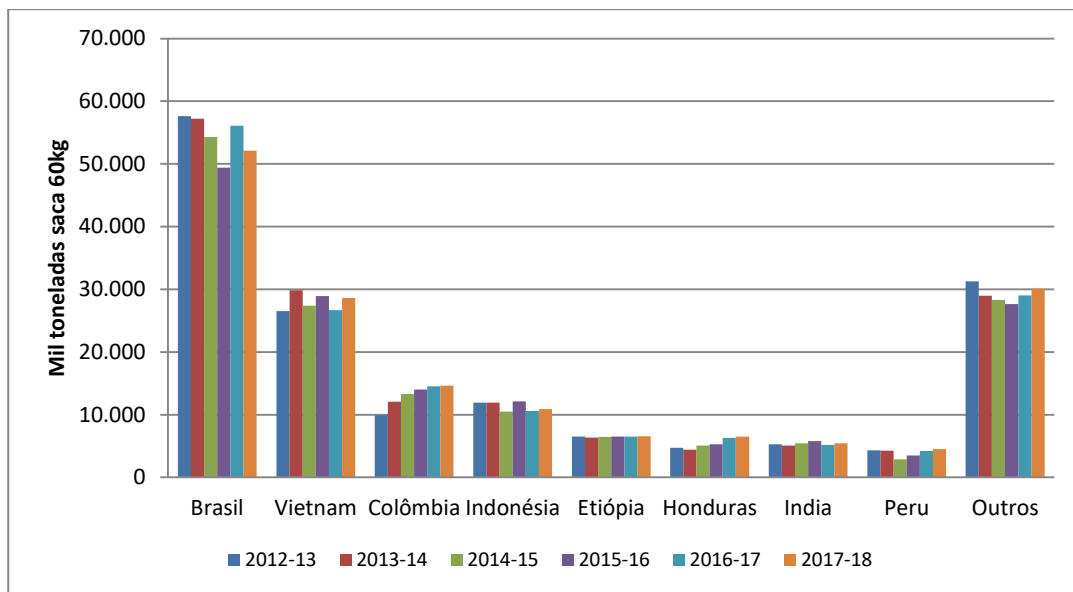
### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar os métodos de preparo da bebida em relação aos impactos ambientais decorrentes do consumo de energia, água, emissão de gases de efeito estufa e geração de resíduos.
- Identificar através do estudo realizado os principais contribuintes e cada impacto ambiental.
- Elaborar proposições para melhoria do desempenho dos processos de preparação de bebida de café existentes.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Café – histórico**

O café é cultivado em cerca de 60 países, nas regiões equatoriais de clima propício para o crescimento do arbusto como Brasil, Vietnã e Colômbia, que são também os maiores produtores no mercado mundial (vide Figura 1).



**Figura 1.** Produção Mundial de Café. Fonte OIC 2017

Segundo a Organização Internacional do Café (OIC), a produção mundial de café verde, que foi de 150,3 milhões de sacas de 60 kg em 2014, subiu para 152,1 milhões de sacas em 2015, sendo a maior parte do produto final consumido em países industrializados, como Estados Unidos, Comunidade Européia e Japão.

Segundo a Associação das Indústrias de Café (ABIC), o Brasil é o maior produtor e exportador de café cru beneficiado no mundo e o segundo maior mercado consumidor, sendo o primeiro lugar ocupado pelos Estados Unidos.

Segundo informações do Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA), em 2014, o café cru beneficiado representou 7% das exportações do agronegócio brasileiro, ocupando a quinta posição no ranking, com receita de US\$ 6,16 bilhões que correspondem a 37,1 milhões de sacas de 60kg.

Em 2016, a estimativa de uma safra maior se confirmou com o crescimento de 18,8% segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), apesar da redução em 1,1% na área plantada. A área total ficou em 2,2 milhões de hectares (CONAB, 2016).

De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção total de café cru no Brasil em 2016 foi de 56,10 milhões de sacas de 60 kg, como pode ser visto no Quadro 1:



<b>Estado/variedade</b>	<b>Safra 13/14</b>	<b>Safra 14/15</b>	<b>Safra 15/16</b>	<b>Safra 16/17</b>	<b>Safra 17/18*</b>
<b>Minas Gerais</b>	<b>29,4</b>	<b>26</b>	<b>25,3</b>	<b>32,5</b>	<b>29,1</b>
Sudoeste	15	14	12,2	17,8	15
Centro-oeste	5,5	6,2	5,5	7,2	5,6
Sudeste	8,9	5,8	7,6	7,5	8,5
<b>Espirito Santo</b>	<b>15,8</b>	<b>16,4</b>	<b>13</b>	<b>10,5</b>	<b>10,4</b>
Arábica	3,5	3,3	3,1	3,8	3,2
Robusta	12,3	13,1	9,9	6,7	7,2
<b>São Paulo</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	<b>4,3</b>	<b>5,9</b>	<b>4,4</b>
<b>Paraná</b>	<b>1,7</b>	<b>1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>
<b>Outros</b>	<b>5,7</b>	<b>6,3</b>	<b>5,6</b>	<b>6,1</b>	<b>6,9</b>
Arábica	2,6	2,4	2,2	2,3	2,5
Robusta	3,1	3,9	3,4	3,8	4,4
<b>Total</b>	<b>57,2</b>	<b>54,3</b>	<b>49,4</b>	<b>56,10</b>	<b>52,1</b>
Arábica	41,8	37,3	36,1	45,6	40,5
Robusta	15,4	17	13,3	10,5	11,6

\*previsão

**Quadro 1:** Produção brasileira de café (milhões sacas de 60kg) Fonte: USDA (2017)

De acordo com o Ministério da Agricultura a safra 2016/2017 foi a maior safra de café da história do Brasil, com destaque para o ganho de produtividade, especialmente do arábica, com média de 26,33 sacas por hectare, sendo 17,1% superior à da safra anterior. Segundo informações do MAPA (Ministério da Agricultura), ocorre predomínio de lavouras de café arábica no País, perfazendo cerca de 84,4% da produção total do grão, num volume de 43,38 milhões sacas. Esse resultado é 35,4% superior ao da safra anterior e se deve ao aumento de 46 mil hectares da área em produção, incluindo a incorporação de novas áreas que se encontravam em formação e renovação, além das condições climáticas mais favoráveis.

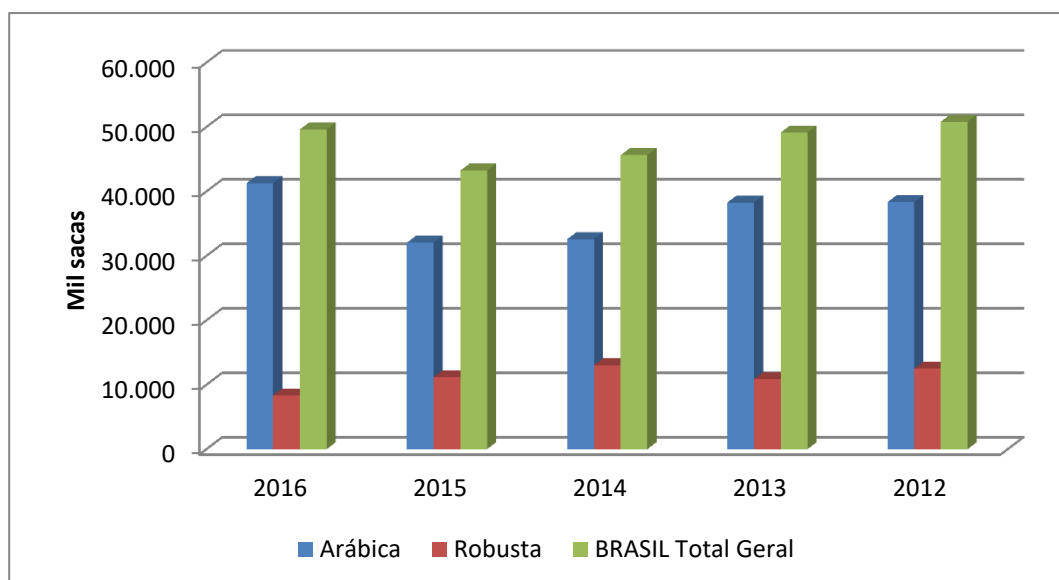
A produção do conilon ou robusta, que em 2016 representou 15,6% do total de café produzido no Brasil, foi estimada pela CONAB em 7,98 milhões de sacas, com redução de 28,6% na comparação com a safra de 2015. Esta redução ocorreu devido principalmente a problemas climáticos, como seca e má

distribuição de chuvas por dois anos consecutivos no Espírito Santo, maior produtor de café conilon no País.

A importância econômica do café no Brasil remonta da época do Brasil Colônia, e após sua introdução no País no século XVIII (1727) no Estado do Pará, o arbusto se adaptou muito bem ao clima e desde então é fonte de renda para centenas de municípios.

A cadeia produtiva do café é responsável pela geração de oito milhões de empregos no País, e está presente na Economia de mais de 1.900 municípios, distribuídos em 15 estados<sup>2</sup>, com cerca de 287 mil produtores e predominância de mini e pequenos, pertencentes a cooperativas e associações (MAPA, 2016).

A Figura 2 a seguir, mostra a produção brasileira de café nas variedades arábica e robusta, no período de 2012 a 2016.



**Figura 2.** Produção brasileira de café: arábica e robusta (milhões de sacas de 60 kg).  
*Fonte: ABIC (2017).*

De acordo com o MAPA, ano a ano se observa o crescimento no número de certificações relacionadas à área ambiental, à ética e responsabilidade social, às condições de vida adequadas, respeito aos direitos dos trabalhadores e uso racional de recursos. Além disso, existem leis que estão relacionadas à

<sup>2</sup>Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo

preservação de recursos florestais e de fauna nativa, controle de erosão e proteção de mananciais.

### **3.2 Métodos de preparo da bebida**

O café é uma bebida presente em lares e cafeterias na maioria dos países. Bilhões de xícaras de café são apreciadas a cada dia por consumidores ao redor do planeta. O consumo de café entre jovens e adultos, que tem o ponto de partida no café da manhã, continua em diversos momentos durante todo o dia, seja para finalizar uma refeição ou para compartilhar um momento entre amigos

Muitas são as formas de preparo da bebida de café e a cada dia, mais e mais consumidores tem demonstrado maior interesse nas informações relativas ao impacto ambiental resultante dos produtos consumidos.

O consumo da bebida de café está fortemente atrelado à história do Brasil, à sua economia e até mesmo à sua identidade. A bebida está presente em 98,2% dos lares segundo pesquisa da Nielsen de 2014 para a ABIC (Associação Brasileira da Indústria do Café). Segundo esta mesma pesquisa, cerca de 75% da bebida é consumida preferencialmente dentro do lar.

De acordo com a ABIC, o consumo interno de café tem crescido no Brasil, alcançando 21,99 milhões de sacas em 2017, um crescimento de 3,6% em relação a 2016,

Nos dias atuais, o mercado cafeeiro já não pode apenas se preocupar com o manejo da lavoura e condições climáticas bem como volume de produção; investir na qualidade da bebida tem sido premissa fundamental para atender às demandas do consumidor moderno e, desse modo, garantir a continuidade do negócio. Com as mudanças de hábitos dos consumidores, novos métodos de preparo da bebida de café têm sido desenvolvidos e disseminados mundialmente.

A indústria do café contou com inúmeras inovações a partir do século XIX, quando o desenvolvimento de novos métodos de preparo contribuiu para a popularização da bebida (PENDERGRAST, 2010). Com o crescimento da produção vem o aumento de resíduos e a preocupação relativa ao lixo produzido e sua correta destinação.

Desde a sua introdução até os dias atuais, pode-se dizer que ocorreu uma verdadeira revolução nos métodos de preparo da bebida. Além do tradicional café filtrado/coado, o consumo do café espresso e do café acondicionado em monodoses como cápsulas e sachês tipo *soft pod*, vem alcançando participações significativas no consumo dentro do lar. Entre os brasileiros, o consumo do produto em monodose ainda é recente e de menor volume, comparativamente a outras formas de preparo mais tradicionais como o café filtrado, presente na maior parte dos lares brasileiros.

O café solúvel e o pronto para beber (em lata ou embalagem cartonada) também são formas alternativas de consumo da bebida, mas seu consumo está estagnado (NIELSEN, 2014).

Atualmente, com as crescentes preocupações ambientais relativas à maximização da utilização dos recursos naturais e redução da geração de resíduos e emissões, faz-se necessário entender as interfaces ambientais das várias atividades humanas (LEE et al., 2001.; CHANAKYA, 2004; MUSSATO et al, 2011; MURTHY et al, 2012; JOYCE, 2016).

Desta forma este estudo abrangeu em uma etapa inicial, o levantamento detalhado dos principais métodos de preparo da bebida e de sua representatividade.

As bebidas de café podem ser preparadas de diferentes maneiras, de acordo com a cultura e hábitos do consumidor. Os métodos de preparo são muito variados, e a cada dia surgem novos métodos, seja para preparo dentro ou fora do lar (FOLMER, 2014).

Existe uma grande variedade de equipamentos disponíveis no mercado para a preparação da bebida como as máquinas para o café espresso – doméstica e profissional, cafeteiras elétricas, cafeteira tipo italiana (Moka), Prensa francesa (French Press), sistema AeroPress, sistema Hario, sistema Chemex *drip station*, e método sifão (Globinho) entre outras.

Segundo Küçükoğlu et al. (2015), a indústria tem se empenhado em desenvolver novos produtos com menor consumo de energia durante seu uso, e o mínimo de resíduos após o descarte, bem como ausência de material nocivo em sua composição, aliado a busca de novos métodos de produção com menos materiais e menor gasto energético durante o processo. Segundo estes autores,

ações deste tipo geram benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a indústria.

Um dos preparos mais conhecidos e populares no Brasil é o espresso, obtido sob pressão em doses individuais, em máquinas especificamente desenvolvidas para a extração deste tipo de bebida de café.

A Figura 3 mostra a máquina de Espresso.



**Figura 3.** Máquina para preparo de Café Espresso

As cápsulas para o preparo de café espresso são uma das principais tendências mundiais da indústria de café. Com o rápido crescimento do consumo de cápsulas no mundo todo, aumenta a preocupação referente ao lixo produzido com o seu descarte. Vários componentes das cápsulas como plástico e alumínio demoram muito para se decompor na natureza e a reciclagem se faz necessária para reduzir o impacto ambiental.

Para viabilizar o processo, muitos produtores de café em cápsulas como Nespresso, L'OR e Dolce Gusto têm desenvolvido ações em parceria com outras organizações, com foco na construção e logística de programas de recolhimento do material descartado e na reciclagem.

Ao consumo elevado de café está associada a produção de resíduos de baixo valor. Estudos realizados evidenciaram que somente 6% da colheita de café é utilizada na preparação da bebida e que os 94% restantes correspondem a resíduos (MATOS, 2003).

As doses da bebida nos estudos avaliados e em site de máquinas e cápsulas para monodose variam em tamanho desde um *ristretto* que é um expresso curto com cerca de 25mL até outras bebidas servidas em grandes canecas com cerca de 275 mL.

### **3.2.1 Preparo do café espresso**

O café espresso é o método mais popular de preparo da bebida de café fora do lar, principalmente em cafeterias.

O espresso italiano (*caffè espresso*) é definido por ILLY e colaboradores (1995) como uma pequena dose de bebida concentrada, preparada através da extração de grãos de café torrado e moídos utilizando água sob pressão. Neste tipo de preparo é utilizada a percolação, processo que ocorre quando um líquido flui por um meio poroso, que neste caso é o café torrado e moído. Assim, uma determinada quantidade de água flui através de uma camada compactada de café torrado e moído contida no filtro do grupo da máquina. A água vai entrar em contato com o pó de café quando da aplicação de pressão de cerca de 9 Bar pelo sistema da máquina de espresso e a bebida obtida é o resultado da extração dos sólidos solúveis. Na bebida obtida é produzida uma camada de espuma denominada “crema”.

Segundo ILLY e colaboradores (1995), os parâmetros para o preparo do café espresso são  $(6,5 \pm 1,5)$ g de pó de café, temperatura da água em torno de  $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$  e pressão da máquina  $(9 \pm 2)$ bar, tempo de percolação  $(30 \pm 5)$ s. A dose do espresso tem entre 25 e 30 mL, podendo variar entre 15 a 50mL.

Para o preparo do espresso são utilizados equipamentos especificamente projetados para este fim, máquinas automáticas e super automáticas que aquecem e pressurizam a água que irá extrair a bebida de café. A porção de café torrado e moído, previamente moída utilizando o café torrado em grãos para espresso, é colocada no grupo da máquina e compactada manual ou

mecanicamente. Em seguida a água quente sob pressão passa pelo café torrado e moído e a bebida é extraída em um recipiente externo como uma xícara ou copo.

### 3.2.2 Preparo na Prensa Francesa (French Press)

O equipamento denominado Prensa francesa (Figura 4) é composto por um recipiente de vidro termo resistente em formato cilíndrico, suportado por uma estrutura que pode ser em plástico ou metal, com uma haste interna acoplada a um filtro de metal. O filtro de metal tem por função separar a bebida de café da borra e promover a retenção de óleos e sedimentos naturais do café.

Neste método, água quente é transferida para o interior do cilindro de vidro sem o êmbolo contendo o café torrado e moído já pesado. Em seguida são misturados água e café que permanecem em repouso por alguns minutos. Após este tempo de descanso, o filtro que está na estrutura de metal é empurrado manualmente para o fundo da Prensa Francesa, de modo a separar a borra que fica no fundo do líquido sobrenadante. A partir deste momento a bebida de café pode ser transferida para recipiente externo.



**Figura 4.** Prensa Francesa

### 3.2.3 Preparo na AeroPress

O equipamento AeroPress (Figura 5) é composto por um cilindro de copoliéster, similar a uma grande seringa e que tem 7 peças: a base, porta-filtro, êmbolo, funil, armazenador de filtro extra, dosador e mexedor.



Figura 5 AeroPress

Neste método de preparo manual, que inclui uma fase similar ao método de café filtrado utilizando filtro de papel específico para o equipamento e também pressão, controlada manualmente pelo operador que está preparando o café.

A moagem recomendada varia de fina a média fina, similar a do Espresso

Quando utilizado o AeroPress para preparo da bebida de café, inicialmente o primeiro passo é empurrar o êmbolo para fora da câmara. Em seguida deve ser colocado o filtro de papel na tampa, esquentar o filtro de papel com água quente e rosquear a tampa na câmara. É preciso girar a tampa com o



filtro, de modo que esta fique encaixada no cilindro. A câmara deve ser colocada sobre um recipiente. A seguir deverá ser adicionado o café torrado e moído no interior da câmara e promover o nivelamento o produto. A água quente deverá ser acrescentada até atingir o nível 2 da câmara e em seguida é necessário misturar o café e a água com mexedor. O próximo processo deve ser apoiar o suporte da AeroPress sobre um recipiente, sendo que o cilindro deve estar encaixado sobre o suporte. O êmbolo deve ser pressionado manualmente com suavidade por cerca de 45 segundos, até que todo o café seja empurrado e a bebida de café passe pelo filtro, sendo direcionada a recipiente adequado para consumo.

A bebida resultante tem aspecto intermediário entre o café espresso e o filtrado/coado.

### **3.2.4 Preparo Método Filtrado**

Neste método a bebida de café é preparada por filtração-percolação, com a utilização de um suporte para filtro denominado porta-filtro, sendo que o filtro pode ser de papel ou de pano.

O café torrado e moído deve ser colocado no interior do filtro que se encontra no suporte para filtro. Em seguida é despejada água fervente em movimentos circulares sobre o café torrado e moído. À medida que a água entra em contato com o café, a bebida é extraída e escoada por gravidade pela parte inferior do suporte para filtro para um recipiente, onde será armazenada antes da transferência da bebida de café para a xícara ou copo. Para quantidades menores a bebida pode ser preparada diretamente sobre xícaras ou canecas. Os resíduos ou borra (café esgotado) permanecem retidos no filtro de papel ou de pano.

### **3.2.5. Preparo Método Hario V60**

Trata-se de um porta-filtro de material plástico ou de porcelana que possui ranhuras em espiral na parte interna e que utiliza um filtro de papel específico

para este tipo de preparo. Segundo o fabricante Hario, o desenho do filtro e do suporte para filtro facilita a expansão do pó de café e uma grande abertura na base do suporte permite controlar a velocidade e extração da bebida durante a filtragem.

Para o preparo da bebida, o café torrado e moído é transferido para o filtro de papel, previamente esquentado com água quente que está colocado no suporte para filtro Hario V60 (Figura 6). Em seguida a água quente é vertida sobre o pó em movimentos circulares e a bebida pronta escoar por gravidade para o recipiente designado. O método é simples e manual e resulta em uma bebida suave.



**Figura 6.** Hario V60

### **3.2.6 Preparo em monodoses (cápsulas e sachês tipo *soft pod*)**

#### **Sachês tipo *soft pod* / coffee pods**

Os sachês de papel tipo *soft pod* são semelhantes a sachês para chá e compostos por um filtro de papel preenchido com o café torrado e moído. Estes sachês em dose única, em geral são compatíveis com máquinas específicas, especialmente construídas para a utilização destes sachês, de tamanho e formato específico.

Para o preparo da bebida, o sachê é transferido para o suporte de sachê da máquina (sendo este um compartimento fechado) e em seguida a cafeteira é acionada. A água quente sob pressão passa pelo filtro, entra em contato com o café torrado e moído, quando ocorre a extração da bebida de café que será transferida automaticamente para uma xícara ou outro recipiente.

### **Máquinas com uso de cápsulas de alumínio ou plástica**

Nestes equipamentos, a cápsula que possui tamanho e formato compatível com a máquina específica, é inserida no suporte para cápsula e em seguida o tamanho da dose desejada é acionado no painel da máquina. Na próxima fase, uma agulha perfura a cápsula pressurizada e a água quente passa sob pressão pelo café torrado e moído na embalagem de alumínio ou plástico, sendo a bebida extraída coletada em recipiente externo.

No preparo utilizando monodoses como cápsulas são eliminados os erros e diferença de preparo, e a interferência humana. O equipamento tem padronizados a pressão, tempo de extração e quantidade de água a ser utilizada para o preparo da bebida.

### **3.3 Café: fisiologia, composição química e componentes extraídos em diferentes condições**

O cafeeiro (*Coffea sp.*) é um arbusto da família Rubiaceae originário da Etiópia, com mais de 100 espécies descritas desde o século XVI todas provenientes dos trópicos e que podem ser cultivadas em altitudes variando desde o nível do mar até 2.000 metros (MONTEIRO & TRUGO, 2005).

O fruto de café é uma pseudo drupa constituída de duas sementes cobertas por uma camada de aspecto pergaminoso, o endocarpo. O café beneficiado grão cru é a semente seca dos frutos produzidos do arbusto do gênero *Coffea* que será utilizada como matéria prima na produção de café torrado em grãos e café torrado e moído. *Coffea arabica* e *Coffea canephora* são as variedades comercialmente viáveis (SMITH, 1985).

O café arábica é uma espécie originária das florestas subtropicais da região serrana da Etiópia, e se adequa ao clima tropical de altitude, e segundo

muitos autores tem qualidade diferenciada quanto ao aroma e sabor (LUNA-FILHO, 2006).

A espécie arábica está relacionada a *blends* mais diversificados e comercialmente mais valorizados, mas esta espécie requer maiores cuidados no cultivo e processamento. O arábica pode apresentar grãos com problemas de qualidade devido a fermentação dos grãos, oxidação e outros defeitos relacionados ao processo de colheita e pós-colheita dos grãos.

Já o café robusta é originário das regiões equatoriais baixas, quentes e úmidas da bacia do Congo (HERRERA, 2017). O aroma da bebida é mais neutro e similar ao de pipoca, e em geral apresenta um sabor mais marcante.

O Robusta ou Conilon como é chamado no Brasil, é mais resistente a doenças e pragas bem como a variações climáticas. Além de maior quantidade de componentes antioxidantes, o café Conilon contém maior quantidade de sólidos solúveis, sendo muito utilizado na produção de Café Solúvel por conferir corpo à bebida e aumentar o rendimento do produto (MATOS, 2003).

Fatores intrínsecos e extrínsecos como clima, composição de solo, incluindo a microbiota, componentes químicos e minerais, práticas agrícolas de pré e pós-colheita são de grande importância no desenvolvimento de atributos relacionados ao aroma e sabor de cafés de alta qualidade.

Apesar de muitos componentes estarem presentes tanto no *C. arabica* quanto no *C. canephora*, a quantidade destes componentes varia entre cada espécie. No *C. canephora*, se destacam os ácidos clorogênicos presentes no Robusta que estão associados a proteção das plantas contra microrganismos, ataque de insetos e radiação UV (FARAH, 2012).

Na Tabela 1 tem-se a composição química das variedades de café verde *Coffea arabica* e *Coffea canephora*.

**Tabela 1.** Composição química por variedade de café verde

COMPONENTE	CONCENTRAÇÃO* (g/100g)	
	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
<b>Carboidratos/fibras</b>		
Sacarose	6,0-9,0	0,9-4,0
Açúcares redutores	0,1	0,4
Polissacarídeos	3,4-4,4	48-55
Lignina	3,0	3,0
Pectina	2,0	2,0
<b>Compostos nitrogenados</b>		
Proteína/peptídeos	10,0-11,0	11,0-15,0
Aminoácidos livres	0,5	0,8-1,0
Cafeína	0,9-1,3	1,5-2,5
Trigonelina	0,6-2,0	0,6-0,7
<b>Lipídeos</b>		
Óleo de café (Triglicerídeos insaponificáveis, esteróis/tocoferóis)	1,5-17,0	7,0-10,0
Diterpenos	0,5-1,2	0,2-0,8
Minerais	3,0-4,2	4,4-4,5
<b>Ácidos e ésteres</b>		
Ácidos clorogênicos	4,1-7,9	6,1-11,3
Ácidos alifáticos	1	1
Ácido quínico	0,4	0,4

\*Conteúdo varia de acordo com o cultivar, práticas agrícolas, clima, composição do solo e métodos de análise.

Fonte: FARAH et al, 2012

No Brasil, muitas linhagens têm sido desenvolvidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) como por exemplo resistentes a mudança climática, IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) a partir de germoplasma de Catuaí, Mundo Novo, Icatu, Catimor, Sarchimor, Catucaí e seleções experimentais.

Seleções clonais de Robusta têm sido desenvolvidas pelo INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural) para uso comercial e cultivadas em larga escala no Brasil (FERRÃO, 2007).

Estes desenvolvimentos buscam entre outros aspectos a melhoria de produtividade, tamanho, cor e uniformidade dos grãos, adequação da altura dos

arbustos para facilitar a colheita, melhoria de aroma e sabor relacionados ao café de alta qualidade.

Na questão sustentabilidade para o cultivo do café, devem ser pontuados os fatores social e ambiental, condições econômicas da propriedade, aspectos genéticos (aspectos físico químicos do café verde) aliados a fatores ambientais e boas práticas agrícolas.

### **3.4 Efeito da bebida sobre a saúde humana.**

Desde o século XX, o café tem sido o alimento mais comercializado no mundo, e pesquisas de relevância têm sido realizadas ao nível mundial nas últimas décadas, demonstrando que o café possui propriedades funcionais e nutricionais benéficas para a saúde (DÓREA E DA COSTA, 2005; NATELLA E SCACCINI, 2012; LOPEZGARCIA et al.,2013).

Os consumidores buscam a bebida de café seja por razões emocionais como um momento para relaxar ou compartilhar com amigos, socializar, melhorar o humor, aprimorar a concentração, retardar o sono mantendo o estado de alerta ou simplesmente apreciar a bebida de sua preferência que tem um sabor único com amargor característico e mais de 1000 compostos aromáticos já identificados. (YEN et al., 2005; FARAH, 2012)

Efeitos benéficos à saúde tem sido observados com o consumo moderado de café, devido à presença de muitos componentes bioativos que variam de acordo com a espécie e variedade. Estes componentes também sofrem influência de outros fatores como práticas agrícolas, grau de maturação do fruto, processamento primário e condições de estocagem (CLARKE, 1987; SIVETZ,1972).

O conteúdo de água na semente do café varia de aproximadamente 50% antes da colheita, até aproximadamente 9-12% após o processo de secagem no campo. O restante dos componentes é representado por 30 elementos, sendo que destes, somente o magnésio parece apresentar diferenças significativas entre as espécies. Palmitato de caveol e palmitato de cafestol, dois diterpenos constituintes da fração lipídica do café, com ação anti-inflamatória e anticancerígena, também estão presentes nas sementes cruas (URGERT et al.,

1995; WATTENBERG, 1983; CAVIN et al., 2002; MURIEL & ARAUZ, 2010; ESQUIVEL & JIMENEZ, 2012; FREEDMAN et al., 2012; CÁRDENAS, QUESADA & MEDINA, 2015).

Embora atualmente seja considerado por muitos como alimento funcional, em função dos elevados teores de compostos antioxidantes, a história da bebida de café foi cercada de preconceitos, principalmente devido ao efeito estimulante da cafeína.

A cafeína é o composto mais conhecido do café, devido às suas propriedades fisiológicas e farmacológicas, sendo que alguns dos diversos efeitos atribuídos a este componente, já apresentam comprovação científica, como o efeito estimulante do sistema nervoso central, a diminuição do sono e a ação de estimular o músculo cardíaco (NEHLIG 1999; FARAH, 2012).

A cafeína que é naturalmente encontrada em mais de 60 espécies vegetais e que, além do café está presente em muitos outros alimentos como folhas de chá, refrigerantes, energéticos, grãos de cacau, semente de guaraná e noz de cola, também contém outras metilxantinas estimulantes, que por vezes são consumidas em quantidade e frequência superiores, quando comparados ao café (HECKMAN, 2010; FARAH, 2012).

Considerando um consumo normal de café, os efeitos da cafeína e de seus metabólitos como paraxantina e teofilina está relacionado ao bloqueio dos receptores da adenosina A1 e A2A, o que leva a ativação de uma variedade de sistemas neurotransmissores e efeitos estimulantes, de vigilância e atenção (FARAH, 2012).

Existem evidências de que a cafeína poderia ativar as funções cognitivas relacionadas ao humor, estímulo em tarefas do dia a dia visto que está associada a uma melhora no estado de alerta, atividades que exigem maior concentração como dirigir e operar máquinas, na capacidade de aprendizado e resistência ao esforço físico dependente da quantidade consumida e que pode variar de indivíduo para indivíduo. Diversos estudos têm sido realizados no Brasil relacionando a bebida de café, à saúde e bem-estar, assim como à ação bioativa dos componentes do café (HECKMAN, 2010).

Além da cafeína, podem-se citar outros componentes do café verde relacionados a saúde e bem-estar como ácidos clorogênicos - responsáveis por

grande parte da atividade antioxidante da bebida, e ainda com potencial atividade antibacteriana, antiviral e anti-hipertensiva; trigonelina, oligossacarídeos, polissacarídeos, proteínas, lipídeos, minerais e niacina vitamina do complexo D (TRUGO, 1984; CLARKE & MACRAE, 1985; MAZAFFERA, 1991; CLIFFORD, 2000; TORRES, 2010; FARAH 2012).

Considerando todos os componentes citados, que fazem do café uma bebida natural e saudável e que, se ingerida em doses moderadas, pode trazer benefícios à saúde, além de prevenir doenças como Parkinson, Alzheimer, Diabetes mellitus tipo 2, doença coronária e cirrose, entre outras (ALVES et al., 2009).

### **3.5 A ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida**

Segundo a definição da norma NBR ISO 14040 (2011), a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV ou LCA em inglês é uma metodologia que faz a compilação e avaliação das entradas (*inputs*), das saídas (*outputs*) e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida, aqui incluídos a retirada de recursos da natureza e o retorno destes recursos já transformados.

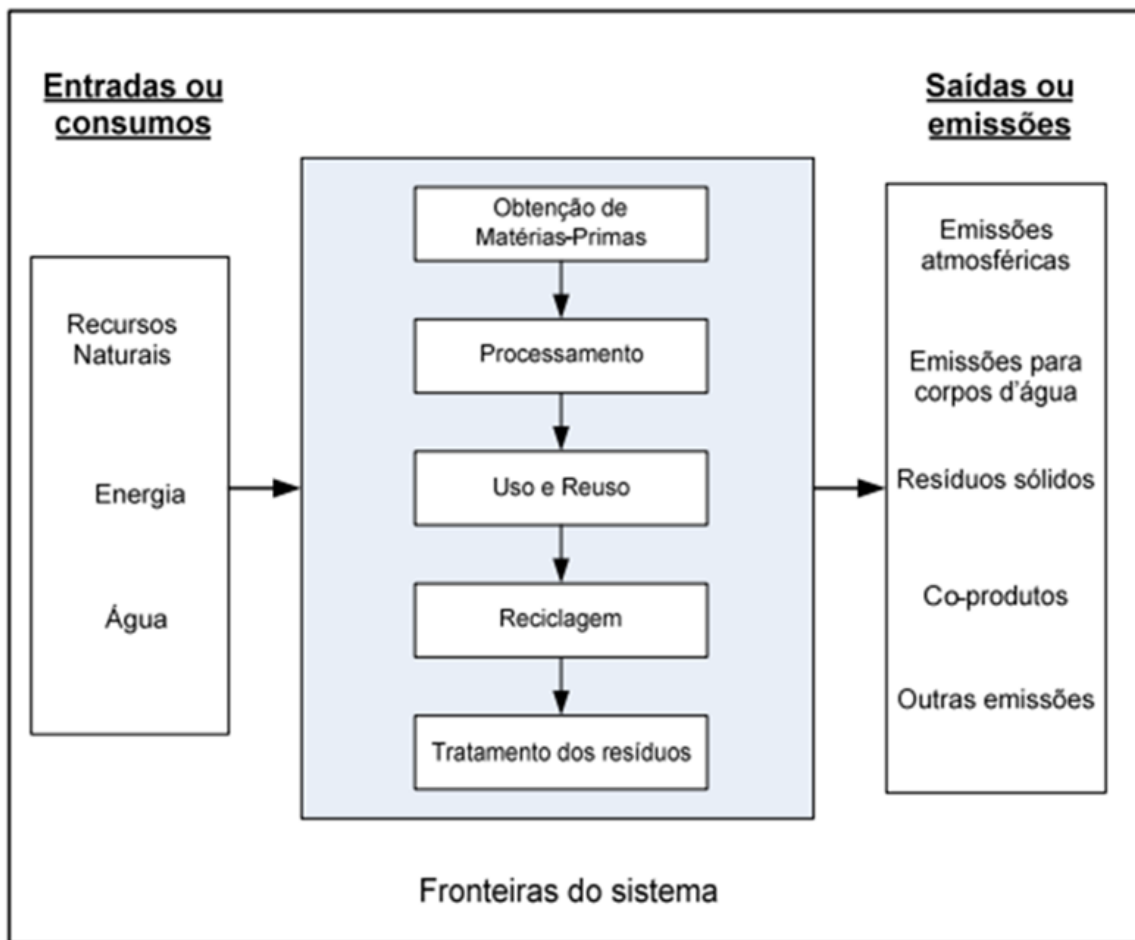
Esta ferramenta pode ser utilizada para avaliar a performance ambiental de uma cadeia produtiva, indústria ou produtos oferecidos ao consumidor, desde o início de sua produção até o fim de seu uso, seja para uso interno como por exemplo melhoria da performance de um produto, ou externo por exemplo para comunicação e marketing.

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é a fase do estudo que objetiva o conhecimento e avalia a magnitude e significado dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto no seu ciclo de vida.

Por meio de uma abordagem conhecida como "do berço ao túmulo", a ACV avalia todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração das matérias primas dos sistemas naturais até o seu uso final (quando o produto deixa de ter uso e é descartado como resíduo), incluindo as etapas de transporte de matérias primas, insumos e do produto em si, e também de disposição dos resíduos. Esta abordagem permite a estimativa dos impactos ambientais acumulados ao longo deste ciclo, oferecendo uma visão abrangente e



possibilitando melhor compreensão do sistema. A Figura 11 apresenta uma representação esquemática da ACV (PEREIRA 2008).



**Figura 11.** Representação das etapas de ACV, Adaptado de EPA 2001(PEREIRA 2008)

Na ACV podem ser incluídos: a produção de energia, processos que envolvem a manufatura, as embalagens, o transporte nas diversas etapas, o consumo de energia não renovável, os impactos relacionados com o uso, aproveitamento e o reuso do produto e questões relacionadas com os resíduos ou recuperação e reciclagem de resíduos.

Em linhas gerais, a ACV de um produto ou serviço consiste em quatro fases: definição do seu objetivo e escopo; realização de um levantamento quantificado de dados – inventário, quantificando todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões, etc) durante todo o ciclo de vida; identificação dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida e da interpretação dos resultados do estudo.

### **3.5.1 Etapas da ACV**

#### **Definição do Objetivo e Escopo do Estudo de ACV.**

A etapa de escopo destina-se ao planejamento do estudo. É a fase onde se define o sistema de produto, as funções do sistema de produto, a unidade funcional, procedimentos de alocação, metodologia de AICV e tipos de impacto ambiental, tipo de interpretação, requisitos de dados, pressupostos, escolha de valores e elementos opcionais, limitações, requisitos de qualidade dos dados, tipo de revisão crítica e tipo e formato do relatório.

No caso do café, a cadeia completa inclui, desde o cultivo, o processamento, a embalagem e etapas de transporte de matéria prima até a indústria onde será torrado, moído e distribuição para pontos de venda direta ao consumidor ou cafeterias, até que seja produzida a bebida de café.

A etapa de consumo é complexa, envolvendo não somente a aquisição direta do produto no mercado, mas também as preparações que incluem modos diversos como percolação e filtragem no lar e fora do lar.

Alterações no modo de preparo podem influenciar nos aspectos de qualidade e sabor da bebida e também quanto ao impacto ambiental.

Neste trabalho o impacto ambiental foi quantificado relacionando a unidade funcional da dose como é servida e para 50 mL de bebida.

Com o crescimento da presença no mercado de cafés dos produtos de conveniência, em monodoses, a questão de impacto ambiental deve ser estudada contemplando embalagem e desperdício da bebida.

No estudo foi contemplado o preparo da bebida de café tipo Espresso, AeroPress, French Press (Prensa francesa), Filtrado com suporte para filtro e filtro de papel 103, Sistema Hario V60 e Sistema Kalita.

#### **Avaliação de impacto**

Na Análise dos impactos foi realizada a avaliação do impacto ambiental associado às entradas e saída de energia e materiais. Nesta etapa são analisados os impactos causados pelas emissões identificadas e uso de matérias primas.

Na conclusão deste estudo de ACV são apresentados os pontos significativos identificados a partir dos resultados, suas conclusões, limitações e

recomendações, permitindo avaliar oportunidades de redução de energia, carga de material e impacto ambiental para cada o estágio do ciclo de vida que contempla o preparo da bebida de café.

Para isso, foram selecionadas categorias de impacto em que se utilizam indicadores para quantificar emissões, uso de recursos e demais impactos de acordo com as categorias escolhidas. Os indicadores fornecem os potenciais impactos ambientais.

Segundo Takeda (2008), durante a avaliação de impacto devem-se avaliar aspectos como consistência, completude e sensibilidade. A consistência envolve a capacidade dos dados coletados em englobar os aspectos estabelecidos durante a determinação do objetivo e escopo e também expressa o critério de qualidade. A completude envolve a representatividade dos dados, número de amostras e sua capacidade de representação da análise em questão. E a sensibilidade envolve incertezas de dados e a análise em si. Uma vez que, não raro, estudo de ACV apresenta análises qualitativas, o estabelecimento ou determinação da incerteza nos dados geralmente se apoia em conhecimentos de especialistas ou no bom senso.

A retirada de etapas ocorreu no início do ciclo de vida do produto, não se avaliando neste estudo a extração e a preparação de matéria-prima, neste caso o café cru grão beneficiado. Estas etapas iniciais também são chamados de etapas *upstream*. Em complemento também foram desconsiderados as etapas finais do ciclo de vida relacionados a etapa de descarte e destinação de resíduos. Esses etapas são chamados de *downstream* (RIBEIRO, 2009). Outra forma de classificação de estudos ACV envolve a qualidade.

Dos muitos subprodutos do café, polpa e casca do grão cru beneficiado são os mais estudados a nível mundial em função do volume produzido e capacidade poluente.

Projetos para aproveitamento da borra de café, que contém cafeína, taninos e polifenóis não têm sido tão estudados como aqueles relacionados a polpa e casca do café. Contudo, vários esforços têm sido feitos com o intuito de avaliar a utilização da borra do café na indústria de cosméticos (RIBEIRO et al., 2013).

### 3.6 Estudos de ACV da bebida de café

No estudo de caso realizado por Hicks (2017), foram investigadas as categorias de ponto médio (*midpoint*) com base na Norma ISO 14040 (2006), utilizando o *software* SimaPro (version 8.0.1) (PRé Consultants 2015) foi realizada avaliação do ciclo de vida de três métodos de preparo de café, o filtrado em cafeteira elétrica, a prensa francesa (*French press*) e sachê tipo *pod*, para posterior entendimento das implicações ambientais dos produtos. Segundo Hicks, em seis das categorias avaliadas (depleção de ozônio, eutrofização, não carcinogênico, efeito respiratório, ecotoxicidade, carcinogênico), o produto de conveniência – sachês, teve menor impacto quando comparado a produtos convencionais bem como seus métodos de preparo. O autor utilizou a unidade funcional comparativa de 0,275 L que se refere ao rendimento da monodose tipo *Pod style* com 11,73 g de café torrado e moído, sendo o impacto ambiental de cada bebida de café apresentado em sua unidade nativa. O preparo de café na prensa francesa teve o menor impacto em 2 das categorias avaliadas (impacto ambiental e *smog*).

O autor sugere que diferente do que popularmente se acredita, o café em monodose tipo *pod style* foi a opção de menor impacto ambiental

Segundo Hicks et al (2017), o produto em monodose tipo *pod style* tem um custo ambiental mais alto, atribuído a sua embalagem, composta por materiais não biodegradáveis, de difícil reciclagem e separação, devendo ser destinados à incineração ou para aterros sanitários. Outro ponto é que este produto requer uma quantidade maior de material e energia em sua produção. Os autores relatam que as duas maiores contribuições para o impacto ambiental em todas as etapas consideradas no estudo são relativas a quantidade de borra de café produzida e a energia necessária para preparar a bebida de café, apesar das etapas de transporte terem sido significativas.

Com uma estrutura metodológica diferente das realizadas no continente europeu, um estudo recente sobre seis métodos de preparo de bebida de café foi realizado no Japão (HASSARD et al, 2014). No estudo, foi realizada análise da pegada de carbono do produto (Product Carbon Footprint- PCF) para 6 das formas mais populares de bebida de café consumidas no Japão: o café filtrado,

café espresso (e suas variações), sachês individuais de café filtrado, bebida obtida usando a cafeteira francesa tipo *French press*, café solúvel e bebida em latas de aço (bebida envasada pronta para o consumo). No trabalho os autores citam que a maioria da embalagem utilizada para o produto "*Hot canned coffee*" são de aço. As latas de alumínio para este tipo de bebida são menos comuns e utilizadas para bebidas consumidas a frio. Foram utilizados produtos disponíveis no campus e arredores da Universidade de Kyoto, os quais são considerados representativos das bebidas de café disponíveis no Japão. O estudo incluiu alternativas da bebida não avaliadas em outros estudos. A metodologia utilizada foi a de avaliação de PCF, com cálculo do consumo de energia e emissões dos gases do efeito estufa.

O resultado demonstrou ampla variação nos impactos ambientais por meio dos respectivos produtos de café e as razões para estas diferenças. Um contraste particularmente grande ocorreu entre as formas de café frequentemente agrupados no final da escala de luxo, o espresso e o "latte". O "latte" apresentou um PCF alto, devido principalmente às emissões da produção do leite.

Segundo os autores, estes dados são valiosos para empresas de café ou cidadãos interessados em reduzir seu impacto ambiental. Outro resultado significativo, particularmente no contexto do Japão foi o efeito da embalagem no total de energia consumida para a bebida de café em lata de aço.

O fenômeno da bebida de café em lata tipifica a cultura japonesa, pois este é um estilo de bebida raramente visto em outro lugar. A lata provê fácil transporte, disponibilidade nas máquinas tipo "*vending machine*" que estão distribuídas por todo o país. Apesar de representar apenas 17% do consumo de bebida de café, o produto café pronto para beber em lata de aço contribuiu com cerca de metade da pegada de carbono de todo o volume de bebida de café consumido no Japão (HASSARD, 2014).

A unidade funcional principal definida por Hassard e colaboradores como "*one serve of coffee*" se refere à quantidade em que a bebida é servida, e que pode variar entre 30 mL para o espresso, 230 mL para o "latte" e 190 mL para as latas de café pronto para beber. Esta medida é variável no conteúdo e em volume, diluição e componentes, mas representa a forma em que as mesmas são disponibilizadas aos consumidores, e por esta razão foi considerada pelos

autores. Para efeito de comparação em bases semelhantes e também entendimento da variação nos resultados, o estudo avaliou as três alternativas de unidade funcional: a “dose do café”, 1 mL de produto ou 1 g de café torrado.

O produto com o impacto mais baixo por dose foi o café espresso, com 0,13 kWh e 49 g de CO<sub>2</sub> equiv. por dose, enquanto que a bebida de café em lata de aço teve o mais alto impacto, com 0,76 kWh e 223 g de CO<sub>2</sub> equiv. por dose. O café “latte” tem o segundo maior impacto com consumo de energia de 0,54 kWh e pegada de carbono do produto por dose: 224 g de CO<sub>2</sub> equiv. por dose. Se considerada a base por mL, o espresso teve o mais alto impacto: 0,0048 kWh/ mL e 0,8 g CO<sub>2</sub> equiv. por mL, seguido pelo café em lata e o “latte”, o que segundo os autores indica que muito cuidado deve ser tomado na seleção da unidade funcional, que pode influenciar no ranking da pegada de carbono do produto.

Os fatores que mais influenciaram para estes resultados foram as emissões da produção de leite, a embalagem (lata de aço) e o estágio de produção agrícola de café verde. Neste estudo a produção agrícola do café cru beneficiado se mostrou como o maior contribuinte, para a pegada de carbono nos diversos métodos de preparo de café estudados.

Com o objetivo de apresentar uma ferramenta de comunicação para a marca Nescafé – “*The Nescafé LCA communication tool*”, interessante trabalho foi desenvolvido na Suíça (PEDRAZZINI et al., 2012). A ferramenta consiste numa plataforma interativa via *web*, que permite ao consumidor conhecer indicadores de estudo de ciclo de vida por etapa do ciclo e por indicador.

Esta iniciativa faz parte de um projeto piloto promovido pelo Parlamento Francês com o objetivo de informar aos consumidores a *performance* ambiental de diversos produtos, por meio do estudo de seu ciclo de vida como um critério de escolha quando da aquisição do produto final. Esta ferramenta permite acesso a vários indicadores e não está somente focada na pegada de carbono. A ferramenta foi baseada no estudo de ciclo de vida de uma xícara de café solúvel, de Humbert e colaboradores (2009).

Foram consideradas as seguintes categorias de impacto ambiental: aquecimento global, o consumo de água e ocupação da terra. O consumidor pode navegar por meio dos resultados, e descobrir os impactos ambientais nos diferentes etapas do ciclo de vida do indicador ambiental selecionado. O “*The*

*Nescafé LCA communication tool*”, apresenta as sete etapas do ciclo de vida avaliados. O indicador de gases do efeito estufa mostra um valor total de 28 g CO<sub>2</sub> equiv. por g, utilizando 2 g de café solúvel e 120 mL de água, sendo o ciclo relacionado à agricultura o de maior contribuição, principalmente devido ao uso de fertilizantes. O consumo relativo de água foi de 140 mL água-eq por xícara de café e se deve principalmente à irrigação das lavouras.

Um estudo realizado na Alemanha em 2011, por Brommer e colaboradores, com o objetivo de identificar o impacto ambiental de diferentes formas de preparo da bebida, utilizou como unidade funcional 2.000 xícaras de café de 125 mL cada e 7 g de pó de café por xícara. Os resultados obtidos comparando-se os cenários de uso definidos neste estudo e equipamentos analisados, demonstraram que a etapa de preparação da bebida pelo consumidor representa até 30% de todas as emissões e a etapa de cultivo dos grãos 55%, sendo, portanto, as mais impactantes.

As máquinas de café totalmente automáticas e a de cápsulas tiveram o pior desempenho. Estes resultados se devem ao alto consumo energético, especialmente em máquinas que permanecem em modo *standby*, e nas máquinas automáticas devido aos programas de limpeza e lavagem (BROMMER et al, 2011).

Estudo realizado por Humbert et al (2009), avaliando café solúvel obtido por processo tipo “spray dried” aplicando a metodologia ACV comparando com café filtrado e em cápsulas contabilizou que para a produção de 1 copo (100mL) de café solúvel obtido por “spray dried” são consumidos 1MJ de energia primária não renovável, emitidos 0,07 kg de CO<sub>2</sub> equiv., e consumidos de 3 a 10 litros de água. As embalagens alternativas avaliadas, o sachê multicamadas do tipo *doypack* e em menor extensão, metálicas, geraram menores impactos ambientais que as de vidro ou em sachê multicamadas do tipo “sticks”.

O café solúvel obtido por *spray dried* usa menos energia e tem menor pegada ambiental que a cápsula de café espresso ou o café obtido por filtração, que por sua vez, apresentou o maior impacto ambiental por copo de bebida preparada. Neste mesmo estudo foram utilizados dados obtidos diretamente de indústrias e fornecedores. Os dados de consumo de energia, emissão de gases do efeito estufa e pegada de carbono foram estudados em detalhe.

Este mesmo estudo mostra que em média, metade da pegada ambiental ocorre na fase sob controle do produtor (cultivo, tratamento, processamento, embalagem e distribuição) e a outra metade no estágio sob controle do consumidor (aquisição do produto, preparo da bebida, uso e disposição final) (HUMBERT, 2009).

Um estudo realizado na Suíça (BUSSER e JUNGBLUTH, 2009), para dois produtos alimentícios – café e manteiga em embalagens flexíveis, contém informações relevantes sobre a *performance* ambiental da embalagem em relação a sua função no ciclo de vida do produto. O estudo considerou as seguintes categorias de impacto: demanda de energia não renovável, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, acidificação e eutrofização.

Como resultado o estudo mostra que os aspectos de maior relevância para uma xícara de café são o preparo da bebida, especificamente a fase de aquecimento da água e a produção da matéria-prima, que tem um impacto de 40%. Transporte e embalagem para o varejo são de menor importância. O leite adicionado ao café é relevante na preparação do “*latte*”. Os hábitos de preparo da bebida são altamente relevantes para o impacto ambiental de uma xícara de café.

O mesmo se aplica ao tipo de equipamento utilizado para aquecimento da água, por exemplo, temos a opção por uma chaleira (com baixa demanda de energia) ou uma máquina automática de café. A unidade funcional utilizada para o café foi definida como uma xícara de café pronto para beber em casa ou em pequenos escritórios.

O trabalho realizado por De Monte et al em 2005, apresenta uma comparação entre os impactos associados com as alternativas de sistema de embalagem para café torrado em grãos e torrado e moído, com o objetivo de mostrar as alterações que podem ser realizadas relacionadas ao impacto ambiental, materiais e dos processos utilizados nos estudos, latas metálicas e embalagens laminadas multicamadas contendo diferente quantidade de produto. O trabalho sugere que o uso de embalagens laminadas para pequenos volumes pode ser uma alternativa, apesar desta solução não favorecer a reciclagem do material.

Os resultados deste estudo demonstraram que as latas metálicas apresentaram um maior custo de envio para aterros quando comparado à



reciclagem, e ambas as opções de disposição tem um maior impacto ambiental do que o da matéria-prima, e estágio de produção da embalagem no ciclo de vida.

De acordo com os autores, com o crescente aumento da quantidade de lixo relacionada a embalagens para alimentos, a seleção de diferentes sistemas de embalagem deve ser feita, não somente para favorecer a conservação do alimento, mas também visando a redução de massa e aumento do uso de material reciclável.

Quanto a alterações das embalagens os autores sugerem como melhorias a substituição dos componentes plásticos na produção da embalagem laminada, a redução do peso da lata e a melhoria da eficiência energética nas linhas de produção. Outras melhorias citadas relacionadas à performance ambiental podem vir do *design* da embalagem e da adoção de políticas satisfatórias de coleta e seleção de resíduos, que dependem das atitudes do consumidor final e políticas públicas.

A avaliação da performance ambiental de embalagens em geral está focada na comparação dos diferentes materiais que compõem uma embalagem e seu design. A existência de reciclagem e/ou tratamento de resíduos de embalagem é outro aspecto que deve ser considerado nestas avaliações.

A aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na avaliação das diferentes formas de preparo da bebida de café pode fornecer informações ao consumidor, de modo a permitir a diferenciação dos produtos do ponto de vista ambiental e permitir sua escolha.

Não foi encontrado nenhum estudo relacionado à etapa de avaliação da bebida de café realizado no Brasil, somente estudos relacionados à aplicação de metodologia de avaliação do ciclo de vida em outras etapas como no estudo de ACV envolvendo a etapa agrícola (COLTRO et al, 2006 e 2012; MOURAD, 2007) de café verde/café cru - a semente, antes do processo de beneficiamento, revela que a produção de 1000 kg de café verde consome 10.670 MJ de energia decorrentes do uso de energia nas etapas de cultivo e processamento, bem como devido ao uso de diesel para funcionamento do maquinário agrícola e para as etapas de transporte de matéria prima.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

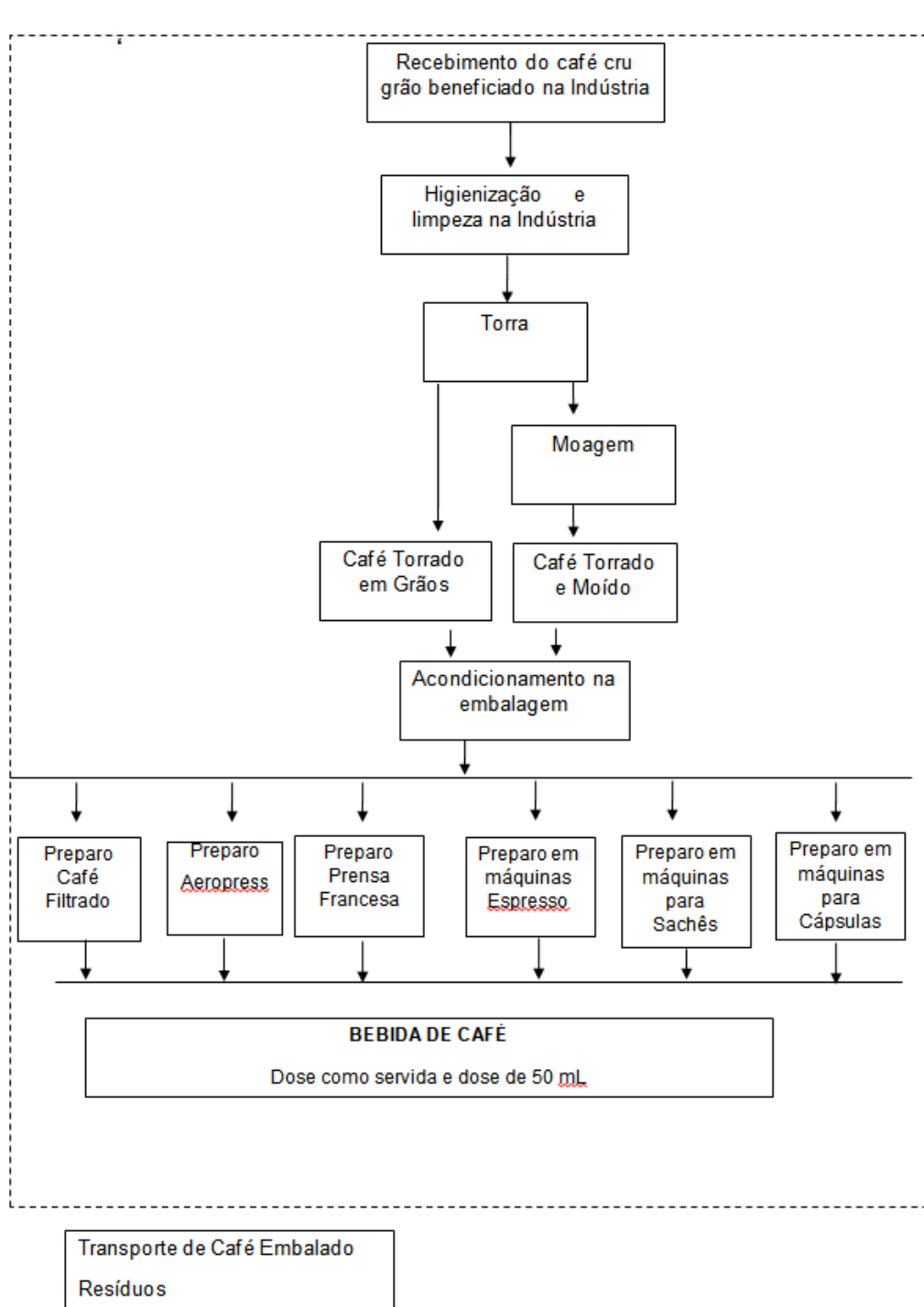
Este estudo foi delineado utilizando-se os princípios da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida, detalhados na sequência.

### 4.1 Fronteiras do Estudo

As fronteiras do estudo incluíram as etapas de transporte do grão das fazendas até o processamento, torrefação e/ou moagem dos grãos, acondicionamento em embalagens e preparo da bebida pelos diferentes métodos. Os seguintes métodos de preparo da bebida de café foram avaliados neste estudo: Espresso, French press (Prensa Francesa), Aeropress, Sistema Hario V60, Outros Sistemas de Porta filtro e Filtros em cafeterias, Porta filtro e filtro de papel modelo 103 caseiro, Máquina monodose com sachê tipo *soft-pod*, Máquina monodose com cápsula 1 e Máquina monodose com cápsula 2.

Foram excluídas das fronteiras o transporte do café até as cafeterias e até os domicílios, bem como a disposição final dos resíduos gerados até a etapa de preparo da bebida. A disposição final das embalagens após o uso foi considerada apenas em relação aos tipos e quantidades de resíduos gerados. Neste trabalho não foram coletados dados sobre os atuais processos de reciclagem ou reutilização dos materiais pós-consumo. Os materiais de composição das máquinas utilizadas para o preparo da bebida foram identificados, mas devido à restrição de tempo, não foi possível incluir a fabricação das máquinas dentro das fronteiras do estudo.

A Figura 12 mostra as fronteiras do estudo realizado, com os processos considerados neste estudo.



**Figura 12.** Fronteiras do estudo realizado com as principais etapas produtivas consideradas neste estudo (linha pontilhada).

## **4.2 Unidade Funcional**

Este estudo foi elaborado usando-se duas unidades funcionais: “dose preparada” e “50 mL de bebida pronta”. A unidade funcional “dose preparada” é a dose como servida e é importante pois representa as condições em que a bebida de café é oferecida ao consumidor.

Dado que os diferentes métodos preparam doses muito diferentes entre si, normalizou-se os resultados por 50 mL, volume bem próximo aos volumes médios determinados para os cafés preparados em máquinas monodoses e dos cafés consumidos em ambientes não domiciliares.

## **4.3 Seleção dos Métodos de Preparo da Bebida**

Baseando-se nos dados de representatividade das diversas formas de preparo da bebida de café, oriundos dos levantamentos de mercado sumarizados no ANEXO 1, foram selecionados os seguintes métodos para composição do estudo:

Espresso

Aeropress,

French Press (Prensa francesa)

Filtrado Hario V 60

Filtrado cafeterias (Kalita e outros)

Filtrado caseiro em coador de papel 103

Máquina monodose com uso de sachê de papel

Máquina monodose com uso de capsula 1

Máquina monodose com uso de capsula 2

Foram analisados 2 tipos de cápsulas, sendo uma delas de Alumínio identificada como Cápsula1 e o outro tipo cápsula de plástico, identificada como Cápsula 2.

Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 estão apresentadas fotos dos equipamentos e utensílios utilizados para o preparo da bebida durante a amostragem.



**Figura 7.** Kalita



**Figura 8.** Prensa francesa



**Figura 9.** AeroPress e Prensa Francesa



**Figura 10.** Hario V 60

#### **4.4 Coleta de Dados**

Para o levantamento da etapa de Torrefação e Moagem foram solicitados dados de empresa produtora localizada no estado de São Paulo, relativos ao ano produtivo de 2016, com processamento anual de cerca 556.503 sacas de 60 kg.

Foram coletados dados relativos ao consumo de energia, água, geração de resíduos, transporte de insumos, e distâncias de transporte de fornecedores de café cru grão beneficiado até a empresa colaboradora.

A coleta de dados referente ao preparo da bebida foi realizada entre fevereiro e novembro de 2017, através de visitas junto a cafeterias e com consumidores da bebida nas cidades de Campinas e São Paulo.

Inicialmente foi realizada entrevista piloto em uma cafeteria na cidade de Campinas para validação do questionário proposto.

O critério de escolha das cafeterias foi baseado em consultas a sites especializados em café, como o da Revista Spresso, publicações como o caderno Paladar do Jornal o Estado de São Paulo e indicação de profissionais da área. Foram selecionadas unidades com volume significativo de doses servidas por dia e que, portanto, forneceriam resultados significativos na amostragem.

As visitas foram agendadas previamente para alguns locais via correio eletrônico ou contato telefônico e em outros agendados pessoalmente.

Nas visitas às cafeterias (Tabela 2), foram coletadas informações relativas à forma de preparo das bebidas, tipos de cafés utilizados, embalagens recebidas, etc.

Os tempos de moagem e preparação da bebida foram medidos com cronômetro. As quantidades de café, água, bebida e borra produzidas foram medidas nas balanças dos estabelecimentos. Amostras das bebidas preparadas foram coletadas em frascos de vidro com tampa e o seu grau Brix determinados em laboratório. Este parâmetro foi mensurado utilizando refratômetro da marca Atago modelo Pocket PAL- $\alpha$ , de acordo com a metodologia descrita no manual do fabricante.

A Tabela 2 mostra o perfil da amostragem realizada, totalizando 40 estabelecimentos entre cafeterias, padarias e pontos de venda de café e por 30 consumidores de café (filtrado caseiro)

**Tabela 2. Perfil da amostragem realizada em 40 estabelecimentos**

<b>Tipo de preparo</b>	<b>Número de unidades amostradas</b>	<b>Localidade</b>
Espresso	30	São Paulo e Campinas
AeroPress	16	São Paulo
Prensa Francesa	16	São Paulo Campinas
Filtrado cafeterias	8	São Paulo e Campinas
Filtrado Hario V 60	10	São Paulo e Campinas
Filtrado caseiro	30	São Paulo e Campinas
Sachê	10	São Paulo
Cápsula 1	11	São Paulo
Cápsula 2	22	São Paulo
Total	153	

Para avaliação de diferenças de perfis ambientais devido a hábito de consumidores, avaliou-se o consumo de detergente e água em processo de lavagem das xícaras em comparação com o copo descartável de poliestireno, após preparação do café através do método filtrado caseiro utilizando porta filtro e filtro de papel 103. Participaram deste levantamento 30 consumidores de café.

## 4.5 Tratamento dos Dados

Os dados coletados foram organizados em planilhas Excell e os princípios de balanço de massa utilizados na análise e validação dos dados coletados.

Como a empresa fornecedora dos dados de café torrado em grãos e café torrado e moído não possuía dados individualizados dos processos de torrefação e moagem, mas apenas conjuntos, utilizou-se alocação da energia elétrica em função das produtividades por hora e potências dos torradores e moinhos.

A energia da moagem na indústria está embasada nos dados coletados no processo de produção e especificação técnica dos equipamentos. Nas cafeterias utilizou-se a potência do equipamento destinado para cada processo, associada ao tempo necessário para a moagem do café torrado em grãos, determinado através de cronômetro.

Para o cálculo das emissões decorrentes do transporte de café cru até a empresa analisada, utilizou-se as distâncias médias de cargas recebidas ponderadas pelas cargas transportadas. Como os caminhões voltam vazios, esta distância foi dobrada. Utilizou-se o consumo médio de 2 km/litro diesel para carreta de 25 a 30 toneladas, que é principal usada para este transporte, valor fornecido pela empresa transportadora.

As emissões decorrentes do consumo de energia elétrica, gás natural, GLP e diesel foram calculadas através do uso da planilha do *GHG Protocol v2017.2*

Os fatores de emissão considerados para o cálculo do potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential-GWP*) são oriundos do IPCC 2007. Os fatores usados foram: 1 para a emissão de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 25 para Metano (CH<sub>4</sub>) e 298 para Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Os dados relativos aos usos de papel e cartão foram obtidos do estudo realizado anteriormente no CETEA (MOURAD et. al, 2014).

Os dados relativos aos materiais de polietileno e de alumínio foram obtidos de banco de dados privado de empresas fabricantes no Brasil.

Os dados relativos aos materiais de poliestireno e vidro foram extraídos do software Gabi 6.

Utilizou-se dados de inventário para a produção do dodecilbenzeno sulfonato de sódio oriundos de Dossiê Técnico TECPAR (AMARAL, 2007).



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Transporte

O transporte está presente em todas as etapas do ciclo de vida e, neste estudo foram consideradas as distâncias relacionadas ao transporte do café cru, grão beneficiado (café verde) do campo e/ou beneficiamento até a indústria.

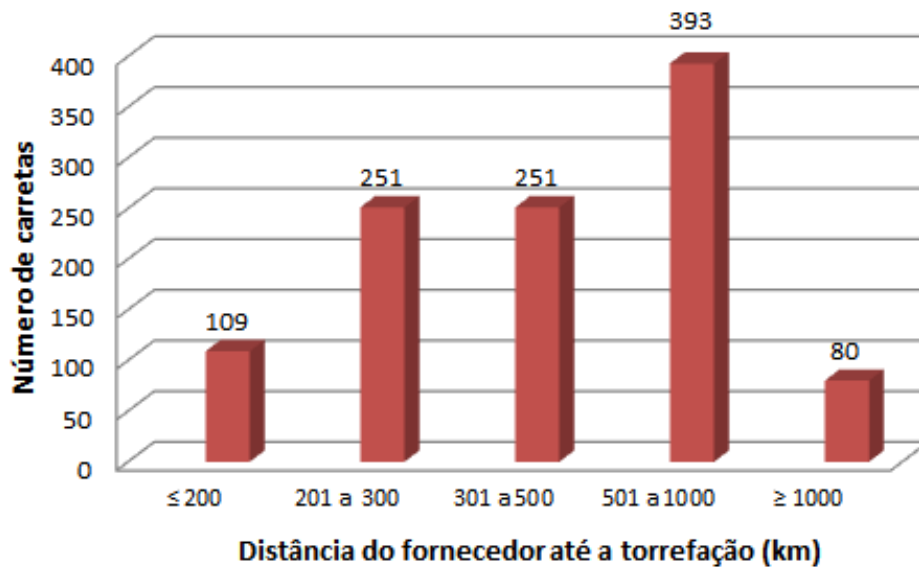
A utilização de combustíveis de origem fóssil, como o diesel está associada à depleção de recursos naturais e ao aquecimento global.

No Brasil, o transporte do café verde é realizado dentro do próprio país e inclui etapas realizadas predominantemente em malha rodoviária com consumo de combustível fóssil, o óleo diesel.

A fronteira deste estudo inicia-se com o transporte do café grão cru beneficiado até a unidade de torrefação.

Para levar o café grão cru beneficiado das unidades produtoras e beneficiadoras até a fábrica foram necessários em média 509 km para um caminhão com capacidade de 30000 kg (500 sacas de 60 kg) sendo o transporte dos grãos realizado em sacas de juta de 60 kg ou a granel. Quando ponderada pela carga média transportada, esta distância foi de 520 km, com um volume médio transportado de 494 sacas por caminhão e 27812 kg.

Na Figura 13 tem-se a quantidade de carretas de café grão verde beneficiado e a distância percorrida entre a fazenda ou armazém até a entrega na torrefação.



**Figura 13.** Perfil de distâncias percorridas para o transporte de café cru até a empresa de torrefação

## 5.2 Processo de torrefação e moagem

As informações sobre parâmetros de torrefação e moagem do café foram fornecidas pela empresa colaboradora, referentes ao ano produtivo de 2016.

### 5.2.1 Torrefação

Na empresa estudada, durante o período avaliado, o café cru grão beneficiado (café verde), destinado a café torrado e moído era recebido em caminhões a granel, com carroceria envelopada com plástico para proteção dos grãos quanto a contaminações e umidade, contendo em média 30 toneladas, que correspondem a 500 sacas de 60 kg.

No processo de recebimento do café verde a granel, após o descarregamento da carreta, o café verde seguia para sistema de higienização e limpeza: um conjunto de peneiras e sistema para retirada de pó e impurezas. Na sequência, seguia para os silos externos de armazenamento, sendo identificado por lote de acordo com a especificação técnica do produto.

Dos silos externos o café cru grão beneficiado seguia para sistema de pesagem e silos de alimentação dos torradores. Esta matéria-prima poderia ser

combinada (*blend*) com outros tipos de café antes da torra ou o *blend* pode ser realizado após a torração do café.

No processo da torrefação do café, utiliza-se ar quente e água, em atmosferas com temperaturas superiores a 240°C, onde ocorre a secagem, desidratação dos grãos e redistribuição da água, além do desencadeamento de reações químicas complexas de degradação e pirólise, nas quais são desenvolvidos aroma, cor e sabor do produto final.

No processo de torrefação ocorre perda de água e de massa orgânica, com formação e liberação de grande quantidade de gases, o que causa aumento da pressão interna do grão, que se expande, com alteração na cor do grão verde e desenvolvimento de aroma e sabor dos componentes. O processo de torrefação afeta a porosidade da parede celular das células do grão verde, o que impacta na qualidade do produto final. Esta alteração na estrutura afeta a transferência de massa durante estocagem e correlaciona-se com a capacidade de absorção de líquidos e propriedades de desgaseificação dos grãos torrados (SCHENKER, 2000). A liberação de CO<sub>2</sub> neste processo, não foi contabilizada para as emissões de gases de efeito estufa deste estudo, uma vez que são oriundas de fonte biogênica.

As condições de torrefação provocam diferentes reações químicas no grão, que incluem a decomposição de polissacarídeos e proteínas, perda de água, formação de melanoidinas e compostos voláteis. Os compostos voláteis, que caracterizam o aroma do café e constituem uma pequena porcentagem do grão torrado(0,1%), representam um universo de mais de 1000 substâncias provenientes de reações químicas complexas como as de Maillard e a degradação de Strecker (SCHENKER, 2000).

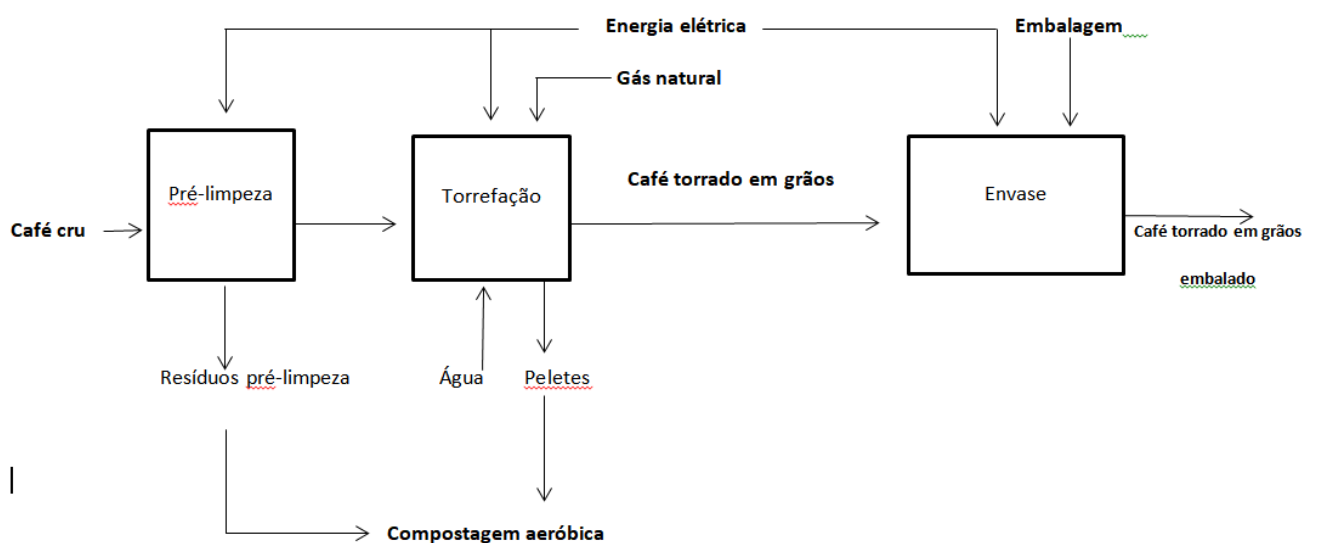
O processo de torrefação pode ser dividido em três etapas: secagem, torra e resfriamento. Inicialmente na secagem ocorre a evaporação da maior parte da água do grão. Na segunda fase, com o aumento da temperatura diversas reações pirolíticas transformam precursores em compostos responsáveis pelo sabor e aroma na bebida. Nesta fase ocorre a expansão do grão acompanhada de perda de massa. O resfriamento do grão é realizado para interromper as reações exotérmicas e determinar o nível de torra: clara, média ou escura.

Depois de torrado e resfriado, o café era transportado para silos metálicos, onde permanecia por no mínimo quatro horas. Esse período de descanso é necessário para que a maior parte dos gases que se formam durante a torra sejam eliminados. Os compostos voláteis provenientes da torrefação do café, antes de serem liberados na atmosfera, recirculam no torrador para queima, sendo somente vapor d'água liberado no ambiente pelo sistema de exaustão do torrador.

Dos silos de descanso, uma parte do café torrado segue diretamente para peneiras de seleção e separação de partículas. Em seguida esta parte é acondicionada em embalagem laminada multicamadas com válvula desgaseificadora *one way*, com adição de gás nitrogênio grau alimentício para manter o frescor do produto. Este café é comercializado como **grão torrado e consumido nas cafeterias**. Outra parte do café em grão torrado é enviado para a moagem.

A quantidade de energia utilizada na torrefação do café é proveniente dos dados de empresa colaboradora, no ano de 2016, utilizando 2 torradores de capacidade de 4000 kg por hora e Potência de 187kWh e 1 torrador de 2500 kg por hora, com Potência de 60 kWh, sendo o produto café torrado em grãos produzidos com torra de cor média a média escura.

A Figura 14 mostra o fluxograma do processo produtivo de café torrado em grãos.



**Figura 14.** Fluxograma do processo produtivo de café torrado em grãos da empresa colaboradora.

Na torrefação do café cru grão beneficiado foi utilizada energia térmica oriunda de gás natural para aquecimento da fornalha e energia elétrica para os motores do torrador e sistema de transporte de grãos.

Na torrefação do café em grandes volumes, como na unidade estudada a água é utilizada para resfriar o café torrado e interromper a pirólise.

### **5.2.2 Moagem**

Após o descanso, os grãos torrados destinados ao processo de café torrado e moído são transferidos dos silos de torrado para os moinhos de rolo.

A moagem é realizada a frio em moinhos mecânicos com conjunto sequencial de rolos, com capacidade de moagem de 2500 kg por hora em cada moinho.

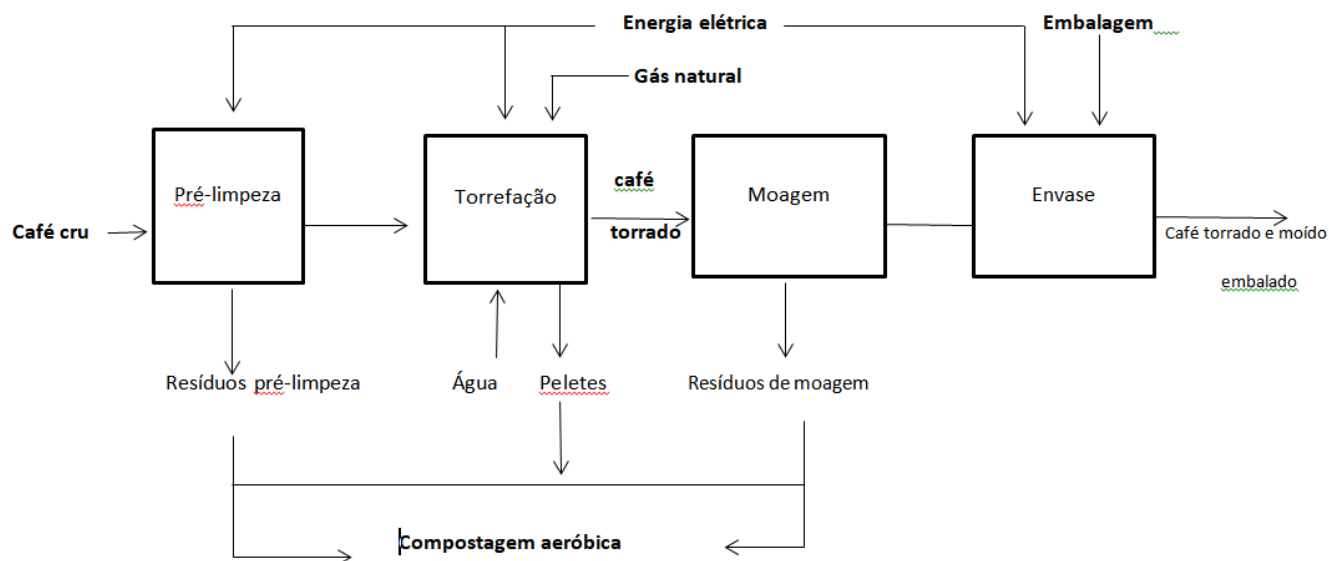
A moagem utilizada na produção de café torrado e moído varia de média a média fina. Na saída dos moinhos, o café passa por peneiras para retirada de grãos não moídos, película interna do café e partículas com tamanho superior a 2,0 mm.

O café torrado e moído era transferido para silos de alimentação dos equipamentos de envase e empacotamento, onde permanecia por mais quatro horas em repouso, para a eliminação dos gases, evitando que essa liberação ocorresse dentro da embalagem final.

No final do processo, o café torrado e moído era empacotado em embalagens tipo almofada ou a vácuo, em unidades contendo 250 g e 500 g de produto.

Durante a produção ocorrem perdas no processo produtivo. Na indústria em questão, os resíduos sólidos gerados, no sistema de higienização e limpeza do café cru (película interna desprendida do grão de café durante a torra), resíduos da moagem e de varrição são enviados para caçamba específica para produtos orgânicos e destinados para compostagem.

A Figura 15 mostra o fluxograma do processo produtivo de café torrado e moído da empresa.



**Figura 15.** Fluxograma do processo produtivo de café torrado e moído da empresa colaboradora.

Após a fase de embalagem, o produto seja café torrado em grãos ou café torrado e moído era enviado para a área de Logística e Armazenamento de onde seguia em caminhões por transporte rodoviário para Centros de Distribuição ou diretamente para os clientes.

O inventário médio dos processos produtivos de torrefação e moagem é mostrado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Inventário médio dos processos produtivos de torrefação e moagem da empresa colaboradora.

Torrefação		Torrefação e moagem	
Entradas	Unid./ 1000 kg	Entradas	Unid./ 1000 kg
Café cru beneficiado (kg)	1152	Café cru beneficiado (kg)	1203
Energia elétrica (MJ)	275	Energia elétrica (MJ)	435
Gás natural (MJ)	1702	Gás natural (MJ)	1777
Água (kg)	384	Água (kg)	401
Saídas	Unid./1000 kg	Saídas	Unid./ 1000 kg
Café torrado em grão (kg)	1000	Café torrado e moído (kg)	1000
Água em forma de vapor (kg)	419	Água em forma de vapor (kg)	437
Peletes do torrador (kg)	13	Peletes do torrador (kg)	13
Perda de massa na torrefação (kg)	88	Resíduos da moagem (kg)	8
Resíduos da pré-limpeza (kg)	12	Resíduos da pré-limpeza (kg)	12
Varrição (kg)	6	Varrição (kg)	6

A análise da Tabela 3 mostra que a maior parte do gasto energético (93%) se destina a torra do café (1716 MJ/1000 kg de café cru), quando comparado a 1838 MJ/1000kg de café cru para a torra e moagem.

A água necessária para a torra representa 33% da massa do grão cru. Observa-se que cerca de 13% da massa de café grão cru é perdida durante a torrefação em relação ao café torrado. Cerca de 10% da massa do grão cru gera resíduos sólidos, que são destinados à compostagem aeróbica.

### **5.3 Inventários resultantes do estudo**

Nas Tabelas de 4 a 21 são apresentados os inventários finais deste estudo, nos quais são consideradas as etapas de transporte do grão cru, torrefação e moagem para os diferentes métodos de preparo da bebida. São apresentados os valores médio, mínimo (min), máximo (max), o desvio padrão (DP) e o coeficiente (CV%) de variação dos dados obtidos.

Os inventários são apresentados nas duas unidades funcionais deste estudo, por dose como servida e para a dose de 50 mL:

Tabela 4. Espresso por dose preparada.

Tabela 5. AeroPress por dose preparada.

Tabela 6. Prensa francesa por dose preparada.

Tabela 7. Filtrado V60 por dose preparada.

Tabela 8. Filtro cafeterias por dose preparada.

Tabela 9. Filtro caseiro por dose preparada.

Tabela 10. Monodose com sachê por dose preparada.

Tabela 11. Monodose com cápsula 1 por dose preparada.

Tabela 12. Monodose com cápsula 2 por dose preparada.

Tabela 13. Espresso por 50 mL.

Tabela 14. Aeropress por 50 mL.

Tabela 15. Prensa francesa por 50 mL.

Tabela 16. Filtrado V60 por 50 mL.

Tabela 17. Filtrado cafeterias por 50 mL.

Tabela 18. Filtrado caseiro por 50 mL.

Tabela 19. Monodose com sachê por 50 mL.

Tabela 20. Monodose com cápsula 1 por 50 mL.

Tabela 21. Monodose com cápsula 2 por 50 mL.

A Tabela 22 traz um quadro resumo das quantidades de água, café e grau Brix das bebidas preparadas pelos diferentes métodos.

A discussão destes resultados é apresentada nas sessões subsequentes.

**Tabela 4.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Espresso**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0.009	0.005	0.016	0.003	34.5
Energia torra (MJ)	0.024	0.014	0.042	0.008	34.5
Água para torra (kg)	0.005	0.003	0.009	0.002	34.5
Café torrado em grãos (g)	12.0	7.0	21.0	4.2	34.5
Massa da embalagem por dose (g)	0.46	0.15	2.17	0.51	110.0
Água para bebida (g)	64	38	157	23	36,5
Energia moagem do café (MJ)	0.005	0.001	0.092	0.016	314.6
Energia extração da bebida (MJ)	0.117	0.046	0.317	0.048	41.1
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	41.8	25.0	70.0	11.1	26.6
Borra (g)	32,8	14,7	102,0	17,4	52,9
Resíduo de embalagem (g)	0.46	0.15	2.17	0.51	110.0
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0.36	0.21	0.63	0.13	34.5
Grau Brix da bebida	6.5	3.0	11.2	2.0	30.8

*Número de cafeterias=30*



**Tabela 5.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Aeropress**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0.013	0.009	0.019	0.003	20.0
Energia torra (MJ)	0.032	0.006	0.049	0.010	29.8
Água para torra (kg)	0.007	0.005	0.010	0.001	20.0
Café torrado em grãos (g)	16.9	12.0	25.0	3.4	20.3
Massa da embalagem por dose (g)	0.36	0.05	0.56	0.13	37.2
Água para bebida (g)	168	110	220	31	18.7
Energia moagem do café (MJ)	0.005	0.000	0.013	0.0	74.8
Energia extração da bebida (MJ)	0.052	0.001	0.540	0.1	251.7
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	144	102	190	29	20.3
Borra (g)	37	24	74	12	34
Resíduo de embalagem (g)	0.36	0.05	0.56	0.13	37.2
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0.51	0.36	0.76	0.10	20.3
Grau Brix da bebida	1.8	1.0	3.0	0.7	36.7

Número de cafeterias=16

**Tabela 6.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Prensa Francesa**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,014	0,000	0,021	0,005	34,5
Energia torra (MJ)	0,035	0,000	0,053	0,012	34,5
Água para torra (kg)	0,008	0,000	0,011	0,003	34,5
Café torrado em grãos (g)	19,1	13,0	27,0	4,3	22,3
Massa da embalagem por dose (g)	0,42	0,14	0,97	0,2	45,4
Água para bebida (g)	229	130	400	74	32,1
Energia moagem do café (MJ)	0,005	0,001	0,011	0,004	73,1
Energia extração da bebida (MJ)	0,095	0,006	0,810	0,203	213,1
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	181	97	345	62,7	34,6
Borra (g)	54	32	88	14,3	26,4
Resíduo de embalagem (g)	0,42	0,14	0,97	0,19	45,4
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,58	0,39	0,82	0,13	22,3
Grau Brix da bebida	2,0	0,9	3,2	0,7	34,6

Número de cafeterias=16

**Tabela 7.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Filtrado V 60**.  
Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,012	0,000	0,023	0,006	50,2
Energia torra (MJ)	0,032	0,000	0,059	0,016	50,2
Água para torra (kg)	0,007	0,000	0,013	0,003	50,2
Café torrado em grãos (g)	17,9	10,0	30,0	6,5	36,2
Massa da embalagem por dose (g)	0,5	0,1	1,0	0,2	49,1
Água para bebida (g)	169	110	300	63	37,3
Energia moagem do café (MJ)	0,006	0,001	0,013	0,004	74,4
Energia extração da bebida (MJ)	0,105	0,011	0,540	0,177	168,8
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	141	92	250	55	39,0
Borra (g)	42	27	67	13	31,7
Resíduo de embalagem (g)	0,46	0,10	0,96	0,22	49,1
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,54	0,30	0,91	0,20	36,2
Grau Brix da bebida	2,0	1,0	3,6	0,8	40,1

Número de cafeterias=10

**Tabela 8.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Filtrado cafeterias**.  
Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,017	0,008	0,031	0,009	50,4
Energia torra (MJ)	0,044	0,020	0,079	0,022	50,4
Água para torra (kg)	0,009	0,004	0,017	0,005	50,4
Café torrado em grãos (g)	23	10	40	11	50,4
Massa da embalagem por dose (g)	1,32	0,32	4,33	1,35	102,4
Água para bebida (g)	207	100	500	134	169,9
Energia moagem do café (MJ)	0,011	0,001	0,033	0,012	105,1
Energia extração da bebida (MJ)	0,022	0,003	0,063	0,018	84,4
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	167	75	420	118	70,3
Borra (g)	52,0	28,0	130,0	33,2	63,9
Resíduo de embalagem (g)	1,32	0,32	4,33	1,35	102,4
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,68	0,30	1,21	0,34	50,4
Grau Brix da bebida	1,9	1,4	2,3	0,3	16,9

Número de cafeterias= 8

**Tabela 9.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Filtrado caseiro**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,475	0,008	1,000	0,487	102,7
Energia torra e moagem (MJ)	0,101	0,022	0,226	0,058	56,8
Água para torra (kg)	0,018	0,004	0,041	0,010	56,8
Café torrado em grãos (g)	46,2	10,0	102,2	24,0	52,0
Massa da embalagem por dose (g)	3,31	2,98	3,90	0,19	5,8
Água para bebida (g)	733	100	2120	493	67,3
Energia extração da bebida (MJ)	0,641	0,010	2,250	0,547	85,3
Detergente para lavagem (g)	16,65	0,00	64,40	13,7	82,0
Água para lavagem da xícara (mL)	10185,91	579,49	66010,00	15225,4	149,5
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	574	84	1610	364	63,4
Borra (g)	127	26	325	73	58,0
Resíduo de embalagem (g)	2,93	0,44	4,50	1,0	35,4
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	1,78	0,40	4,06	0,9	51,2
Grau Brix da bebida	1,97	0,40	3,90	0,97	49,2
Detergente para lavagem (g)	16,65	0,00	64,40	13,7	82,0
Água para lavagem da xícara (mL)	10185,91	579,49	66010,00	15225,4	149,5

Número de participantes=30

**Tabela 10.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Monodose com sachê**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,006	0,005	0,006	0,000	2,909
Energia torra e moagem (MJ)	0,015	0,015	0,016	0,000	2,909
Água para torra (kg)	0,003	0,003	0,003	0,000	2,909
Café torrado em grãos (g)	7,0	6,7	7,2	0,2	2,9
Massa da embalagem por dose (g)	0,74	0,74	0,74	0,00	0,00
Água para bebida (g)	65	63	68	2	2
Energia extração da bebida (MJ)	0,024	0,020	0,026	0,002	7,885
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	54	52	57	2	4
Borra (g)	17	16	18	1	4
Resíduo de embalagem (g)	0,74	0,74	0,74	0,00	0,00
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,28	0,27	0,29	0,01	2,91
Grau Brix da bebida	2,75	2,40	3,10	0,24	8,61

Número de participantes=10

**Tabela 11.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Monodose com Cápsula 1**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,004	0,004	0,005	0,000	5,4
Energia torra e moagem (MJ)	0,011	0,011	0,013	0,001	5,4
Água para torra (kg)	0,002	0,002	0,002	0,000	5,4
Café torrado em grãos (g)	5,1	4,9	5,9	0,3	5,4
Massa da embalagem por dose (g)	2,44	2,44	2,44	0,00	0,0
Água para bebida (g)	50	50	50	0,0	0,0
Energia extração da bebida (MJ)	0,016	0,010	0,031	0,006	39,9
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	41	38	46	2	5,1
Borra (g)	12	11	14	1	7,1
Resíduo de embalagem (g)	2,44	2,44	2,44	0,00	0,0
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,20	0,20	0,23	0,01	5,4
Grau Brix da bebida	3,7	2,5	4,7	0,7	18,1

Número de participantes=11

**Tabela 12.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Monodose com Cápsula 2**. Unidade funcional: 1 dose como preparada.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,006	0,006	0,006	0,000	3,3
Energia torra e moagem (MJ)	0,017	0,017	0,018	0,001	3,3
Água para torra (kg)	0,003	0,003	0,003	0,000	3,3
Café torrado em grãos (g)	7,8	7,5	8,0	0,3	3,3
Massa da embalagem por dose (g)	5,29	5,29	5,29	0,00	0,0
Água para bebida (g)	51	32	70	18	35,5
Energia extração da bebida (MJ)	0,039	0,026	0,051	0,008	21,3
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	41	32	50	8	18,9
Borra (g)	19	18	22	1	5,9
Resíduo de embalagem (g)	5,29	5,29	5,29	0,00	0,0
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,31	0,30	0,32	0,01	3,3
Grau Brix da bebida	5,8	4,4	6,9	1,0	17,1

Número de participantes=22

**Tabela 13.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Espresso**.  
Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,012	0,005	0,026	0,005	45,0
Energia torra (MJ)	0,031	0,012	0,066	0,014	45,0
Água para torra (kg)	0,006	0,003	0,014	0,003	45,0
Café torrado em grãos (g)	15,5	6,0	33,3	7,0	45,0
Massa da embalagem por dose (g)	0,61	0,13	3,10	0,74	121,4
Água para bebida (g)	77,0	50,0	130,5	18,1	23,5
Energia moagem do café (MJ)	0,008	0,001	0,153	0,028	347,1
Energia extração da bebida (MJ)	0,149	0,051	0,406	0,066	44,4
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50,0	50,0	50,0	0,0	0
Borra (g)	41	13	85	20	48
Resíduo de embalagem (g)	0,61	0,13	3,10	0,74	121
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,47	0,18	1,01	0,21	45
Grau Brix da bebida	6,5	3,0	11,2	2,0	30,8

Número de cafeterias=30

**Tabela 14.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Aeropress**.  
Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,005	0,000	0,016	0,003	65,25
Energia torra (MJ)	0,013	0,000	0,042	0,008	65,25
Água para torra (kg)	0,003	0,000	0,009	0,002	65,25
Café torrado em grãos (g)	6,8	4,0	21,0	4,0	58,26
Massa da embalagem por dose (g)	0,13	0,02	0,42	0,09	63,86
Água para bebida (g)	59	52	91	9	15,30
Energia moagem do café (MJ)	0,002	0,000	0,005	0,002	73,11
Energia extração da bebida (MJ)	0,016	0,000	0,154	0,037	230,24
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50	50	50	0	0
Borra (g)	13,4	7,3	34,6	6,3	47,0
Resíduo de embalagem (g)	0,13	0,02	0,42	0,09	63,86
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,21	0,12	0,63	0,12	58,26
Grau Brix da bebida	1,8	1,0	3,0	0,7	36,7

Número de cafeterias=16

**Tabela 15.** Inventário médio da preparação da bebida de café **Prensa Francesa**.  
Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,005	0,003	0,011	0,002	40,8
Energia torra (MJ)	0,012	0,008	0,028	0,005	40,8
Água para torra (kg)	0,003	0,002	0,006	0,001	40,8
Café torrado em grãos (g)	6,0	3,9	14,0	2,5	40,8
Massa da embalagem por dose (g)	0,005	0,003	0,011	0,002	40,8
Água para bebida (g)	64	54	88	9	14
Energia moagem do café (MJ)	0,001	0,000	0,003	0,001	66,5
Energia extração da bebida (MJ)	0,034	0,002	0,338	0,084	248,8
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50	50	50	0	0,0
Borra (g)	16	8	25	5	28,9
Resíduo de embalagem (g)	0,13	0,07	0,21	0,04	28,7
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,18	0,12	0,42	0,07	40,8
Grau Brix da bebida	2,0	0,9	3,2	0,7	34,6

Número de cafeterias=16

**Tabela 16.** Inventário médio da preparação da bebida de café **Filtrado V 60**.  
Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,005	0,003	0,009	0,002	33,5
Energia torra (MJ)	0,013	0,009	0,024	0,004	33,5
Água para torra (kg)	0,003	0,002	0,005	0,001	33,5
Café torrado em grãos (g)	6,6	4,5	12,3	2,2	33,5
Massa da embalagem por dose (g)	0,2	0,1	0,3	0,1	39,0
Água para bebida (g)	60,2	55,0	65,2	3,8	6,3
Energia moagem do café (MJ)	0,002	0,000	0,005	0,002	79,7
Energia extração da bebida (MJ)	0,043	0,004	0,273	0,084	196,3
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50,0	50,0	50,0	0,0	0,0
Borra (g)	16	6	30	7	41,4
Resíduo de embalagem (g)	0,17	0,05	0,27	0,07	39,0
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,20	0,14	0,37	0,07	33,5
Grau Brix da bebida	2,0	1,1	3,6	0,8	40,1

Número de cafeterias=10

**Tabela 17.** Inventário médio da preparação da bebida de café **Filtrado cafeterias**.  
Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,006	0,003	0,017	0,005	70,4
Energia torra (MJ)	0,017	0,009	0,043	0,012	70,4
Água para torra (kg)	0,003	0,002	0,009	0,002	70,4
Café torrado em grãos (g)	8,4	4,5	21,9	5,9	70,4
Massa da embalagem por dose (g)	0,64	0,13	2,41	0,84	131,9
Água para bebida (g)	69	57	100	14	20
Energia moagem do café (MJ)	0,003	0,001	0,008	0,003	88,5
Energia extração da bebida (MJ)	0,007	0,002	0,014	0,004	56,7
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50	50	50	0,0	0,0
Borra (g)	17	12	24	4	26,3
Resíduo de embalagem (g)	0,64	0,13	2,41	0,84	131,9
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,25	0,13	0,66	0,18	70,4
Grau Brix da bebida	1,9	1,4	2,3	0,3	16,9

Número de cafeterias=8

**Tabela 18.** Inventário médio da preparação da bebida de café **Filtrado caseiro**.  
Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,002	0,000	0,006	0,002	107,2
Energia torra e moagem (MJ)	0,005	0,000	0,016	0,005	107,2
Água para torra (kg)	0,001	0,000	0,003	0,001	107,2
Café torrado em grãos (g)	2,1	0,0	7,3	2,2	107,2
Massa da embalagem por dose (g)	0,42	0,12	1,78	0,31	74,7
Água para bebida (g)	62,6	50,0	74,2	4,9	7,8
Energia extração da bebida (MJ)	0,082	0,000	0,808	0,135	164,8
Detergente para lavagem (g)	1,5	0,0	5,0	1,3	83
Água para lavagem da xícara (mL)	865	234	3889	949	110
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50	50	50	0,0	0,0
Borra (g)	12,2	4,2	32,9	5,4	43,9
Resíduo de embalagem (g)	0,42	0,12	1,78	0,31	74,7
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,08	0,00	0,29	0,09	107,2
Grau Brix da bebida	2,0	0,4	3,9	1,0	49,2

Número de participantes=30

**Tabela 19.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Monodose com sachê**. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,005	0,005	0,005	0,000	3,6
Energia torra e moagem (MJ)	0,014	0,014	0,015	0,001	3,6
Água para torra (kg)	0,003	0,002	0,003	0,000	3,6
Café torrado em grãos (g)	6,5	6,2	6,8	0,2	3,6
Massa da embalagem por dose (g)	0,69	0,65	0,72	0,02	3,5
Água para bebida (g)	60,85	59,27	62,93	1,00	1,6
Energia extração da bebida (MJ)	0,024	0,020	0,026	0,002	7,9
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50,0	50,0	50,0	0,0	0,0
Borra (g)	15,7	13,9	17,6	1,1	7,2
Resíduo de embalagem (g)	0,69	0,65	0,72	0,02	3,5
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,26	0,25	0,27	0,01	3,6
Grau Brix da bebida	2,6	2,3	3,0	0,3	9,77

Número de participantes=10

**Tabela 20.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Monodose com Cápsula 1**. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,005	0,005	0,005	0,000	5,1
Energia torra (MJ)	0,014	0,013	0,015	0,001	5,1
Água para torra (kg)	0,003	0,002	0,003	0,000	5,1
Café torrado em grãos (g)	6,3	5,9	6,9	0,3	5,1
Massa da embalagem por dose (g)	3,0	2,7	3,2	0,1	4,9
Água para bebida (g)	61,1	54,6	65,8	3,0	4,9
Energia extração da bebida (MJ)	0,019	0,012	0,037	0,008	40,4
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50,0	50,0	50,0	0,0	0,0
Borra (g)	15,0	13,5	17,7	1,3	8,4
Resíduo de embalagem (g)	2,98	2,66	3,21	0,15	4,9
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,25	0,23	0,27	0,01	5,1
Grau Brix da bebida	3,7	2,5	4,7	0,7	18,1

Número de participantes=11



**Tabela 21.** Inventário **médio** da preparação da bebida de café **Monodose com Cápsula 2**. Unidade funcional: 1 dose de 50 mL.

<b>Entrada</b>	<b>Média</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Energia para transporte do café cru (MJ)	0,008	0,006	0,009	0,001	17,4
Energia torra e moagem (MJ)	0,021	0,018	0,026	0,004	17,4
Água para torra (kg)	0,004	0,003	0,005	0,001	17,4
Café torrado em grãos (g)	9,6	8,0	11,7	1,7	17,4
Massa da embalagem por dose (g)	6,7	5,3	8,3	1,3	19,1
Água para bebida (g)	60,6	50,0	75,0	10,9	18,1
Energia extração da bebida (MJ)	0,039	0,026	0,051	0,008	20,5
<b>Saída</b>					
Bebida de café (mL)	50,0	50,0	50,0	0,0	0,0
Borra (g)	24,0	18,2	32,8	4,7	19,5
Resíduo de embalagem (g)	6,68	5,29	8,26	1,28	19,1
Resíduos orgânicos para compostagem (g)	0,38	0,32	0,46	0,07	17,4
Grau Brix da bebida	5,8	4,4	6,9	1,0	17,1

Número de participantes=22

**Tabela 22.** Avaliação de café, dose preparada e grau Brix médios para os diferentes métodos estudados. Unidade funcional: dose como preparada.

<b>Método de preparo</b>	<b>Café Torrado e/ou torrado e moído (g)</b>	<b>Dose preparada (mL)</b>	<b>°Brix</b>	<b>Equipamento</b>
Espresso	12,0	42	6,50	Máquina para Espresso (2 a 3 grupos)
AeroPress	16,9	144	1,80	AeroPress
Prensa Francesa	19,1	181	2,00	Prensa Francesa
Filtrado cafeterias	22,5	167	1,90	Filtro e porta filtro (Kalita e outros)
Filtrado V 60	17,9	141	2,00	Filtro e porta filtro Hario V 60
Filtrado caseiro	46,2	574	1,97	Filtro e porta filtro 103
Monodose Sachê	7,0	54	2,75	Máquina para sachê de papel
Monodose Cápsula 1	5,1	41	3,70	Máquina para cápsula de alumínio
Monodose Cápsula 2	7,8	41	5,80	Máquina para cápsula plástica

Considerando a dose como é apresentada para o consumo, observa-se que esta medida é variável no conteúdo e em volume, diluição e grau Brix, mas representa a forma em que a bebida de café é disponibilizada aos consumidores, e por esta razão foi considerada no contexto geral.

Uma das principais diferenças relaciona-se à própria dose preparada, que é de 41 mL para as cápsulas 1 e 2 e varia até 574 mL, para o café preparado com filtro caseiro. Quando se consideram as variações máximas, observaram-se volumes mínimos de 25mL (Espresso) até 1610mL (Filtrado caseiro).

O Espresso foi a bebida que apresentou a maior °Brix (6,5), seguida pelas Cápsulas 2 e 1, como pode ser observado na Tabela 22. Este aspecto está relacionado ao grau de concentração de sólidos solúveis nos tipos de preparo citados, que utilizam maior quantidade de café torrado e moído, menor quantidade de água e pressão na extração da bebida, o que facilita a extração de sólidos solúveis.

A bebida de café com o menor °Brix dentre as amostras avaliadas foi a preparada na AeroPress, que tem como proposta imersão e pressão para a extração da bebida de café de forma manual. Como um tempo de contato entre o café torrado e moído e a água mais curto (cerca de 45 segundos) e temperatura de extração mais baixa do que outros métodos, a bebida resultante é mais suave e com menor acidez.

No filtrado caseiro, o tamanho da dose variou entre 83,5 mL a 1610 mL, enquanto que no Filtrado cafeterias variou entre 75 e 420 mL, sendo a dose média 574 mL e 167 mL, respectivamente.

Nas pesquisas de mercado, sabe-se que a maior quantidade de bebida de café é preparada no lar, em quantidades superiores a que será consumida, e onde se observa o descarte de bebida não consumida. A monodose, consumida com maior frequência dentro do lar, permite que seja preparada apenas a dose a ser utilizada, evitando o descarte de bebida não consumida.

Para efeito de comparação em bases semelhantes e também entendimento da variação nos resultados, este estudo avaliou como unidade funcional: a “dose do café como servida” e a dose de 50 mL.

O consumo médio das cafeterias avaliadas foi de cerca de 2,7 kg de café torrado em grãos por dia.

No preparo da bebida foram utilizados café torrado e moído pronto para o consumo no filtrado caseiro e café torrado em grãos, moído no momento do preparo da bebida de café nas cafeterias. Nos métodos avaliados observou-se diferenças no preparo, que pode ser manual ou com utilização de equipamentos específicos para cada método, com e sem utilização de energia elétrica em todas as etapas, desde a moagem até a extração da bebida, com utilização de gás natural e realizadas de forma manual ou automática, dependendo do local e método utilizado.

Observou-se diferenças tanto no método de preparo quanto nas marcas de equipamentos utilizados. Na preparação do café Espresso foram identificadas máquinas automáticas e super automáticas, que aquecem e pressurizam a água em diferentes condições, bem como diferenças nos equipamentos de moagem nas cafeterias.

A extração de óleos depende basicamente da temperatura, bem como da pressurização do processo e tempo de contato entre o café e a água, sendo maior no Café filtrado e menor na *AeroPress*, por isso o menor conteúdo de sólidos solúveis.

Os cafés utilizados também possuem diferença na cor da torra, granulometria, composição físico-química e diferentes origens, o que permite que a bebida seja preparada para diferentes paladares.

Na preparação da bebida existem diferenças na temperatura da água utilizada, na dose (proporção entre quantidade de café e água), no tempo de imersão (tempo de contato entre café torrado e moído e água), uso ou não de pressão na extração da bebida e ocorrência ou não de agitação ou mistura durante o preparo.

O tempo de contato entre a água e o café variou de alguns segundos no Espresso a vários minutos em outros tipos de preparo da bebida de café, sendo que na amostragem realizada, o preparo no método café filtrado apresentou maior duração.

A moagem do café torrado em grãos para o preparo do Espresso é mais fina do que para os preparos tipo Filtrado e Prensa Francesa. Para o preparo na *AeroPress*, a moagem do café utilizado é similar à do Espresso.

Nos métodos avaliados a extração realizada utilizou pressão ou não. A utilização de pressão ocorreu de forma manual como na *AeroPress* e automática no preparo do Espresso.

Além das diferenças existentes entre os equipamentos e utensílios utilizados no preparo da bebida de café, identificou-se diversos tipos e tamanhos de embalagens para armazenamento do café torrado em grãos e café torrado e moído.

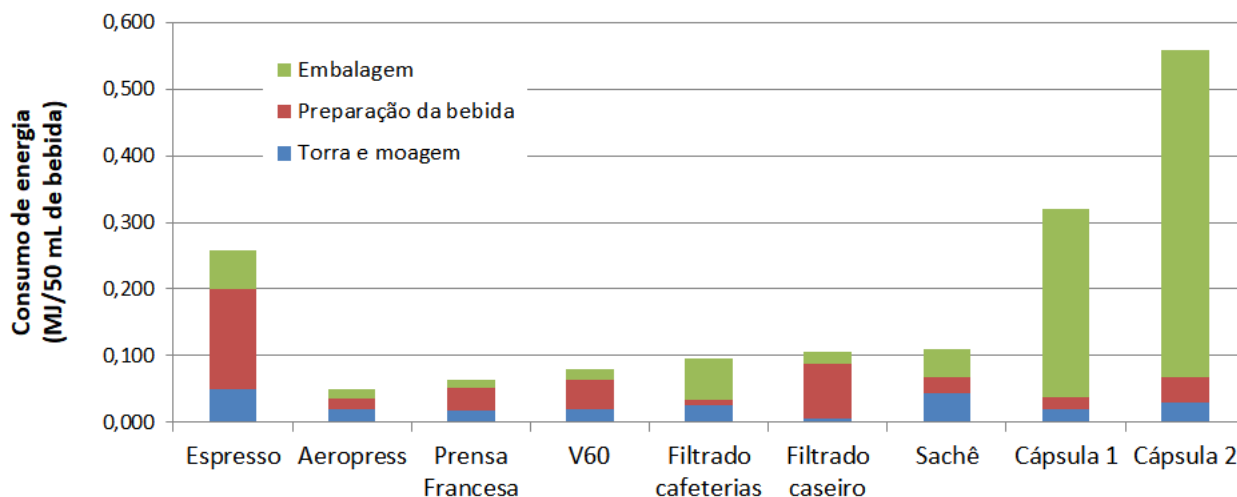
A análise de impactos ambientais dos diferentes métodos necessita da homogeneização da unidade funcional para um mesmo volume de bebida. As diferenças entre os métodos são discutidas na próxima sessão para a unidade funcional de 50 mL de bebida preparada.

#### **5.4 Avaliação dos principais impactos ambientais e análise de contribuição**

Neste trabalho foram avaliados os fluxos de energia, água, emissão de gases de efeito estufa e geração de resíduos nas etapas contempladas: transporte do grão cru, torrefação e moagem e para os diferentes métodos de preparo da bebida. A forma de apresentação dos resultados já permite que se identifique os principais contribuintes para cada categoria de impacto avaliada.

##### **5.4.1 Consumo de Energia**

A Figura 16 sumariza os principais consumos de energia dos sistemas avaliados.



**Figura 16.** Análise de contribuição do consumo de energia para as etapas avaliadas para as diferentes formas de preparo da bebida.

O método da monodose com a cápsula 2 tem o maior consumo de energia (0,56MJ/50 mL de bebida), seguido pelo mesmo método com a cápsula 1 (0,32 MJ/50mL de bebida). Nestes dois casos, o consumo devido à embalagem representa 0,49 MJ/50 mL e 0,28 MJ/50 mL respectivamente.

Segundo informações recebidas do fabricante da cápsula 2, todos os componentes das cápsulas são recicláveis, desde que o consumidor abra a cápsula e realize a separação do plástico, alumínio e o café (orgânico) e assim direcione cada um para seu respectivo local de destino para reciclagem. Entretanto, esta operação demanda processo de conscientização do consumidor, muitas vezes despreocupado com estas questões. Além disso, observa-se que não existe na maioria das cidades brasileiras coleta seletiva para cada um dos diversos componentes.

No Espresso, o maior gasto de energia está relacionado ao preparo da bebida de café, principalmente pelo gasto energético relacionado à extração da bebida, seguido pelo consumo de energia na produção da embalagem e no processo de torrefação e moagem. Na extração da bebida o consumo de energia (0,15 MJ/50 mL) está relacionado à alta demanda energética das máquinas automáticas e super automáticas utilizadas neste modo de preparo, somada à quantidade de energia utilizada na moagem do café torrado em grãos

(0,05 MJ/50 mL) para o preparo da bebida de café.

No filtrado caseiro, observa-se significativo consumo de energia devido ao uso do GLP (gás liquefeito de petróleo) para o aquecimento de água para preparo da bebida de café. A extração da bebida de café utiliza energia elétrica para a maioria dos preparos da bebida de café estudados, com exceção do Filtrado caseiro. No queimador de fogão, quando do aquecimento de um dado recipiente ocorre perda de calor por queima incompleta, ocasionando dispersão de energia e aquecimento do ambiente.

Para o Filtrado preparado em cafeterias, o maior consumo de energia está relacionado à embalagem, com maior impacto quando da utilização de latas de alumínio (3 kg) que armazenam café torrado em grãos e embalagens plásticas para armazenamento do produto a granel (10 kg).

O método AeroPress consumiu menor quantidade de energia por dose de 50 mL, por se tratar de método manual e utilizar energia somente para o aquecimento da água. Soma-se a esta informação a menor quantidade de café utilizada, com tempo de moagem mais curto e menor consumo de energia nesta etapa.

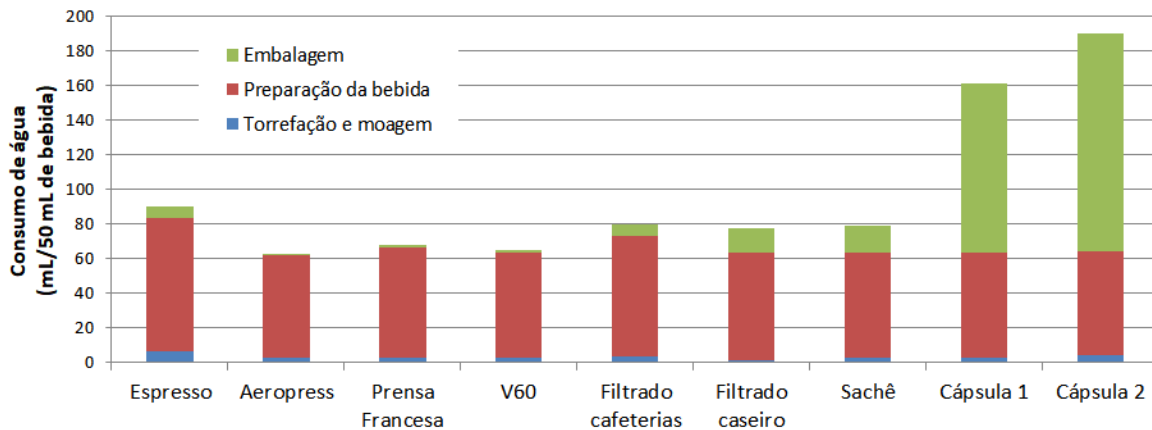
Muitas cafeterias avaliadas informaram que possuem programa próprio de coleta de resíduos, especialmente da borra de café. O filtro de papel é destinado ao lixo comum assim como as embalagens primárias e secundárias.

A borra do café é em geral destinada a compostagem e em algumas cafeterias está disponível para retirada e uso pelo consumidor.

No filtrado caseiro, a disposição dos resíduos é de responsabilidade do consumidor que precisa separar a borra, o filtro de papel e a embalagem e dar diferentes destinações a cada um destes resíduos.

### 5.4.2 Consumo de Água

A Figura 17 mostra o consumo médio de água dos sistemas avaliados.



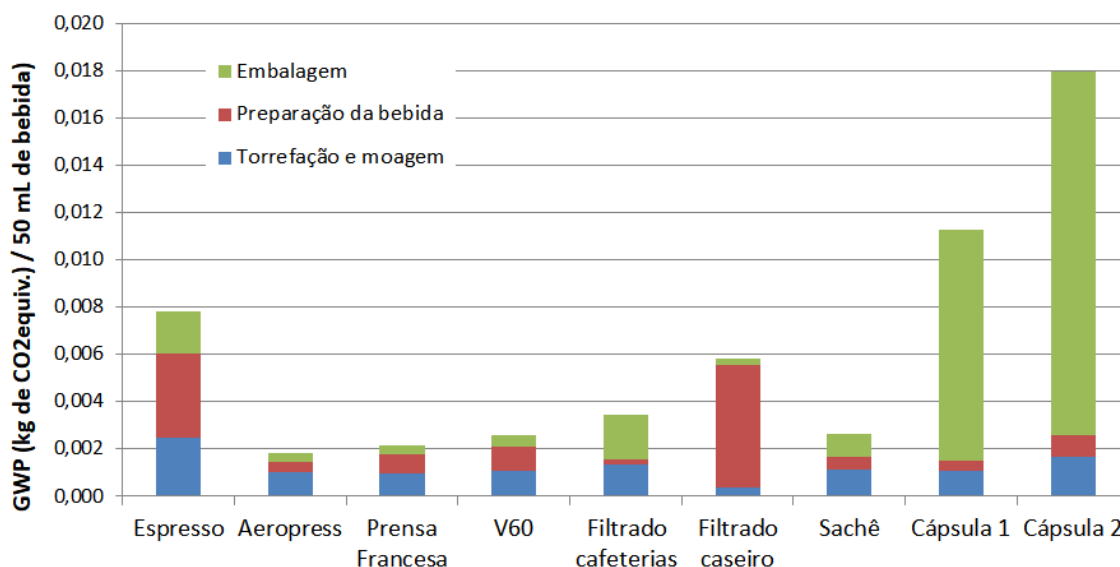
**Figura 17.** Análise de contribuição do consumo de água para as etapas avaliadas para as diferentes formas de preparo da bebida por dose de 50 mL.

Embora o uso de Cápsulas aparentemente consumir pouca água apenas para a dose preparada, quando a água associada à fabricação da embalagem é contabilizada, os métodos de monodose com cápsulas são os mais demandantes deste insumo, onde tem-se Cápsula 2 com 191 mL/50 mL de bebida e Cápsula 1 com 161 mL/50 mL de bebida.

Cada método de preparo da bebida utiliza uma quantidade específica de água, dependente do método que está sendo utilizado. Assim quando a comparação é feita para uma dose padrão é possível comparar o consumo por método de preparo. O método Filtrado cafeterias foi a que apresentou o maior consumo de água na preparação da bebida para a dose de 50 mL, seguido pelo Espresso. Este maior consumo deve-se provavelmente a utilização de água fervente proveniente da máquina para o preparo do Espresso.

### 5.4.3 Emissão de gases de efeito estufa – GWP100

A Figura 18 sumariza as emissões de gases de efeito estufa expressas no Potencial de Aquecimento Global ou GWP dos sistemas avaliados.



**Figura 18.** Análise de contribuição do GWP para as etapas avaliadas para as diferentes formas de preparo da bebida por dose de 50 mL.

A bebida que apresentou o maior impacto quanto às emissões de gases do efeito estufa (GWP) foi a Cápsula 2: 0,018 kg CO<sub>2</sub> equiv./50 mL de bebida, sendo que a embalagem contribui com 83,3%, a preparação da bebida com 5,6% e a torrefação e moagem com 11,1%.

A Cápsula 1 apresentou o segundo maior impacto ambiental entre as bebidas avaliadas: 0,011 kg CO<sub>2</sub> equiv./50 mL de bebida, com significativa contribuição da embalagem (86,9%). Nas cápsulas, a quantidade de embalagem utilizada por dose é comparativamente maior do que a utilizada para os outros métodos de preparo e trata-se de embalagens mais complexas em termos de composição de materiais. As embalagens utilizadas nas cápsulas podem ser compostas por diferentes tipos de plásticos, alumínio e papel.

O método Espresso ocupa a 3ª posição para esta categoria de impacto ambiental com 0,008 kg CO<sub>2</sub> equiv./50 mL de bebida. Diferentemente dos métodos monodose como as cápsulas, as contribuições das diferentes etapas são mais equilibradas: 25 % devido a torra e moagem, 50% na extração da bebida e 25% devido o uso de embalagem.



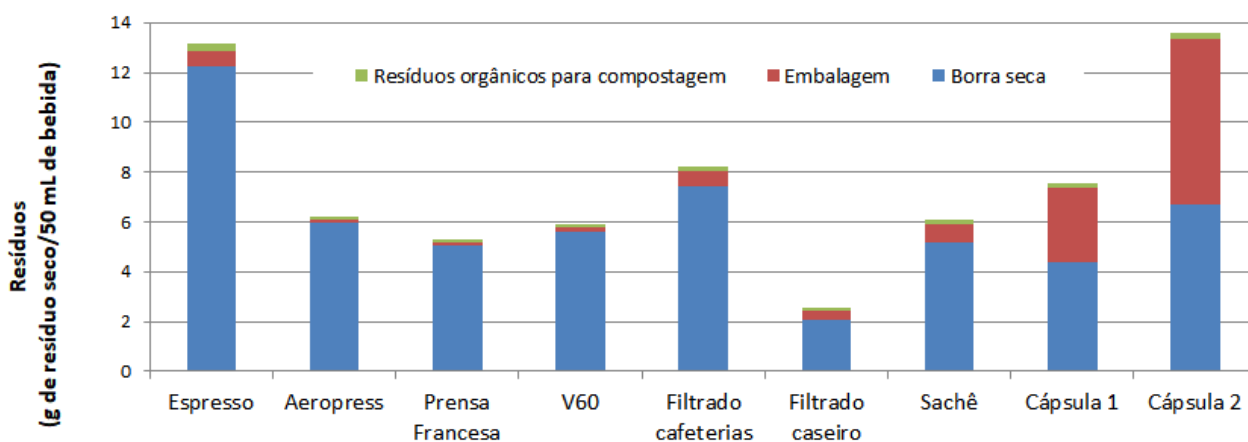
O produto com menor impacto ambiental quanto a emissões de gases do efeito estufa (GWP) foi aquele preparado na Aeropress de 0,0016 kg CO<sub>2</sub> equiv./50 mL de bebida.

Na categoria de uso doméstico de máquinas para o preparo de bebida, que associam praticidade à preparação do café, o método de monodose com sachê de papel tipo *soft pod* resultou na menor emissão de gases de efeito estufa: 0,003 kg de CO<sub>2</sub> equiv/50 mL de bebida

Para os métodos Filtrado Caseiro, Hario V60 e Prensa Francesa, a principal etapa geradora de impacto para GWP foi o preparo da bebida. É possível verificar também que as etapas de torrefação e moagem do ciclo de vida geraram impactos de proporções menores quando comparadas às outras duas etapas.

#### 5.4.4 Geração de resíduos

Na Figura 19 a seguir mostra os principais resíduos sólidos oriundos dos sistemas avaliados



**Figura 19.** Geração de resíduos para as etapas avaliadas para as diferentes formas de preparo da bebida por dose de 50 mL

Apesar do Espresso gerar aproximadamente a mesma quantidade de resíduos sólidos (13,2 g/50mL) que o da Cápsula 2 (13,6 g/50mL), estes são oriundos da borra de café produzida na extração da bebida (92,9%) e de resíduos orgânicos dos processos de torrefação e moagem (2,5%). Assim como os resíduos orgânicos provenientes do processo industrial enviados para compostagem e produção de composto orgânico, a borra do Espresso também

pode ter a mesma destinação, mas o gerenciamento desta destinação depende das cafeterias.

Nos estabelecimentos visitados em um *Shopping* de São Paulo, todos os resíduos orgânicos das cafeterias são recolhidos e destinados a compostagem, num programa próprio. Estes resíduos são destinados à produção de composto orgânico para horta construída na parte superior do *Shopping*, sendo a produção distribuída aos colaboradores. Como objetivos do programa zerar o envio de lixo para aterro sanitário em até 5 anos e minimizar a temperatura interna do local, com redução de consumo de água nos equipamentos de refrigeração.

O resíduo das embalagens das cápsulas tem significativa participação na composição dos resíduos dos métodos monodose. Na Cápsula 2, os resíduos de embalagem representam 49% do total e na Cápsula 1 39%.

A destinação dos resíduos das cápsulas requer prévia separação do material orgânico (borra) dos materiais de embalagem. A Cápsula 1 é composta basicamente por alumínio e a Cápsula 2 por materiais plásticos, papel e alumínio.

O café filtrado no lar apresentou o menor impacto quanto a geração de resíduos de embalagem, fato suportado pela menor complexidade da embalagem primária composta por uma única estrutura de filme laminado multicamadas. Contudo, existem dificuldades para reciclagem deste tipo de embalagem que no Brasil, em sua maior parte é considerado resíduo e destinado a aterro sanitário.

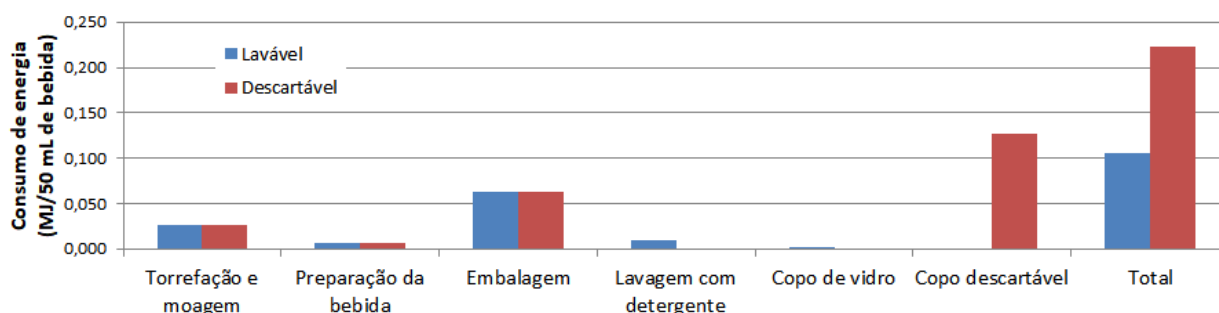
### **5.5 Avaliações dos perfis ambientais de bebida de café preparada através de filtro caseiro e servida em copo lavável ou descartável**

Utilizando-se os dados de consumo de detergente e água levantados junto a 30 consumidores (Tabelas 9 e 18) e as considerações abaixo, calculou-se as diferenças de perfis ambientais das 2 situações: copo lavável e copo descartável, apresentados na Tabela 23 e nas Figuras 20 a 22.

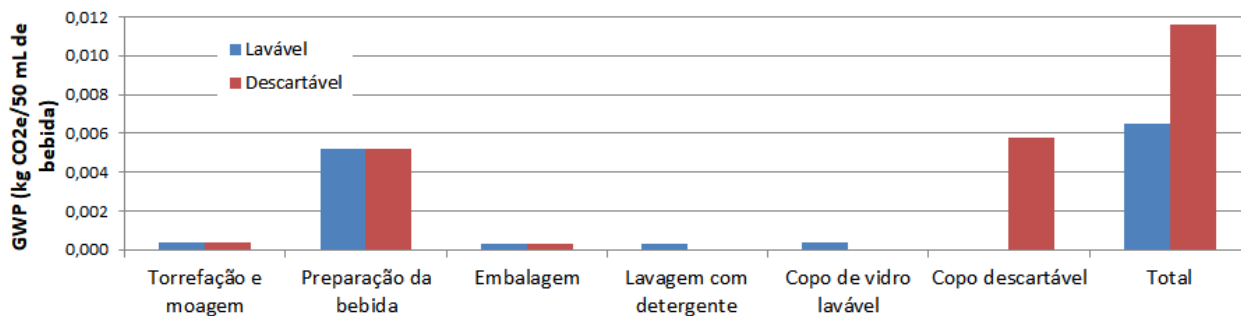
**Tabela 23.** Principais impactos associados aos copos lavável e descartável para o consumo de café preparado através de método filtrado caseiro.

Categoria de Impacto	Copo lavável	Copo descartável
Consumo de energia (MJ/50 mL de bebida)	0,11	0,22
GWP (CO <sub>2</sub> equiv/50 mL de bebida)	0,0065	0,0116
Consumo de água (mL de água/50 mL de bebida)	944	338

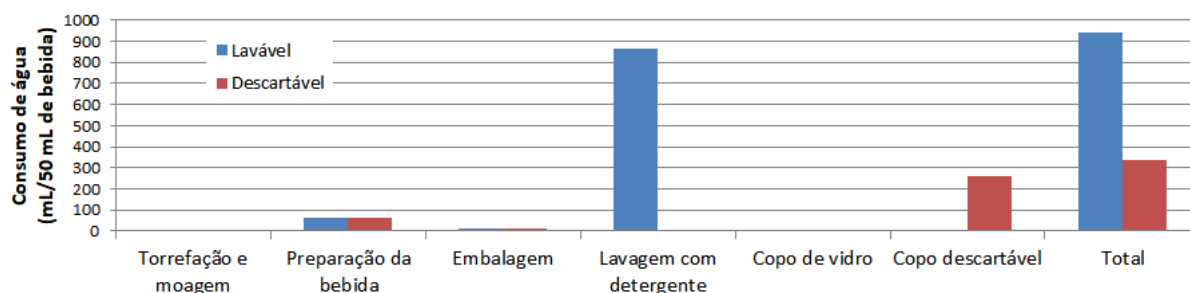
Para esta avaliação, considerou-se uma fórmula simplificada de detergente líquido para a lavagem de louça composto somente por 10% de dodecilbenzeno sulfonato de sódio em água (AMARAL et al. 2007), principal ingrediente ativo para esta classe de produto no Brasil. Considerou-se copo de vidro com massa de 120g, com 500 usos até o fim de vida. Para a comparação utilizou-se copo descartável de poliestireno de 1,3 gramas.



**Figura 20.** Análise de contribuição do consumo de energia para as etapas avaliadas para preparação de café através de filtro caseiro para copos lavável e descartável.



**Figura 21.** Análise de contribuição para o GWP para as etapas avaliadas para preparação de café através de filtro caseiro para copos lavável e descartável.



**Figura 22.** Análise de contribuição do consumo de água para as etapas avaliadas para preparação de café através de filtro caseiro para copos lavável e descartável.

A análise das Figuras 20 a 22 mostra que os consumos de energia e emissão de gases de efeito estufa são significativamente maiores quando se utiliza o copo descartável do que quando se utiliza o copo lavável. Entretanto, o consumo de água para a lavagem com detergente é bastante significativo: 944 mL de água/50 mL de bebida. Sugere-se que para redução do uso de água, a lavagem seja feita após os usos realizados durante o dia. Por falta de dados de inventário do detergente, e mesmo de sua composição completa, não foi possível calcular o efeito sobre a eutrofização e a acidificação devido a estes processos, para avaliação destes efeitos. Entretanto, como já demonstrado em estudos anteriores, estes efeitos podem ser significativos. Observa-se também que o número de usos do copo de vidro, entre 500 a 2000 vezes, não altera muito o perfil de impactos encontrado.

## 6. CONCLUSÕES

O presente estudo concentrou-se nos aspectos ambientais da preparação da bebida de café. Sabe-se, entretanto, que o hábito de consumo de café é tradicional no país, e que a diversidade de formas de preparação do mesmo estão ligadas a outros aspectos como preferências de consumidores quanto à concentração da bebida, tipo de café, torra e aspectos ligados à praticidade de preparo dentro e fora do lar. Neste sentido, o presente estudo foi possível mensurar importantes indicadores ligados ao perfil ambiental de diferentes métodos de preparo estudadas.

Entre as diferentes formas de preparo dentro do lar avaliadas, a que apresentou maior impacto ambiental foi a Cápsula 2, sendo a etapa da embalagem a maior geradora de impacto ambiental.

A massa de embalagem por dose de bebida representa 49% do total na Cápsula 2, seguida da Cápsula 1, com 39%. Nos outros tipos de preparo a influência da embalagem não é tão significativa. Esta informação suporta a importância do correto destino das cápsulas para reciclagem.

Entre as formas de preparo fora do lar, a que apresentou maior impacto ambiental foi o Espresso, principalmente devido ao gasto energético da máquina utilizada na extração da bebida.

O Espresso, bebida tradicional que contribuiu para o crescimento das cafeterias em todo o mundo, com uma bebida intensa, em uma pequena dose apresentando uma camada de espuma consistente.

Em função dos impactos ambientais, *AeroPress* e *French Press* como métodos mais indicados, com menor impacto nas categorias avaliadas.

A monodose com sachê *tipo soft pod* se mostrou a melhor alternativa para consumo individualizado, permitindo o preparo da bebida de café com menor esforço e tempo, além da praticidade para o consumidor.

O estudo permitiu observar que as etapas de preparo da bebida e uso de embalagem estão entre os principais contribuintes para os impactos ambientais observados.

O desenvolvimento de projetos de ação de educação ambiental para separação e uso dos resíduos, deve acontecer com a mesma intensidade que a divulgação dos métodos monodose, pois do contrário está se aumentando significativamente a produção de resíduos sólidos.

## 7. REFERÊNCIAS

ALVES, R. C.; CASAL, S.; OLIVEIRA, B. Benefícios do café na saúde: mito ou realidade? **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2169-2180, 2009.

AMARAL, L; JAIGOBIND, G.A.; JAISINGJ, S. Dossiê Técnico: detergente doméstico. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, 2007

BROMMER, E; STRATMANN, B.; QUACK, D. Environmental impacts of different methods of coffee preparation. **International Journal of Consumer Studies**, Malden, v. 35, p. 212-220, 2011.

BUSSER, S.; JUNGBLUTH, N. The role of flexible packaging in the life cycle of coffee and butter. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 14 Suppl. 1, p. S80-S91, 2009.

CHANAKYA, H. N.; ALWIS, A. A. P. Environmental issues and management in primary coffee processing. **Process Safety and Environmental Protection**, Amsterdam, v. 84, n. 4, p. 291-300, 2004.

CÁRDENAS, C.; QUESADA, A.R; MEDINA, M.A. In Preedy, V. R. (Ed) **Coffee in health and disease prevention**. Chapter 70, 2015.

COLTRO, L.; MOURAD, A. L.; OLIVEIRA, P.; BADDINI, J.; KLETECKE, R. Environmental profile of Brazilian green coffee. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 11, n. 1, p. 16-21, 2006.

COLTRO, L; MOURAD, A. L.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. de. Regional differences of coffee cultivation in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v.1, n.1, p. 31-41, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Observatório Agrícola. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, v. 3 – Safra 2016, n. 4 - Quarto Levantamento. p. 1-77, dez. 2016.

DE MONTE, M.; PADOANO, E.; POZZETTO, D. Alternative coffee packaging: an analysis from a life cycle point of view. **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n. 4, p. 405-411, 2005.

EUROMONITOR INTERNACIONAL. Tendências do Mercado de Café. Relatório para ABIC, 2016.

FARAH, A. Coffee constituents. In: Chu, Y.-F. (Ed). **Coffee: emerging health effects and disease prevention**. Iowa: Willey- Blackwell; West Sussex: IFT, 2012. p 21-58

FERRÃO, R. G; FONSECA, A.F.A; FERRÃO, M.A.G. Comportamento de clones de café Conilon em dois macroambientes da região Norte do Estado do Espírito Santo. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia.

FOLMER, B. How can science help to create new value in coffee. **Food Research International**, Ottawa, v. 63, Part C, p. 477-482, 2014.

FOLMER, B. (Ed.). **The craft and science of coffee**. Amsterdam: Academic Press, 2017. 556 p.

GEIBLER, J. V.; CORDARO, F.; KENNEDY, K.; LETTENMEIER, M.; ROCHE, B. Integrating resource efficiency in business strategies: a mixed-method approach for environmental life cycle assessment in the single-serve coffee value chain. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 115, p. 62-74, 2016.

HASSARD, H.; COUCH, M.; TECHA-ERAWAN, T.; McLELLAN, B. C. Product carbon foot print and energy analysis of alternative coffee products in Japan. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 73, p. 310-321, 2014.

HECKMAN, M. A. et al. Caffeine, (1,3,7-trimethylxanthine) in foods: a comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 75, n. 3, p. 77-87, 2010.

HERRERA, J.C. The CoffeeTree-Genetic Diversity and Origin. In: FOLMER, B. (Ed.). **The craft and science of coffee**. Amsterdam: Academic Press, 2017. 556 p.

HICKS, A. L. Environmental implications of consumer convenience: coffee as a case study. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, Mass., v. 2, p. 1-13, 2017.

HUMBERT, S.; LOERINCIK, Y.; ROSSI, V.; MARGNI, M.; JOLLIET, O. Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 17, n. 15, p.1351-1358, 2009.

ILLY, A; ILLY, E; MACRAE, R.; PETRACCO, M.; SONDAHL, M.; VALUSSI, S.; VIANI, R. Espresso coffee: the chemistry of quality. Amsterdam: Academic Press, 1995. 389 p.

JAIGOBIND, A.G.A; AMARAL, L; JAUSINGH, S. Dossiê Técnico TECPAR. 2007. 30p

JOYCE, A.; PAQUIN, R. L. The triple layered business model canvas: a tool to design more sustainable business models. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 135, p. 1474-1486, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.067

KUÇUKOGLU, M.T; PINAR, R.J. Positive influences of green innovation on company performance. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v 195, p 1232-1237, 2015.

LEE, S. G.; LYE, S. W.; KHOO, M. K. A multi-objective methodology for evaluating product end-of-life options and disassembly. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Bedford, v. 18, n. 2, p 148-156, 2001.



LIMA, J.; FARAH, A. Comparação dos teores de metilxantinas no café e em outras bebidas estimulantes comumente consumidas no Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Brasília: Consórcio Pesquisa Café, 2013.

LOPEZ-GARCIA, E.; Van Dam, R.M; Hu, F.B. Coffee consumption and markers of inflammation and endotelial dysfunction in healthy and diabetic women. **American Journal of Clinical Nutrition**. V 84, p 888-893, 2006,

LUNA-FILHO, E. P. Cafés do Brasil e indicações geográficas. Disponível em <http://www.coffeekbreak.com.br/cafezal.asp?SE=8&ID=99> Acesso em: 16 dez. 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Culturas-café**. Brasília; MAPA, [s.d.]. Disponível em: <[www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br)>. Acesso em: 15 jan. 2016.

MATOS, A. T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro: In: ZAMBOLIN, L. **Produção integrada de café**. Viçosa: UFV, 2003. p. 647-708.

MONTEIRO, M.C; TRUGO, L.C. Determinação de componentes bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, v.28, n. 4, p.637-641, 2005.

MOURAD, A. L.; COLTRO, L.; OLIVEIRA, P.; KLETECKE, R.; BADDINI, J. A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 12, n. 6, p. 408-413, 2007.

MOURAD, A. L.; SILVA, H. L. G.; NOGUEIRA, J. C. B. Life cycle assessment of cellulose packaging materials production: folding box board and kraftliner paper. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 19, n. 4, p. 968-976, 2014.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition: a review. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 66, p. 45-58, 2012.

MUSSATO, S. I.; MACHADO, E. M. S.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. **Food Bioprocess Technology**, New York, v. 4, p. 661-672, 2011.

NIELSEN CONSUMER INSIGHTS E HOMESCAN. Tendências no Consumo do Café. Preparado para ABIC, 2014.

PEDRAZZINI, S.; DUBOIS, C.; HALLORAN, R.; PORTÉ, C.; NOTHEY, S.; SCHENKER, U.; HUMBERT, S. Communication of LCA results in the French environmental experimentation context: user-friendly web-based tool for the case of coffee. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT IN THE AGRI-FOOD SECTOR, 8., 2012, Saint-Malo. **Proceedings...** France: INRA, 2012.

PENDERGRAST, M. *Uncommon grounds: the history of coffee and how it transformed our world*. New York: Basic Books, 2010. P 407.

PEREIRA, C.L.F. **Avaliação de sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais. Estudo de caso: suco de laranja e etanol**. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) Unicamp, Campinas 2008.

PORTAL BRASIL. Brasil bate mais um recorde na exportação de café. Brasília, 16 jan. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/01/brasil-bate-mais-um-recorde-na-exportacao-de-cafe>>. Acessado em 17 jan. 2017.

RAMIREZ, P. K. S. **Análise de métodos de alocação utilizados em avaliação do ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)--Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RIBEIRO, P.H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio a avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. Tese (Doutor em Engenharia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SCHENKER, S.; HANDSCHIN, S; FREY, B.; PERREN, R.; ESCHER, F. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 3, p. 452-457, 2000.

SMITH, A. W. Introduction. In R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee volume 1: Chemistry*. London: Elsevier Applied Science, 1985. P 1-41

SIVETZ, M.; FOOTE, E. **Coffee processing technology**. Connecticut: AVI, 1972.

TORRES, T.; FARAH, A. Coffee is the most important contributor to the antioxidant capacity in Brazilians' diet. **FASEB Journal**, Bethesda, v. 24, n. 1, p. 919, 2010.

TAKEDA, A. **Levantamento de métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e análise comparativa dos métodos mais utilizados**. 2008. 129f. **Monografia** (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008

USDA. *Coffee world markets and trade* USDA foreign agricultural service. Disponível em <<http://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade>>. Acessado em 08 jan 18.

## **8. ANEXOS**

### **8.1 Representatividade das formas de preparo da bebida no Brasil**

O café da manhã é a refeição com a maior média de consumo de café no Brasil. Para o filtrado as respostas quanto ao horário de consumo foram: 78% no café da manhã, 49% durante a tarde, 28% após o almoço, 24% no intervalo entre o café da manhã, e o almoço e 20% antes de dormir.

Segundo o Euromonitor (2016), de um total de 1.279 entrevistas, 67% dos entrevistados afirmaram que usam garrafa térmica, 66% usam filtro de papel, 45% coador de pano, 31% cafeteira elétrica, 30% café solúvel, 6% cafeteira italiana, 4% máquinas de café para cápsulas (monodose), 2% máquina de café em sachês e 2% máquina de café em grãos torrado.

Embora ainda com baixa representatividade, observa-se aumento na penetração nos lares do café em cápsulas (monodose). Registrou-se em aumento de 55% no consumo de café em cápsula, entre 2013 (1,1%) e 2014 (1,7%), totalizando em média 800 g por ano deste produto (Nielsen, 2014). O consumo de cápsulas de café espresso está concentrado nas Classes A e B, com as vendas em sua maioria ocorrendo no Estado de São Paulo e nos Estados do Sul do Brasil.

### **8.2 Tendências de mercado**

O Euromonitor realizou estudo no ano de 2016 para entender a atual estruturação do mercado de café, bem como as tendências de futuro. No estudo foram utilizados dados demográficos, gastos com consumo da bebida de café, mercado de máquinas de café, dados secundários com relatórios da ABIC, relatórios sobre consumo de café, dados governamentais, revistas setoriais, artigos em jornais e revistas. Também foram realizadas no estudo 20 entrevistas com diferentes "*stakeholders*" da indústria do café, incluindo especialistas do setor/associados ABIC, agências governamentais, varejistas, alta gerência, produtores e comerciantes de "*foodservice*". Dentre as suas principais conclusões, destacam-se:

O maior consumo (68%) de café se deu no varejo em 2014, mas as projeções até 2019 mostram aumento de venda para o "foodservice", quando a sua participação estimada será de 36%.

O café torrado em grão é o produto preferido para consumo (92%) fora do lar, sendo que o consumo deste tipo de café na forma de espresso apresentou forte crescimento, especialmente em cafeterias. Nos lares a penetração do grão é pequena, em virtude da baixa penetração de máquinas para moagem dos grãos.

No consumo dentro do lar, as cápsulas têm conseguido maior espaço nas gôndolas dos supermercados devido a redução nos custos das máquinas para café em cápsulas. A partir da queda de patente da Nespresso em 2013, surgiram outras opções de cápsulas compatíveis com o Sistema Nespresso, o que tornou o consumo mais acessível.

Isso ocorreu porque as cápsulas compatíveis plásticas ou de alumínio estão disponíveis nos supermercados, e as cápsulas da Nespresso podem ser encontradas nas lojas exclusivas (16 lojas próprias no Brasil) ou *online*. É preciso também considerar o preço competitivo das cápsulas compatíveis, quando comparado aos das cápsulas para café da Nespresso.

O café torrado e moído, que tem alta penetração e maturidade, continua sendo preferido nas regiões menos desenvolvidas e observa-se a substituição do coador de tecido pelos coadores descartáveis (de papel) e cafeteiras elétricas.

A maioria dos consumidores toma café diariamente. Quando comparado a outras bebidas, a de café foi citada como a de maior consumo diário entre os participantes desta pesquisa. A frequência diária de consumo da bebida de café foi relatada como acima de 89% na faixa etária acima de 50 anos, e a menor frequência está na faixa de 16 a 20 anos.

Quanto à preferência do preparo de café no Brasil, temos o café puro (preparado usando coador ou filtro de papel), seguido pelo café espresso e em terceiro lugar o café com leite/pingado. O café em cápsula aparece no 7º lugar do ranking. Regionalmente não existe diferença na ordem de preferência, apesar da maior representatividade das cápsulas no sudeste, fato que estaria relacionado ao

poder econômico e por consequência a maior presença de máquinas para preparo de café em cápsulas nos lares.

Os equipamentos para preparo da bebida de café mais comuns dentro de casa são o conjunto filtro e porta filtro, utilizado em conjunto com a garrafa térmica ou outro recipiente e a cafeteira elétrica tradicional.

O estudo relata a intenção de compra das máquinas de café em cápsulas pelos consumidores para consumo dentro do lar, sendo a efetivação da compra atrelada a uma diminuição do preço destes equipamentos.

Em relação à manutenção do consumo de café, 78% dos entrevistados afirmaram que devem continuar a consumir ou ainda aumentar o consumo de café.

### **8.3 Levantamento do perfil de consumo da bebida, principais técnicas de preparo, equipamentos existentes e representatividade por tipo de bebida**

Este levantamento foi realizado, com base em estudos de mercado realizados pela Nielsen (2014) e pelo Euromonitor (2016), permitindo identificar os seguintes aspectos relevantes para o estudo em questão.

#### **8.3.1 Perfil de consumo de café**

O estudo da Nielsen *Consumer Insights e Homescan* (Novembro de 2014) foi realizado com base em duas fontes de informação: a primeira relacionada a dados de auditoria no varejo e a segunda a um painel de domicílio da Nielsen.

Na auditoria do varejo, a Nielsen atingiu cobertura de 91% do potencial de consumo da população no Brasil.

No painel de domicílios, a auditoria foi realizada em 8240 lares do Brasil, que são representativos de 45 milhões de lares, de um universo de 165 milhões de pessoas, e que contemplam 80% da população e 93% do consumo.

Em complemento foi realizada pesquisa customizada quantitativa, com 1.617 entrevistas via telefone com 1317 consumidores de café e 300 não consumidores, sendo as entrevistas realizadas nas principais capitais brasileiras

por região: São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Belo Horizonte. Curitiba, Porto Alegre, Salvador, Goiânia e Belém; cidades médias: Juiz de Fora, Sorocaba, Vitória e Cuiabá e cidades pequenas no interior de São Paulo, Minas Gerais, Ceará e Pernambuco. Na amostra de não consumidores a Nielsen esclarece que não foram contempladas as cidades pequenas no interior.

Na seção relativa ao comportamento do consumidor de café, a pesquisa da Nielsen demonstra que o café está presente em 98,2% dos lares, que compram em média 10,3 kg por ano no Brasil. O consumo per capita de café torrado e moído teve ligeiro aumento, passando de 4,87 kg/habitante/ano para 4,89 kg/habitante/ano (6,12 kg de café verde e equivalente a 81 L/habitante/ano). A bebida é consumida na sua maior parte dentro do lar (75%), por quase todos os moradores da residência, sendo o consumo realizado principalmente pelos cônjuges e pais.

A preferência para o consumo da bebida é nas xícaras (55% dos respondentes), seguido por canecas (21%) e copo comum (20%), sendo que o produto é preparado em média 1,9 vezes por dia no lar.

### **8.3.2 Formas de preparo da bebida**

A pesquisa da Nielsen (2014) mostra que o preparo da bebida de café na forma tradicional, com o uso de suporte e filtro de papel e posterior armazenamento na garrafa térmica é o mais popular, motivo pelo qual este tipo de preparo foi escolhido para amostragem dentro e fora do lar.

O Espresso é o modo de preparo da bebida mais popular fora do lar, com preferência de 92% segundo dados do Euromonitor (2016). Além do espresso, durante as visitas iniciais em cafeterias foi verificada ocorrência dos preparos *French Press* (prensa francesa) e *AeroPress* o que resultou na inclusão destes 2 métodos de preparo no levantamento dos dados experimentais.

A escolha do café em monodoses para consumo no lar está relacionada ao crescimento de penetração deste tipo de preparo nos domicílios, com predominância na região sudeste, onde ocorreu este estudo, e também quanto ao aspecto ambiental relacionado a destinação (geração de lixo, etc).