

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ALDEMAR POLONINI MORELI**

**MAXIMIZAÇÃO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO  
PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO: INFLUÊNCIAS EM  
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE E QUALIDADE DA  
BEBIDA DO CAFÉ**

**ALEGRE**

**2013**

**ALDEMAR POLONINI MORELI**

**MAXIMIZAÇÃO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO  
PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO: INFLUÊNCIAS EM  
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE E QUALIDADE DA  
BEBIDA DO CAFÉ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo dos Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Edvaldo Fialho dos Reis

**ALEGRE**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M839m Moreli, Aldemar Polonini, 1964-  
Maximização da reutilização da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro: influências em características físico-químicas do efluente e qualidade da bebida do café / Aldemar Polonini Moreli. – 2013.  
69 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.  
Coorientadores: Sammy Fernandes Soares; Luiz Carlos Prezotti.  
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Pós-colheita. 2. Água – reuso. 3. Sustentabilidade. I. Moreli, Aldemar Polonini. II. Reis, Edvaldo Fialho dos. III. Soares, Sammy Fernandes. IV. Prezotti, Luiz Carlos. V. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. VI. Título.

CDU: 63

---

**ALDEMAR POLONINI MORELI**

**MAXIMIZAÇÃO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO  
PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO: INFLUÊNCIAS EM  
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE E QUALIDADE DA  
BEBIDA DO CAFÉ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos.

Aprovada em 12 de dezembro de 2013.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

-----  
Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
Centro de Ciências Agrárias – UFES  
(Orientador)

-----  
Dr. Sammy Fernandes Soares  
Pesquisador Embrapa Café//Epamig  
(Coorientador)

-----  
Dr. Luiz Carlos Prezotti  
Pesquisador/Incaper  
(Coorientador)

-----  
Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia  
Centro de Ciências Agrárias - UFES

-----  
Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral  
Centro de Ciências Agrárias - UFES

Às vezes eu paro e fico analisando..., analisando minha vida e de repente me perco.... Perco-me em quem eu era..., em quem eu sou..., em quem serei. Perco-me em meio a tantos desejos..., tantos sonhos..., tantos planos..., tantas vontades..., tantos sentimentos..., tantas recordações, tantas dúvidas.... Perco-me em meio a muitas histórias... e muitas confusões.... Mas, agora também tenho uma grande certeza: transformei sonhos em realidades..., limites em visões..., desejos em atitudes..., pequenos exemplos em grandes realidades. Podem crer, os desafios estão aí para serem desafiados e Eu, não tenho mais dúvidas, contribuí para transformar pessoas e ambientes. Então, não me resta outra atitude, senão aquela, de ser útil à sociedade (MORELI, 2013).

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me conceder saúde, sabedoria e discernimento.

Ao Centro de Ciências Agrárias da UFES, Incaper, Fapes e IFES pela oportunidade.

À minha querida mulher Lídia, companheira, cúmplice, amiga e motivadora.

Aos meus filhos Jeferson e Juliane, por compreenderem minha ausência e me encorajar.

Aos meus pais, Justino e Denilda, pelos exemplos de vida e esperança e aos meus familiares, pelo carinho e incentivo.

Ao Professor e Orientador Dr. Edvaldo Fialho dos Reis e aos Coorientadores, Dr. Sammy Fernandes Soares e Dr. Luiz Carlos Prezotti, pelos incentivos e conhecimentos transmitidos.

Aos amigos e amigas: Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca, Dimas Zandonade, Eduardo Pagio Melo, Evair Vieira de Melo, Flavio Eymard da Rocha Pena, Henrique Ventorim Faccin, João Carlos de Paula, Juarez da Silva e Sousa, José Mauro de Souza Balbino, Luís Fernando Saudino, Manoel Alves da Silva, Maria Amélia Gava Ferrão, Norma Lúcia Camargo de Paula, Rafael Marques, Sergio Maurício Lopes Donzeles e Weverson Scarpini Almagro, pela importância na construção de meus conhecimentos.

A todos que participaram do meu dia a dia, pela confiança e oportunidade para que eu pudesse colocar em prática os ensinamentos adquiridos.

Aos meus irmãos, que mais uma vez reconheceram meu papel na construção do conhecimento em prol da arte real e todas as pessoas que estiveram ao meu lado contribuindo para a materialização deste trabalho.

À AGROPECUÁRIA ZANDONADI e BRUNORO AGROAVÍCOLA, nas pessoas do Eng. Agrônomo José Rubens Zandonadi e do Administrador Antônio Veríssimo, respectivamente, e à equipe da Escola Família Agrícola de Castelo e aos alunos do curso de Técnico em Agropecuária, pelo imprescindível apoio.

## BIOGRAFIA

Aldemar Polonini Moreli, filho de Justino Moreli e Denilda Isabel Polonini Moreli, nasceu em 05 de dezembro de 1964, no município de Rio Novo do Sul, Estado do Espírito Santo.

Cursou o Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, hoje IFES-Santa Teresa, durante o período de 1980/1982.

Iniciou a carreira profissional na EMCAPA, hoje, Incaper, em fevereiro de 1984, mantendo vínculo de trabalho até 12 de março de 2013.

Em agosto de 2001, ingressou no curso de Administração, com ênfase em Administração Rural, pela Faculdade Regional Serrana, localizada em Venda Nova do Imigrante – Espírito Santo, graduando-se em julho de 2005. Entre 2005 e 2006, especializou-se em Administração desenvolvendo trabalho na área de manejo de bacias hidrográficas.

Em dezembro de 2010, conquistou o título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, com trabalho desenvolvido na área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos.

Em março de 2011, ingressou no Programa de Doutorado em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, concentrando seus estudos na Área de Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos, submetendo-se à defesa de tese em 12 de dezembro de 2013.

Em 12 de março de 2013, tomou posse como Docente no Instituto Federal do Espírito Santo, ingressando na carreira de Professor Efetivo no Campus Ibatiba – ES.

## RESUMO

MORELI, Aldemar Polonini, D. Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Dezembro de 2013; Maximização da reutilização da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro: influências em características físico-químicas do efluente e qualidade da bebida do café; Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis; Coorientadores: Sammy Fernandes Soares; Luiz Carlos Prezotti.

O processamento pós-colheita dos frutos de cafeeiro, por via úmida, é uma importante estratégia para a melhoria da qualidade dos grãos. Envolve 3 a 5 L de água no descascamento dos frutos e gera efluentes que necessitam de gerenciamento adequado para sua destinação final. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da recirculação da água residuária do café, por cinco dias de processamento, sobre o consumo de água, suas características físico-químicas, e sobre a qualidade da bebida do café. Foi utilizado frutos de café da variedade Catuaí, colhido pelo método de derriça manual sobre o pano, no período de junho e julho de 2013. Foram processados 6.384 L de frutos por dia, para um volume médio de 1,96 litros de água para cada litro de fruto, na primeira circulação de água. O experimento foi montado num esquema de parcelas subsubdividida 5 x 3 x 2, sendo dias de processamento em 5 níveis, intervalo de tempo em 3 níveis e pontos de coletas em dois níveis, para as variáveis sólidos totais, condutividade elétrica e pH. Para as variáveis nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e características do grão cereja descascado, usou-se um esquema de parcelas subdividida 5 x 3, sendo dias de processamento em 5 níveis, intervalo de tempo em 3 níveis, num delineamento em blocos casualizados com três repetições. Foram analisadas a concentração de sólidos totais, os teores dos macros nutrientes, a medição da condutividade elétrica e o pH. As características dos grãos incluíram a classificação por peneiras, tipo e quanto à bebida. Verificou-se que a recirculação da água por cinco dias de processamento proporciona a redução do consumo de 1,96 L para 0,278 litros de água por litro de frutos, aumenta a concentração de sólidos totais, dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e dos valores de condutividade elétrica, e que a qualidade da bebida não é influenciada pelo reuso da água, tendo os grãos cerejas descascados recebido notas superiores a 80,0 pontos.

**Palavras-chave:** Pós-colheita. Reuso. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

MORELI, Aldemar Polonini, D. Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Dezembro, 2013; Maximizing the reuse of wastewater from processing coffee fruits: influence of physico-chemical characteristics of the effluent and quality of the coffee; Advisor: Edvaldo Fialho dos Reis; Co-advisor: Sammy Fernandes Soares; Luiz Carlos Prezotti.

The post-harvest fruit of the coffee tree wet processing is an important strategy for improving grain quality. Involves 3-5 L of water in peeling fruit and generates that needs proper management to your final destination. The objective of this study was to evaluate the effects of recirculation of wastewater from coffee, for five days of processing on water quality, their physicochemical characteristics, and the quality of the coffee. *Catuaí* coffee fruits of harvested by manual method of detachment on the cloth, between June and July 2013 was used. 6,384 L of fruit per day were processed for an average volume of 1.96 liters of water per liter of fruit, the first water circulation. The experiment was arranged in a split split plot scheme 5 x 3 x 2, and 5 days of processing levels, time interval on 3 levels and collection points on two levels, for the variables total solids, conductivity and pH . Variables for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur and grain characteristics of pulped, it was used a split plot subdivided 5 x 3, and 5 days of processing levels, time interval on 3 levels, a design block design with three replications. The concentration of total solids contents of macro nutrients, the measurement of electrical conductivity and pH were analyzed. The characteristics of the grains included screen classification as to type and drink. It has been found that the recirculation of the water for five days processing provides reduction in consumption of 1.96 L to 0.278 liters of water per liter of fruits, the concentration of total solids contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur and electrical conductivity values, and that the quality of the drink is not influenced by water reuse, with the cherries hulled grains received higher grades to 80.0 points.

**Keywords:** Post-harvest. Reuse. Sustainability.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1 GESTÃO DE PROPRIEDADES CAFEEIRA.....	13
2.2 PROCESSAMENTO VIA ÚMIDA DOS FRUTOS DO CAFEEIRO.....	14
2.3 ÁGUA RESIDUÁRIA DOS FRUTOS DO CAFÉ: GERAÇÃO E REUSO.....	15
2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	16
2.5 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO CAFÉ.....	20
2.6 APROVEITAMENTO AGRÍCOLA E USOS POTENCIAIS.....	22
2.7 SECAGEM DE CAFÉ.....	24
2.8 QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ PROCESSADOS VIA ÚMIDA.....	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	27
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE PÓS-COLHEITA .....	27
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
3.4 AMOSTRAGEM.....	29
3.5 ETAPAS DO PROCESSAMENTO.....	31
3.6 DEMANDA DE ÁGUA.....	33
3.7 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	34
3.8 SECAGEM, ARMAZENAGEM E CLASSIFICAÇÃO DO CAFÉ.....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
4.1 CONSUMO DE ÁGUA NA UNIDADE DE PROCESSAMENTO.....	38
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO CAFÉ.....	42
<b>4.2.1 Sólidos Totais</b> .....	42

<b>4.2.2 Condutividade Elétrica (CE)</b> .....	44
<b>4.2.3 pH e macronutrientes</b> .....	46
<b>4.3 ASPECTOS DA SECAGEM</b> .....	53
<b>4.4 CARACTERÍSTICAS DO CAFÉ BENEFICIADO</b> .....	56
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	62
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	63
<b>APÊNDICES</b> .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura se apresenta como uma das atividades mais importantes do setor agropecuário, desempenhando relevante papel socioeconômico. É um agronegócio em constante evolução, em função do maior nível de conscientização dos consumidores, que vêm demandando por cafés de qualidade superior, valorização da segurança alimentar e respeito ao meio ambiente.

Na tentativa de atender essa demanda e aferir maior valor de mercado em seus produtos, os cafeicultores precisam fazer um gerenciamento profissional da propriedade, analisando seus aspectos tecnológicos, socioeconômicos, legais e ambientais. A partir daí, investir em melhorias das lavouras, visando aumentar a produtividade; nos processos de pós-colheita, buscando a melhoria da qualidade do produto; e, na preservação ambiental, adequando seu empreendimento às exigências da Lei.

O processamento pós-colheita é uma das operações que desempenham função importante na manutenção da qualidade dos grãos de café, por influenciar diretamente o aspecto, a qualidade e o rendimento, o que torna este setor de grande relevância no contexto tecnológico da propriedade, exigindo dos gestores atenção e planos de investimentos, visando atender as demandas e agregar valor ao produto.

Normalmente, a colheita dos frutos do cafeeiro é realizada de uma só vez, incluindo os frutos verdes, verdes cana, maduro, passa e seco. Essa operação é também denominada de colheita total. Para a separação desses frutos, utiliza-se do processamento via úmida, que requer o uso de equipamento tipo lavador/separador, descascador ou despoldador antes da secagem.

No lavador/separador os frutos boias são separados dos frutos verdes e cerejas. No descascador os frutos cerejas são descascados e separados dos verdes. Tal ação resulta na retirada da casca e parte da polpa, gerando os grãos cerejas descascados. Estes, ainda podem ser degomados, através da imersão em tanques contendo água (processo de fermentação natural), ou desmucilados, através de processos mecânicos (desmucilador). Ambos têm o objetivo de remover a mucilagem ainda aderida ao grão, facilitando a secagem e proporcionando a obtenção de um produto de melhor qualidade de bebida para o mercado.

A água é envolvida em todas as etapas do processamento via úmida, gerando efluentes ricos em material orgânicos e inorgânicos em quantidades significativas. Esse efluente, denominado de água residuária do café (ARC), tem sua destinação legislada por Leis, Resoluções e Instruções Normativas, estabelecendo procedimentos visando legitimar à atividade em seus aspectos ambientais e proibindo o descarte diretamente em corpos receptores, sem tratamento adequado, por entender que este efluente é um poluente em potencial.

O descarte ou disposição dos resíduos orgânicos oriundos do processo via úmida é um dos principais problemas do setor, requer das organizações cafeeiras a elaboração de planejamentos e a adoção de práticas de gestão, com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução e melhoria da qualidade do efluente gerado.

De acordo com resultados de pesquisa recente do autor, a recirculação da água residuária na unidade de processamento (UP) apresentou uma eficiência de consumo de 0,52 L de água por litros de frutos, contribuindo para a diminuição do volume final de efluentes, elevou as concentrações de macro e micronutrientes na ARC e não alterou a qualidade da bebida dos grãos cerejas descascados.

Entre as técnicas disponíveis, a recirculação da água residuária é uma alternativa de gestão, por possibilitar a redução do consumo de água e, conseqüentemente, a redução do volume de efluente gerado. No entanto, à medida que ocorre a recirculação da água residuária, sua composição físico-química vai sofrendo influências, revelando a preocupação de que o emprego desta técnica possa resultar em diminuição da qualidade da bebida dos grãos cerejas descascados, o que tem inviabilizado sua adoção.

Neste estudo, objetivou-se avaliar os efeitos da recirculação da água residuária do café, durante o período de cinco dias de processamento, sobre o consumo de água e a qualidade da bebida dos grãos cerejas descascados, em função dos tempos de recirculação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 GESTÃO DE PROPRIEDADES CAFEEIRAS

A propriedade rural é uma organização complexa, que deve ser gerenciada com eficiência. Todo movimento precisa ser acompanhado de perto pelo seu proprietário (verdadeiro empresário), controlando os custos de produção, baseando-se nos coeficientes técnicos pré-estabelecidos para averiguar os pontos falhos, a fim de eliminá-los. Vivenciamos um momento em que não se permite amadorismo na gestão das propriedades, caso contrário, os fatores adversos poderão influenciar, decisivamente, em resultados negativos (SOUZA, 2013).

Cada propriedade tem suas características próprias. É papel dos gestores aproveitar seu potencial, adequando os sistemas produtivos com máquinas adequadas e benfeitorias funcionais e realizar um gerenciamento profissional, demonstrando comprometimento e analisando o ambiente nos seus aspectos econômicos, tecnológicos, sociais, políticos, legais e ambientais (SETTE, 2008).

O processamento dos frutos do cafeeiro por via úmida requer alguns investimentos em equipamentos, como: lavador, descascador e desmucilador (opcional) ou sistema de limpeza da água residuária (SLAR) e respectivos acessórios. Em função do grande consumo de água e da geração de efluentes, o cafeicultor precisa se atentar para o licenciamento ambiental, tratamento compulsório das águas residuárias, energia elétrica, mão de obra e manutenção dos equipamentos, fatores que devem ser considerados na opção pelo processo “via úmida” (SILVA et al., 2011).

A estratégia de reuso de água é uma prática que visa, principalmente, garantir o atendimento às demandas, possibilitando que as aspirações por melhores qualidades de vida sejam atingidas. A prática de reuso é um dos componentes do gerenciamento de águas e efluentes. É um instrumento de preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental e deve estar vinculada a outras medidas de racionalização (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

A recirculação da água tem o objetivo de diminuir o seu gasto nas unidades de processamento. Contudo, essa prática deve ser considerada como parte integrante

de uma atividade mais abrangente, focada no uso racional e eficiente, dinamizando aspectos como: controle de perdas, desperdícios, a minimização da geração de efluentes e do consumo (CETESB, 2010).

## 2.2 PROCESSAMENTO VIA ÚMIDA DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO

Na lavoura cafeeira, para se obter apenas frutos maduros, é necessário fazer mais de uma colheita, selecionando os frutos cerejas, uma vez que a maturação é desuniforme. Contudo, a operação de colheita na maioria das propriedades é feita manualmente, dependendo de mão de obra, cada vez mais escassa, o que a torna de alto custo. Isso leva os cafeicultores a promoverem uma única colheita, mesclando frutos verdes, maduros e passas. A separação desses frutos pode ser feita após a colheita, por meio do processamento por via úmida (BORÉM, 2008).

Nesse processo, os frutos são conduzidos para o lavador, onde são lavados e separados os boias dos grãos verdes e cerejas. Estes são conduzidos para o descascador, onde os cerejas são descascados e separados dos verdes, obtendo-se os cerejas descascados e as cascas. As cascas são separadas e descartadas e os grãos cerejas já descascados são direcionados ao tanque de degomagem ou ao desmucilador, onde é removida a mucilagem (SOARES et al., 2007a).

A água é o elemento condutor dos frutos de café na unidade de processamento (UP). Nos equipamentos mecânicos, o consumo para lavagem e separação varia de 0,1 a 0,3 L de água por litro de frutos, enquanto no descascamento, o consumo é de 3 a 5 L de água por litro de frutos (MATOS, 2003) ou cerca de 6.000 L/h (BORÉM, 2008). Os resíduos se juntam a água, formando a água residuária do café.

Em função desse elevado consumo de água, sua redução deve ser uma das prioridades no planejamento das unidades processadoras (SOARES et al., 2008). A diminuição pode ocorrer mediante a reutilização da ARC no descascamento, tornando-se uma alternativa de redução do seu gasto nessa operação (CABANELLAS, 2004; MATOS, 2008).

### 2.3 ÁGUA RESIDUÁRIA DOS FRUTOS DO CAFÉ: GERAÇÃO E REUSO

Embora o reuso seja uma ferramenta útil, sua adoção precisa ser bem planejada, a fim de minimizar riscos no desempenho das atividades nas quais está sendo aplicada. Uma vez poluída, a água pode ser tratada e reusada para fins benéficos, dependendo da sua característica, condições e fatores locais, como decisão política, institucional, disponibilidade técnica e fatores socioeconômicos e ambientais (BRAGA et al., 2005).

Qualquer emprego técnico da água deve partir do princípio da recirculação. Porém, esta contribui para o aumento dos níveis de sais e produtos finais do fenômeno de estabilização, podendo resultar na proliferação excessiva de algas, quando seu efluente é descartado de forma irregular (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), o reuso de água ou efluente estará condicionado às limitações técnicas, operacionais e econômicas. Quanto às limitações técnicas, a qualidade da água é o fator limitante e, nesse caso, a concentração de sais dissolvidos totais é um dos parâmetros mais importantes na avaliação da viabilidade do reuso, pois à medida que o efluente é recirculado, sua concentração vai aumentando, chegando ao ponto de tornar-se insustentável.

Entre as diretrizes para a gestão de efluentes, a legislação estabelece que a fonte potencial ou efetivamente poluidora, deverá buscar práticas de gestão com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados, enfatizando a reutilização (CONAMA, 2011).

Visando diminuir problemas de obstrução da rede hidráulica da UP, gerados pela recirculação da água, foi testado um sistema de remoção de resíduos da ARC, composto por três caixas de decantação e duas peneiras, desenvolvido pela Embrapa Café, em parceria com a Epamig e o Incaper. O consumo inicial diminuiu de 2,2 para 0,52 L de água por litro de frutos processados (76% menor), após 155 minutos de processamento, com a água recirculando quatro vezes na unidade e na avaliação sensorial não se detectou diferença na bebida originada do café cerejea descascado com água limpa ou reusada (MORELI, 2010).

A ARC originada da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro é rica em material orgânico, nutrientes e sais, chegando a atingir DBO de 29.500 mg L<sup>-1</sup> (MATOS e LO MONACO, 2003). Quando disposta de forma inadequada, constitui grande fonte de

poluentes para solo e, ou, água (MATOS, 2003). Os efluentes de qualquer fonte poluidora, somente poderão ser despejados diretamente em corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeça às condições, padrões e exigências da legislação (CONAMA, 2011).

Durante o processamento de 4.000 L frutos de café arábica, a ARC apresentou CE de 1,247 dS m<sup>-1</sup> e ST de 18.881 mg L<sup>-1</sup> e ao processar mais 6.000 L de frutos, com diluição de água limpa durante o processamento, os valores diminuíram para 1,008 e 12.640, respectivamente. Os autores concluíram que esses elevados valores revelam que a ARC é um material rico em compostos orgânicos que podem contribuir para a contaminação da água utilizada para a lavagem e a separação dos frutos, bem como, impossibilitar o uso desta água em maior número de vezes (RIGUEIRA et al., 2010).

## 2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

A determinação das características da ARC, principalmente quando há recirculação, apesar de pouco realizada, é fundamental para o manejo, operação do sistema e para definir as técnicas de tratamento do efluente gerado diariamente na unidade de processamento (RIGUEIRA et al., 2010).

Para devolver a ARC ao corpo hídrico, é necessário que seja tratada de modo que remova os resíduos e atenda às condições e padrões para o lançamento de efluentes estabelecidos pela legislação (CONAMA, 2005).

De acordo com a legislação ambiental vigente, é proibido o lançamento da ARC em corpos hídricos por não atenderem aos parâmetros de lançamentos de classe 2 e 3, tornando a fertirrigação a forma mais difundida para destinação. Contudo, alguns problemas ambientais advindos desse uso têm sido observados, devido à ausência de tratamento apropriado, visando solucionar os problemas ambientais apresentados pela ARC (CAMPOS, PRADO e PEREIRA, 2010).

A legislação tem como principal objetivo minimizar os problemas de poluição causados pelo descarte de efluentes (MIERZWA e HESPANHOL, 2005). A resolução N<sup>o</sup> 430 dispõe sobre as condições, os parâmetros, os padrões e as diretrizes para a gestão

do lançamento de efluentes em corpos d'água receptores. Estabelece como condição, dentre outras, pH entre 5 a 9 e materiais sedimentáveis até 1mL L<sup>-1</sup>. Apesar de não abordar sobre a disposição de efluente no solo, mesmo tratados, caso seja feita, preconiza que essa ação não poderá causar poluição ou contaminação das águas superficiais ou subterrâneas (CONAMA, 2011).

O licenciamento ambiental, obrigatório para as instalações de unidades de processamento de café, é o procedimento administrativo pelo qual o órgão competente licencia a localização, a instalação, a ampliação e a operação de empreendimentos e atividades de pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado, que utilizem recursos ambientais e sejam consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras ou que possam causar degradação ambiental.

A Instrução Normativa N° 013, de 17 de dezembro de 2007, estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental da atividade de beneficiamento de café e orienta sobre a destinação adequada da ARC por meio da fertirrigação ou para a disposição em lagoas de estabilização, assim como recomenda o seu reuso (IEMA, 2007).

A Instrução Normativa N° 09, de 17 de setembro de 2008, estabelece diretrizes para o processo de licenciamento ambiental das atividades de descascamento e ou despulpamento de café, por considerar que essa etapa, se mal manejada, pode gerar sérios riscos ao meio ambiente e à saúde e bem estar da população. Orienta sobre a destinação adequada da ARC, através de fertirrigação; da disposição em lagoas de estabilização; e tratamento da ARC através de qualquer outro sistema físico-químico-biológico, com comprovação de sua eficácia e eficiência (IDAF, 2008).

Também instrui sobre a lavagem dos grãos, permitindo o retorno da água aos mananciais, desde que seja implantado um adequado sistema de retenção de sólidos (Art. 6º); sobre a captação de água e para o lançamento de efluentes (Art. 8º); e sobre a destinação adequada das cascas de café, que não poderá ficar armazenada na área do empreendimento (IDAF, 2008).

O lançamento da água residuária do café em corpos hídricos, sem tratamento adequado, é proibido (CONAMA, 2011). Para licenciar atividades que fazem uso da água junto aos órgãos ambientais, pleitear financiamento ou certificar o processo de produção é indispensável fazer a outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

Os gestores devem estar atentos, pois ao decidirem pela adoção de tecnologias de

pós-colheita de café, precisam elaborar o projeto e solicitar o licenciamento da unidade de processamento, visando cumprir com as legislações pertinentes.

A implementação de políticas de outorga e cobrança pela captação de água e lançamento dos efluentes em corpos d'água têm motivado os produtores a recircular a água da lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro, visando reduzir o consumo, que pode chegar a aproximadamente 1 litro para cada litro de fruto (MATOS et al., 2006).

As águas residuárias podem vir a ser importantes fontes de material orgânico e outros poluentes, principalmente o N e P, contaminando solo e água quando mal manejado. Em particular, a ARC, por apresentar grande carga orgânica e concentrações de sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão, potássio, açúcares, cafeínas e polifenóis, se lançada em corpos hídricos sem os devidos tratamentos, poderá prejudicar a qualidade das águas superficiais, a fauna e a flora de seu entorno (MATOS, 2010).

A ARC é constituída de macro e micronutrientes e grande quantidade de resíduos sólidos, formados por sujidades do café da roça, fragmentos de folhas e ramos das plantas, cascas e mucilagem dos frutos (SOARES et al., 2007b). Seu descarte tem sido motivo de polêmicas, englobadas em duas dimensões principais, uma ambiental e outra agrícola. Do ponto de vista ambiental, é considerada um poluente, especialmente do meio aquático, enquanto do ponto de vista agrícola, é generalizado o preconceito de que queima as plantas (SOARES et al., 2008).

Uma forma de se verificar o potencial de toxicidade de vários elementos é através do potencial hidrogeniônico (pH), que informa a concentração dos íons  $H^+$  nas águas, representando a intensidade das condições ácidas ou alcalinas no ambiente aquático. O pH influencia no grau de solubilidade de diversas substâncias e na distribuição das formas livres e ionizadas de diversos compostos químicos. Em águas naturais de superfície, o pH varia de 6,0 a 8,5. Para águas tratadas, o padrão de potabilidade se apresenta na faixa de 6,0 a 9,5, objetivando inibir o processo corrosivo (valores baixos) ou de incrustação (valores elevados) das tubulações (LIBÂNIO, 2008).

O pH tem uma grande importância porque seu valor pode afetar muitas reações químicas que ocorrem no meio ambiente. Os sistemas biológicos também são sensíveis aos seus valores, e para que os organismos não sofram grandes danos, o meio deve possuir pH entre 6,0 e 8,5 (BRAGA et al., 2005).

A condutividade elétrica (CE) é um parâmetro que indica o potencial da água de

transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas em ânions e cátions, sendo proporcional a concentração iônica. Apesar de não ser considerada um dos parâmetros do padrão de potabilidade brasileiro e por estar diretamente relacionada com a concentração de sólidos dissolvidos, é um importante indicador para eventuais descartes de efluentes, devido a sua correlação direta. Em águas naturais, a CE se apresenta em níveis inferiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (LIBÂNIO, 2008).

Os sólidos totais, os sedimentáveis e os suspensos, entre outros, são atributos importantes para a caracterização e a quantificação da poluição. Os sólidos suspensos são responsáveis pelo aparecimento da turbidez nas águas devido à presença das partículas em suspensão e em estado coloidal de diversos tamanhos. Os sedimentos que precipitam vagarosamente são os provocadores da turbidez (RIGUEIRA, 2005).

Segundo Braga et al. (2005), os organismos autótrofos se nutrem através da cadeia alimentar presente nos meios aquáticos, constituídos por meio dos sais dissolvidos presentes na água. Os sais de fósforo e ou nitrogênio limitam o crescimento desses organismos. Contudo, o aumento excessivo da concentração pode acarretar a proliferação exagerada de algas, causando o fenômeno denominado de eutrofização.

Segundo Vasco (1999), 94% do grão de café cereja é composto por água e subprodutos que na maioria dos casos não são aproveitados como alimentos, constituindo-se como fonte de potencial contaminação do meio ambiente.

A ARC quando aplicada em doses maiores que três vezes a recomendação de K para o cafeeiro, provoca sérios danos à cultura, devido à redução do potencial osmótico do solo (LO MONACO, 2005; LO MONACO et al., 2007). Assim, recomenda-se o monitoramento desses solos por meio de análises químicas, a fim de evitar desbalanceamento de nutrientes (PREZOTTI et al., 2009).

A aplicação de águas residuárias, em taxas e frequências inadequadas, pode trazer efeitos deletérios ao solo. Atribui-se aos sólidos orgânicos suspensos, presentes, o entupimento dos macroporos das camadas superficiais, causando o selamento superficial de solos receptores deste efluente. Elevadas taxas de aplicação podem promover o entupimento dos poros observados em posições mais profundas do perfil do solo. A diminuição na capacidade de infiltração, proporciona perigo real do resíduo ser carregado até os mananciais, contaminando-os (MATOS, 2010).

Estudos realizados em locais de deposição de ARC constataram uma contribuição na elevação de nutrientes na camada superficial de 0 a 20 cm do solo, com redução à medida que se aprofundava no perfil do solo (PREZOTTI et al., 2009).

A utilização da ARC como fertilizante deve ser feita de forma criteriosa, no sentido de controlar, em longo prazo, os efeitos de salinidade, sodicidade, toxidez de nutrientes e oligoelementos sobre o solo e as culturas ou provocar contaminação de águas superficiais e subterrâneas (GARCIA et al., 2008). Para se amenizar os impactos causados pela disposição de ARC em áreas de cultivo, deve-se basear as doses de aplicação nos teores dos elementos químicos contidos e não realizar sua distribuição visando o provimento de água para atender as necessidades hídricas (MATOS, 2010).

## 2.5 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO CAFÉ

A polpa dos frutos do cafeeiro contém carboidratos, fibra bruta, cinzas, proteínas e compostos fenólicos como cafeína, taninos, ácido clorogênico e ácido cafeico (VASCO, 1999). Essas características são transferidas, em parte, para a ARC.

O café cereja não possui altas concentrações de compostos ácidos, adstringentes e taninos no epicarpo, produzindo menor acidez. Ao contrário, os grãos verdes têm muito tanino e ligninas que liberados na ARC aumentam a acidez drasticamente. Desta forma, ao processar frutos não selecionados incluindo verdes, boias e cerejas, as ARC geradas tendem a possuir acidez elevada. Assim, valores baixos de pH são características próprias da ARC, independente do processamento do grão (CAMPOS, PRADO e PEREIRA, 2010).

Ao proceder a lavagem, a despolpa e a desmucilagem dos frutos de café arábica, Rigueira, Lacerda Filho e Matos (2005) encontraram quantidades de sólidos totais (ST) variando de 12.826 a 18.881 mg L<sup>-1</sup>; sólidos suspensos (SS) entre 2.640 a 3.633 mg L<sup>-1</sup>; sólidos fixos (SF) de 1.267 a 3.594 mg L<sup>-1</sup>, e sólidos voláteis (SV) entre 11.559 a 15.287 mg L<sup>-1</sup>.

Em análises de amostras coletadas por Soares et al. (2009), em diferentes unidades de processamento da região de Viçosa-MG, foram encontrados teores (mg L<sup>-1</sup>) de 112

a 1194 de N; 5 a 102 de P; 90 a 983 de K; 11 a 413 de Ca; 4 a 22,3 de Mg; 0,13 a 37,8 de Cu; 0,21 a 0,48 de Mn; 0,09 a 9,4 de Fe e 0,07 a 7,1 de Zn. Essas concentrações de nutrientes na ARC podem variar significativamente.

Ao realizar a caracterização da ARC de 40 propriedades no Estado do Espírito Santo, Prezotti et al. (2012) identificaram amplitudes significativas entre valores máximos e mínimos de nutrientes. Para N, P e K, foram observados teores variando de 1,5 a 205; 1 a 23; e 1,5 a 875 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Segundo os autores, essas amplitudes de concentrações de nutrientes variam em detrimento das diferentes etapas do processo de descascamento/despolpa, do volume e número de recirculações da água na unidade de processamento. Os nutrientes encontrados em maiores quantidades foram potássio e nitrogênio, que apresentaram teores de 875 e 205 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto boro foi o elemento encontrado em menor quantidade (12 mg L<sup>-1</sup>). A relação entre os teores de cálcio e magnésio se aproximou de 3:1 (PREZOTTI et al., 2012).

O aumento da concentração de nutrientes, em função do tempo de recirculação da água na unidade de processamento de frutos de café arábica, foi monitorado por Moreli (2010), que observou os maiores teores para K, N e Ca (293, 161 e 32 mg L<sup>-1</sup>), com taxa de acúmulo de 1,8086, 1,026 e 0,1814 mg L<sup>-1</sup> por minuto de recirculação, respectivamente.

Ao processar 4.000 L de frutos com água em circulação, os autores observaram quantidades de sólidos voláteis passando de 136 para 2.271 mg L<sup>-1</sup>. Essa concentração aumentou para 4.140 mg L<sup>-1</sup> ao processar mais 6.000 L de frutos, tornando a água usada na recirculação rica em compostos orgânicos, o que pode contribuir para a contaminação dos frutos (RIGUEIRA et al. 2010).

Nos estudos objetivando a caracterização físico-química e bioquímica das ARC, os autores encontraram valores de 16.452 mg L<sup>-1</sup> (DQO); 9.011 mg L<sup>-1</sup> (DBO<sub>5</sub>); 4,54 (pH); 4,9 dS m<sup>-1</sup> (CE); 2,56 % (salinidade); 99,9 mg L<sup>-1</sup> (nitrogênio total); 954,2 mg L<sup>-1</sup> (compostos fenólicos) e 194 mg L<sup>-1</sup> (óleos e graxas), o que demonstrou o elevado potencial poluidor do efluente, caso não sejam tratados adequadamente, podendo poluir severamente o meio ambiente, especialmente os recursos naturais água e solo e, conseqüentemente, a atmosfera. As altas concentrações de DBO<sub>5</sub> encontrada estão acima dos valores dos efluentes domésticos, curtumes, laticínios, bebidas e

fábricas de conservas. Os altos valores de salinidade e CE demonstraram o grau de restrição severo para o uso em fertirrigação (CAMPOS, PRADO e PEREIRA, 2010).

## 2.6 APROVEITAMENTO AGRÍCOLA E USOS POTENCIAIS

A ARC é composta de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, boro, ferro, manganês e outros nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Por isso, pode ser reusada no suprimento de parte da necessidade nutricional das culturas e melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo (PREZOTTI et al., 2008a).

Estudos realizados por Silva, Donzeles e Corrêa (2008), avaliando o efeito da aplicação da ARC sobre as propriedades químicas do solo e do efluente, utilizando quatro doses de ARC distribuídas em dois períodos de incubação sobre duas amostras de solo, demonstraram que as doses crescentes de ARC promoveram aumento das concentrações de Ca, Mg, Na e K, bem como, verificaram que os solos apresentaram alto poder de remoção dos sólidos e da matéria orgânica (MO) contida na ARC e não verificaram efeitos salinos no processo estudado.

A água residuária pode ser aproveitada para suprir parte da água e dos nutrientes demandados pelas lavouras. Para que essa prática venha a ser adotada pelos cafeicultores é necessário desmistificar o conceito generalizado de que a água residuária “queima” as plantas (SOARES et al., 2008). Uma alternativa ao tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico é o seu uso em fertirrigação, aproveitando os nutrientes nela contidos para substituir parte da adubação das culturas agrícolas (LO MONACO, 2005; MATOS, 2008).

O reuso através da fertirrigação é uma oportunidade de aproveitamento da ARC. Nesse caso, procura-se atender a demanda da cultura por nutrientes e não para a necessidade hídrica das plantas. Em função das variações dos teores dos elementos, é necessário realizar análise dos teores de nutrientes presentes na ARC e no solo. De posse dessa informação, utiliza-se o elemento encontrado em maior quantidade como indicador para o cálculo da dose a ser aplicada (PREZOTTI et al., 2012).

A ARC deve ser aplicada sobre a superfície do solo de forma homogênea, para evitar a concentração próxima às plantas, capaz de causar déficit de  $O_2$ , devido ao encharcamento e salinização do solo por excesso de nutrientes. A aplicação pode ser por aspersão, utilizando-se aspersores de  $1.000 \text{ L h}^{-1}$ , dispostos em sistema de malha ou aspersores de maiores diâmetros. Já a aplicação via micro aspersão e gotejamento necessita de filtragem da ARC, o que promoveria a redução do teor de matéria orgânica e nutrientes nela contidos ou adsorvidos (PREZOTTI et al., 2012).

Lo Monaco et al. (2009) realizaram fertirrigação no café, com ARC em doses equivalentes a 0, 2, 3, 4, 5 e 6 vezes a necessidade de potássio da cultura ( $80 \text{ g de K}_2\text{O}$  por cova). A ARC foi aplicada em doses durante o período de dois meses. Após avaliar o pH, CE e as concentrações de macro e micronutrientes no solo, nas camadas de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm de profundidade, onde verificaram aumento do pH, da CE e da concentração de K no perfil do solo.

O excesso de K proporcionou lixiviação de Ca e, principalmente, de Mg no perfil do solo, reduzindo a disponibilidade e provocando a deficiência desses nutrientes nas folhas do cafeeiro. Quando foi aplicada em doses iguais a 6 vezes a necessidade de potássio pela cultura, a ARC provocou “queima” das plantas de café, provavelmente devido a diminuição do potencial osmótico do solo causado pelo excesso de íons, principalmente K (LO MONACO et al., 2007; LO MONACO et al., 2009).

Em experimento realizado em casa de vegetação, com vasos contendo  $2 \text{ dm}^3$  de um solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, os autores aplicaram doses de 0, 5, 10, 20, 40 e 80 litros de ARC por  $\text{m}^2$  de solo. Após 30 dias de incubação, foram retiradas amostras para análise de solo e semeou-se milho, que foi colhido um mês depois. A aplicação de ARC no solo elevou o pH, os teores de P, K, Na, Ca, Al, Zn e matéria orgânica e também, a saturação em bases. O K foi o elemento que apresentou a maior taxa de elevação, da ordem de  $11,4 \text{ mg/dm}^3$  para cada 10 L de ARC aplicados por  $\text{m}^2$  de solo. A produção de biomassa da parte aérea das plantas aumentou de 26 g com a dose 0 de ARC para 62 g com a dose de  $5 \text{ L.m}^{-2}$  (PREZOTTI et al., 2012).

## 2.7 SECAGEM DE CAFÉ

No momento da colheita, normalmente, os frutos do café possuem teor de água superior a 30%, variando até 65% (bu) em função do estágio de maturação. Devido ao alto teor de água inicial, é necessário realizar a secagem dos grãos até atingirem 11 a 12% de umidade final, para depois armazená-lo, constituindo a secagem a etapa de maior relevância no processamento do café com vista à preservação da qualidade (BORÉM, REINATO e ANDRADE, 2008).

O processo de secagem pode ser classificado em natural e artificial. A secagem natural é caracterizada pela secagem do produto no campo, sem a interferência do homem. Já a secagem artificial é caracterizada pela utilização de processos manuais ou mecânicos, com o uso de ventilação natural ou forçada. Como exemplo de secagem artificial com ventilação natural, tem-se a secagem em terreiros, em secadores solares rotativos e outros (SILVA et al., 2011).

A secagem com ventilação natural tende a ser um processo lento. É normalmente executada em terreiros aproveitando-se a energia solar para a remoção da água presente nos grãos. Do ponto de vista ambiental, é o método mais correto por não utilizar combustíveis (BORÉM, REINATO e ANDRADE, 2008). Na secagem em terreiros o produto fica exposto às condições ambientais adversas por um longo período, predispondo-o ao desenvolvimento de fungos e outras fermentações biológicas que podem depreciar suas qualidades (DONZELES et al., 2011).

A secagem em terreiro é uma técnica simples e tradicional que apresenta baixo custo com energia, por usar a radiação solar para o aquecimento e remoção da água dos grãos. Pode ser revolvido manualmente, com tração animal ou mecanicamente, podendo atingir boa qualidade se manejado adequadamente (BORÉM, REINATO e ANDRADE, 2008). Os terreiros de pisos concretados são mais duráveis, mais fáceis de manejar, possuem melhores características higiênicas e apresentam melhores resultados de qualidade (SILVA et al., 2011).

As regiões com alta umidade relativa do ar apresentam baixa taxa de secagem, tornando a exposição do produto a agentes biológicos inevitável e, geralmente, ocasionam a redução da qualidade do produto. Mesmo nos locais onde a insolação é favorável, quando a higiene ou o uso correto da secagem em terreiros não são

aplicados, o desenvolvimento de microrganismos na superfície dos frutos e o aumento da respiração e da temperatura do produto são fatores que aceleram o processo de deterioração da qualidade (SILVA et al., 2013).

A secagem do café natural, ou em coco, é a mais comum e tradicionalmente conhecida como via seca. A baixa qualidade observada nos cafés obtidos através da secagem em coco refere-se principalmente aos cuidados não praticados durante a colheita, como a presença de frutos verdes, brocados e fermentados. Além disso, a secagem mais lenta, em função da casca e a grande quantidade de mucilagem aumentam os riscos de fermentações indesejadas prejudiciais a qualidade (BORÉM, 2008).

Ao empregar o processo via úmida, é conveniente promover o escoamento do excesso de água oriundo do processamento, através do terreiro suspenso ou ventilador, antes de espalhar o café no terreiro. Caso contrário, logo que for espalhado, deve-se formar e secar o café em pequenas leiras, revolvendo-as com auxílio de um raspador enleirador a cada hora de exposição ao sol até o final da secagem. Parte da superfície do terreiro deve ser exposta à secagem imediata do excesso de água, a fim de evitar a contaminação (SILVA et al., 2011).

A secagem do café cereja descascado é dificultada em função da mucilagem, por conter elevado teor de umidade e açúcares, que permanece aderida ao pergaminho, dificultando a movimentação e o revolvimento dos grãos, representando riscos à ocorrência de fermentações indesejáveis. Para evitar isso, é necessário distribuir o café no terreiro em camadas finas e proceder ao revolvimento frequentemente, a fim de desidratar a mucilagem (BORÉM, 2008).

Depois de descascado, o café deve ser conduzido imediatamente para um local a fim de ser drenada a água superficial e em seguida ir direto para o secador. Não se deve esquecer da manutenção e higienização diária de todo o sistema de processamento e da fundamental importância do manejo correto do terreiro (SILVA et al., 2011).

## 2.8 QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ PROCESSADOS VIA ÚMIDA

A classificação física do café discrimina os grãos beneficiados pelas suas dimensões

(forma e tamanho). Esses são separados e quantificados pela classificação por peneiras, com furos de formas circulares e alongados. As características da forma e tamanho do grão variam em função de vários fatores, como cultivar, localização, tratamentos culturais e clima. Sua descrição é fundamental nas etapas de beneficiamento, rebeneficiamento e na classificação comercial (MALTA, 2008).

Palacin et al. (2005) avaliaram a qualidade final do café cereja despulpado baseada na secagem do café num terreiro convencional de cimento, em comparação com a secagem combinada em terreiro "híbrido" até meia-seca e secagem final em silo secador com ar natural e concluíram que, adotando procedimentos das boas práticas, de pré-processamento e de processamento, é possível obter café com qualidade.

Em estudos realizados em Lavras-MG, objetivando avaliar a qualidade sensorial dos grãos de café, processados e secados de diferentes formas e temperaturas alternadas, os autores concluíram que a secagem em terreiro proporcionou a melhor qualidade sensorial dos grãos de café, quando comparada com a secagem com ar aquecido e que o café despulpado apresentou melhor qualidade sensorial do que o café natural, independentemente do método de secagem (ALVES et al., 2011).

Ao verificar a qualidade do café natural e despulpado durante a secagem em terreiro e secagem com ar aquecido a 40 e 60 °C, os autores concluíram que o tempo para a secagem é afetado pelos diferentes tipos de secagem e processamento e que o aumento da temperatura de secagem, independentemente do tipo de processamento, provoca elevação da condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável total e acidez graxa. Ao contrário, os açúcares redutores, os açúcares totais e a análise sensorial diminuem com o aumento da temperatura, sendo que a qualidade do café foi afetada pela secagem com temperatura de 60 °C (BORÉM et al., 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

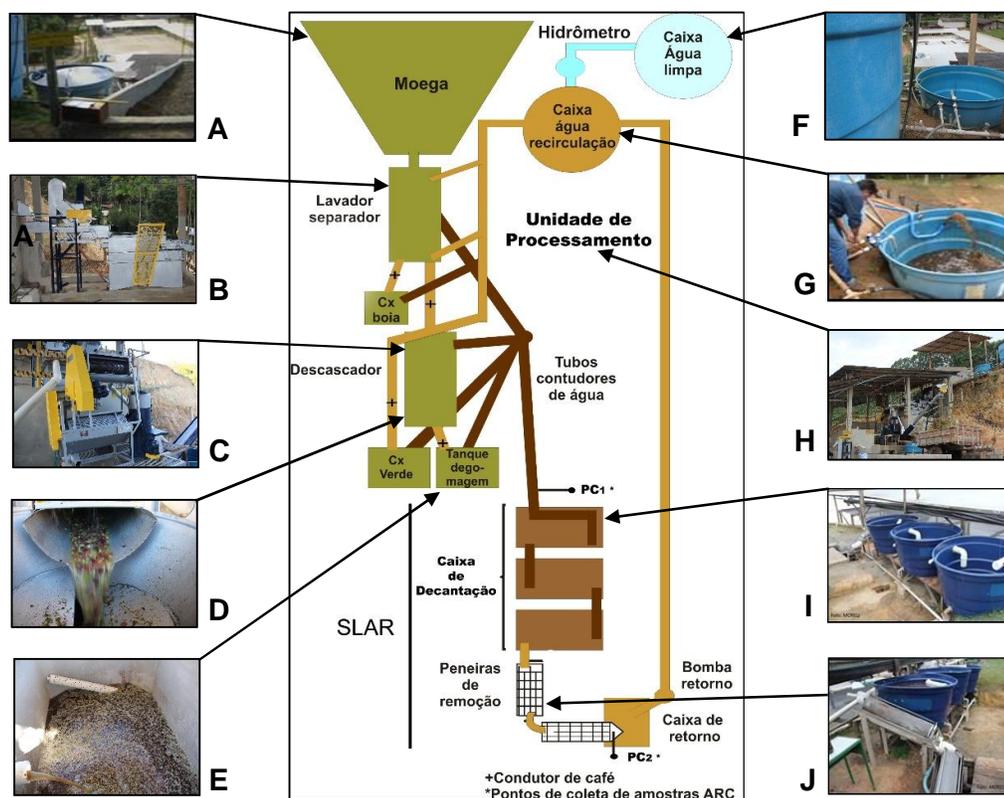
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado na unidade de processamento dos frutos do cafeeiro (UP) da Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante (FEVN), pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada na comunidade de Viçosinha, distrito de São João de Viçosa, município de Venda Nova do Imigrante – ES, Longitude: 41° 11' 21.63" W e Latitude: 20° 23' 6.42" e altitude de 720 m, no período de maio a setembro de 2013.

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE PÓS-COLHEITA

A estrutura de pós-colheita foi composta por: i - unidade de processamento (UP); ii – sistema de limpeza de água residuária (SLAR), composto por três caixas de decantação e duas peneiras filtrantes; iii - unidades de secagem constituída de terreiro cimentado, terreiro coberto, terreiro suspenso, terreiro secador híbrido II, silo secador e secador mecânico; e iv - unidade de beneficiamento e armazenagem de grãos.

O esquema completo do conjunto experimental pode ser visualizado na Figura 1 (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J). Observam-se os seguintes equipamentos disponíveis na unidade de processamento: (A) moega receptora de frutos de cafeeiro e medida padrão de 40 L; (B) lavador/separador, onde é feita a lavagem e a separação dos frutos boia dos frutos cerejas e verdes; abanador instalado na entrada do lavador para retirada das impurezas leves originadas do campo durante a colheita; (C) descascador de cerejas com separador de verdes e rosca elevatória para retirada das cascas dos frutos cerejas; (D) separador de cascas; (E) tanque de degomagem; (F) reservatórios de água de fibra de vidro, um com capacidade de 10.000 L para armazenar água limpa, originada em nascente com distribuição monitorada por hidrômetro e outro (G) de 2.000 L, para armazenar a água residuária dos frutos do café (ARC) de recirculação no processamento; (J) caixas de decantação; e (J) peneiras do SLAR.



**Figura 1** - Esquema do conjunto experimental da unidade de processamento e do sistema de limpeza da água residuária dos frutos do cafeeiro. Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante-ES, 2013: A – Moega receptora de frutos e medida padrão (40L); B – Lavador separador e abanador; C – Descascador; Separador de casca; Rosca elevatória de casca; D – Saída do descascador/entrada separador de casca; E – Tanque de degomagem; F – Reservatório de água limpa/hidrômetros; G – Reservatório de água residuária/Hidrômetros; H – Vista da unidade de processamento; I – Caixas de decantação (SLAR); e J – Vista das peneiras separadoras de sólidos (SLAR).

As duas peneiras separadoras de sólidos (FIGURA 1J), foram construídas em formato de tubo com 100 cm de comprimento e 22 cm de diâmetro, com tela de aço inoxidável 304L (0,003% de carbono), a primeira com malha de 14 *mesch*, fios de 0,3 mm e abertura de 1,51 mm, e a segunda com malha de 18 *mesch*, fios de 0,41 mm e abertura de 1,0 mm, dispostas após a saída da terceira caixa com inclinação de 10%, objetivando remover os materiais orgânicos com dimensões maiores que os orifícios do esguicho do descascador.

Após passar pelas peneiras, a ARC caía em um reservatório, de onde era bombeada através de uma bomba de rotor aberto, acionada automaticamente, para o reservatório de ARC, também denominado de caixa de abastecimento da UP (FIGURA 1G). A partir desta, sua distribuição era feita por declividade, utilizando a mesma rede hidráulica de água limpa, ocorrendo de forma instantânea no lavador separador e no descascador, como também, no transporte dos frutos verdes/maduros do lavador para

o descascador e dos frutos boias, verdes e cereja descascado.

### 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi montado num esquema de parcelas subsubdividida 5 x 3 x 2, sendo dias de processamento em 5 níveis (DP<sub>1</sub>, DP<sub>2</sub>, DP<sub>3</sub>, DP<sub>4</sub> e DP<sub>5</sub>), intervalo de tempo em 3 níveis (T<sub>10</sub>, T<sub>70</sub>, T<sub>130</sub>) e pontos de coletas em dois níveis (PC<sub>1</sub>, e PC<sub>2</sub>), num delineamento em blocos casualizados com três repetições.

As variáveis sólidos totais (ST) e condutividade elétrica (CE) foram analisadas segundo o esquema de parcelas subsubdividida 5 x 3 x 2.

As variáveis N, P, K, Ca, Mg e S; características do grão cereja descascado como: peso seco, peso beneficiado, umidade, classificação por peneiras e tipo; e características organolépticas, foram analisadas num esquema de parcelas subdividida 5 x 3, sendo dias de processamento em 5 níveis (DP<sub>1</sub>, DP<sub>2</sub>, DP<sub>3</sub>, DP<sub>4</sub> e DP<sub>5</sub>) e intervalo de tempo em 3 níveis (T<sub>10</sub>, T<sub>70</sub>, T<sub>130</sub>).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% probabilidade. As variáveis quantitativas foram analisadas por regressão, sendo os modelos escolhidos pela significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste 't' de Student e pelo coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), até 5% de probabilidade.

### 3.4 AMOSTRAGEM

Para avaliar a influência da recirculação da ARC nas características sensoriais da bebida do café, em função do tempo de recirculação e dos dias de processamento, foram coletadas amostras de grãos cerejas descascados (CD) na saída do descascador, enquanto a ARC foi amostrada em dois pontos de coletas, ambas nos tempos T<sub>10</sub>, T<sub>70</sub> e T<sub>130</sub>, respectivamente, a partir do início de funcionamento da (UP).

As amostras de café CD foram coletadas na saída do descascador e antes da entrada do tanque de degomagem, nos tempos  $T_{10}$ ,  $T_{70}$  e  $T_{130}$  e mantidas separadas, individualmente, até o final do processamento (Figura 2). Essas foram padronizadas com 2,0 kg, acondicionadas em sacos telados de 105 cm de comprimento e mergulhada em um balde contendo água limpa, para a retirada do excesso de mucilagem, sendo emergidas após dois minutos. Esse processo pode ser caracterizado como um café CD semi lavado. Em seguida foram levadas para a unidade de secagem.



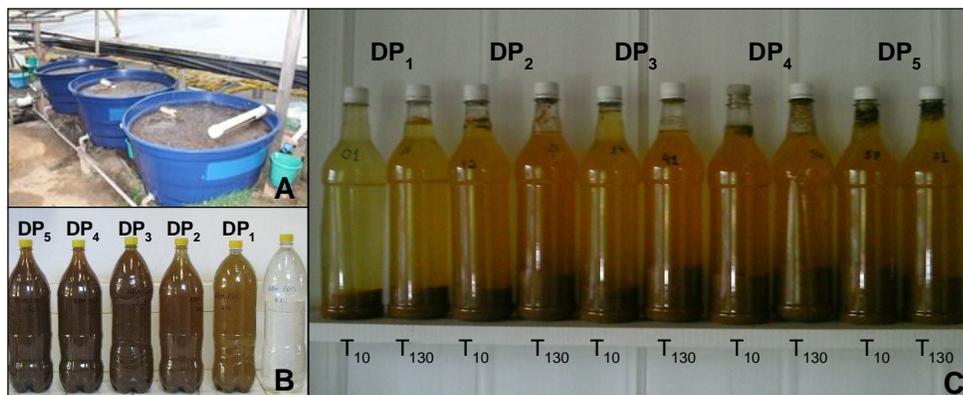
**Figura 2** - Amostras de grãos cerejas descascados, obtidas antes da entrada no tanque de degomagem da unidade de processamento dos frutos do cafeeiro. Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante-ES, 2013. A – Coleta de amostra; B – Disposição da amostra durante o processamento; e C – Disposição das amostras durante as primeiras 24 horas após coleta.

As amostras de ARC foram obtidas nos pontos de coleta (PC) instalados antes das caixas de decantação ( $PC_1$ ) e após as peneiras ( $PC_2$ ), conforme esquematizado na Figura 3. Essas foram retiradas em baldes e acondicionadas em garrafas plásticas contendo 2,0 L (Figura 3). Foram acomodadas em caixas de isopor com gelo e posteriormente, enviadas aos Laboratórios para as análises. A amostragem nos dois PC no SLAR é descrita abaixo:

$PC_1$  – Ponto de coleta na entrada na 1ª caixa de decantação;

$PC_2$  – Ponto de coleta após a passagem pela 2ª peneira de remoção.

A primeira amostra foi coletada aos 10 minutos ( $T_{10}$ ) do início do processamento, representando, assim, a primeira circulação da água. O início da recirculação se deu após 60 minutos de funcionamento da UP, sendo as amostras coletadas aos 70 e 130 minutos ( $T_{70}$  e  $T_{130}$ ).



**Figura 3** - Vista do ponto de coleta de amostra na entrada do SLAR (A), dos recipientes com ARC obtidas no tempo  $T_{130}$  de cada dia de processamento (B) e de amostras de ARC nos tempos  $T_{10}$  e  $T_{130}$ , para cada dia de processamento dos frutos do cafeeiro. Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

### 3.5 ETAPAS DO PROCESSAMENTO

Foram utilizados 31.919,85 L de frutos do cafeeiro arábica, variedade Catuai, em média, para cada repetição, aferido em medida padrão de 40 L e oriundos de lavouras localizadas em altitude de 750 m. A colheita foi realizada através do método derrça manual sobre lona e em peneiras e os frutos acondicionados em sacaria de ráfia.

A distribuição média do volume de frutos, o percentual de frutos boias e o tempo de duração da atividade, em função dos DP, são observados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Volume de frutos processados (VP), tempo de processamento (DP), rendimento (R) e percentual de frutos boias em cada dia de processamento (DP). Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Dias de Processamento	Volume de frutos (L)	Frutos Boia (%)	Tempo de processamento (min.)	Taxa de rendimento (L min. <sup>-1</sup> )
DP <sub>1</sub>	6480,29	9,33	143,6	45,1
DP <sub>2</sub>	6399,86	13,59	143,1	44,7
DP <sub>3</sub>	6717,20	14,94	149,8	44,8
DP <sub>4</sub>	6135,42	13,18	140,0	43,8
DP <sub>5</sub>	6187,07	10,74	144,7	42,8
Média	6.383,97	12,36	144,2	44,3

DP<sub>1 a 5</sub> = primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto dia de processamento.

Foram processados, em média, 6.383,97 L de frutos por dia de processamento, para

uma jornada média de processamento de 144,2 minutos, o que proporcionou um desempenho de 44,3 L min.<sup>-1</sup> e uma capacidade média de processamento de 2,66 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (Tabela 1).

Os frutos apresentaram maturação irregular (Tabela 2). Observou-se, em média, 12,08% de frutos verdes, 21,95% de frutos verde cana ou verdoengos, 35,00% de frutos maduros e os frutos passa e seco somaram 30,98%.

**Tabela 2** - Proporção de frutos do cafeeiro arábica processados diariamente em função do estágio de maturação. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Dias	Estádio de maturação dos frutos (%)				
	V	VC	M	P	S
DP <sub>1</sub>	8,90	27,48	39,61	20,88	3,12
DP <sub>2</sub>	13,45	18,31	29,33	34,87	4,05
DP <sub>3</sub>	14,30	16,53	35,78	29,80	3,59
DP <sub>4</sub>	8,54	26,86	39,76	20,61	4,23
DP <sub>5</sub>	15,23	20,55	30,48	30,25	3,48
Média	12,08	21,95	35,00	27,29	3,69

V = verde; VC = verde cana; M = maduro; P = passa; e S = seco.

Durante o descarregamento dos frutos na moega, coletaram-se amostras de cada volume, que foram homogeneizadas e caracterizadas quanto ao estágio de maturação, obtendo-se o percentual de frutos verdes, verde cana, maduro, passa e seco, boia e a correlação peso/volume, bem como, compuseram-se as amostras com 2,0 kg, que foi conduzida para a unidade de secagem. Essas foram identificadas como “café natural”, representando o café oriundo da lavoura, composto pelos diversos estádios de maturação.

Ao acionar os equipamentos da UP, os frutos escorriam da moega para o lavador separador naturalmente, em função da declividade. Ao cair na peneira do lavador seguia passando pelo separador de impurezas, equipamento acoplado a este com o objetivo de retirar as impurezas mais leves como: folhas, pedaços pequenos de ramos de cafeeiro, cafés chochos, e outras sujidades presentes provenientes da lavoura.

Durante a lavagem dos frutos a água era o veículo condutor da matéria-prima no lavador/separador mecânico, a fim de promover a separação dos frutos boias dos verdes/cerejas e no transporte dos frutos verde/cereja até o descascador e separador de verde, separador de cascas e para o tanque de degomagem.

Ao passar pelo lavador/separador, os frutos foram lavados e o café boia foi separado

dos cafés cerejas/verdes e conduzidos ao descascador, onde os frutos verdes foram separados dos frutos cerejas. Estes, ao serem descascados, tiveram suas cascas separadas através do separador de cascas e direcionadas para o depósito de casca através da rosca elevatória, enquanto os grãos CD seguiam para o tanque de degomagem.

O café CD permaneceu, até o final do processamento, no tanque de degomagem que possui um dreno (tubo perfurado), para o escoamento da ARC. Durante este período ocorreu a remoção de parte da mucilagem por meio da fermentação natural.

### 3.6 DEMANDA DE ÁGUA

Antes do início do processamento dos frutos, o tanque do lavador/separador mecânico era abastecido com um volume de 1.300 L de água limpa. A partir do acionamento dos equipamentos da UP, a entrada de água limpa no lavador/separador era constante, a fim de repor o nível mínimo exigido, pois uma fração desta acompanhava os frutos e ou era despejada através do balanço das peneiras. Também era utilizada no transporte de frutos boias e dos frutos maduros e verdes (Figura 4A).

No descascador/separador de verde (Figura 4B), existem tubulações de uma polegada com furos de 2,5 mm espaçados de 10 em 10 cm ao longo da peneira superior por onde passa a água sob pressão, facilitando o transporte dos grãos CD e das cascas até o separador de casca e ao longo do peneirão, por onde passam os grãos CD direcionados ao tanque de degomagem (Figura 4C).



**Figura 4** - Vista parcial dos pontos de distribuição de água na unidade de processamento dos frutos do cafeeiro. Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante-ES, 2013: (A) Lavador/separador; (B) descascador e separador de casca; (C) Tanque de degomagem (entrada e dreno de escoamento); e (D) Sistema de limpeza de água residuária durante o início do processamento.

À medida que o processamento dos frutos fluía, os grãos CD abasteciam o tanque de

degomagem juntamente com um volume de 200 a 500 L de água. O nível de ARC era mantido de acordo com o volume de grãos existente no tanque, através de um tubo de 100 mm perfurado que drenava parte do ARC até o SLAR. Todo efluente dos equipamentos era recolhido em um só ponto da UP e conduzido para o SLAR através de tubos de 100 mm.

O abastecimento do SLAR exigiu um volume de 2580 L de água distribuído nas três caixas de decantação. O bombeamento da ARC acontecia sempre após o acúmulo de 500 L de ARC e a entrada de água limpa na UP foi paralisada quando o volume atingiu a marca de 800 L no reservatório de distribuição. O completo abastecimento da UP aconteceu após o tempo médio de 62,67 minutos de processamento, resultando num gasto, médio, de 5.530 L de água limpa, no primeiro dia.

Após o segundo bombeamento o da ARC, foi paralisado o uso da água limpa e iniciando à recirculação da ARC. Nos demais dias de processamento houve reposição de água limpa, totalizando um volume de 3.334 L.

### 3.7 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

As variáveis avaliadas incluíram as análises químicas compostas pela medição do potencial hidrogeniônico (pH) determinado em potenciômetro e nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), segundo recomendações de Rump e Krist (1992). As análises físicas foram constituídas pela determinação da condutividade elétrica (CE) realizada por meio de condutímetro e pela quantificação de sólidos totais (ST).

Para a quantificação dos ST, amostras de 600 mL foram levadas para a estufa de circulação de ar forçado à temperatura de 80 °C por 72 horas. Após a desidratação, o resíduo foi colocado em estufa a 103 – 105 °C, por duas horas, para secagem, permanecendo no recipiente até atingir a temperatura ambiente, quando foi quantificada sua massa, sendo o cálculo da concentração de ST realizado por meio da Equação (1):

$$ST = (M_S - M_R) \cdot 1000/V_{AM} \quad (1)$$

em que:

ST = sólidos totais, mg L<sup>-1</sup>;

M<sub>S</sub> = massa da amostra seca a 103 – 105 °C mais a massa do recipiente, mg;

M<sub>R</sub> = massa do recipiente, mg; e

V<sub>AM</sub> = volume da amostra, mL.

A eficiência da remoção de ST da ARC foi obtida empregando-se a Equação (2) que expressa a razão entre a diferença de concentração de ST existente na ARC depois da passagem pelo SLAR (C<sub>D</sub>), pela concentração de ST na ARC antes da passagem pelo SLAR (C<sub>A</sub>).

$$E_P (\%) = 100 (1 - C_D/C_A), \quad (2)$$

em que:

E<sub>P</sub> = eficiência de remoção, %;

C<sub>D</sub> = concentração na ARC depois, mg L<sup>-1</sup>; e

C<sub>A</sub> = concentração na ARC antes, mg L<sup>-1</sup>.

A capacidade de processamento foi obtida dividindo-se o volume de frutos processados pelo tempo de funcionamento da UP, calculada pela Equação (3):

$$CP = V/t, \quad (3)$$

em que:

CP = capacidade de peneiramento, L h<sup>-1</sup>;

V = volume processado de frutos do cafeeiro, L; e

t = tempo de funcionamento da UP, h.

### 3.8 SECAGEM, ARMAZENAGEM E CLASSIFICAÇÃO DO CAFÉ

As condições climatológicas foram monitoradas através de termômetros de máxima, mínima e umidade relativa, com sensor instalado a 60 cm acima do nível do piso de cimento, sendo mesuradas informações a cada três horas (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24) e comparadas com as informações obtidas da estação meteorológica do Incaper/Inpe, localizada em área confrontante com a unidade de secagem.

A secagem foi conduzida de forma artificial com ventilação natural, em terreiro coberto com lona transparente, sem obstrução da corrente de ar pelas laterais da estrutura e seguiu as recomendações técnicas de higiene, espessura de camadas e revolvimento sugeridas por Silva, Nogueira e Roberto (2005).

O café natural, denominação expressada para os frutos advindos da roça, englobando os estádios de maturação verde, verde cana, maduro, passa e seco e o cereja descascado, representando os grãos que foram descascados, constituído pelos frutos maduros e um percentual de verde cana, foram espalhados em camadas que variaram de 2 a 5 cm.

Durante as primeiras 24 h permaneceram no terreiro suspenso coberto com lona transparente, com revolvimento constante (8 a 10 vezes ao dia), sendo levadas para o terreiro de cimento logo em seguida, onde permaneceram até atingir o teor de umidade para armazenamento (Figura 5).

No início da operação, quando o teor de água dos grãos era elevado, comumente na faixa de 60%, em base úmida (bu), a espessura da camada de grãos foi mantida delgada, aumentando a sua espessura conforme prosseguiu a secagem. O produto foi revolvido manualmente, sempre alternando a direção conforme a posição do sol, em intervalos de tempo regular (8 a 10 vezes ao dia).



**Figura 5** - Vista parcial da unidade de secagem e do manejo das amostras. Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante-ES, 2013. A – Amostra de café CD sobre terreiro suspenso; B – Amostra de café natural sobre terreiro suspenso; e C – Amostra de café natural e CD distribuídas no terreiro de cimento coberto.

Ao atingir a umidade de 20,0% (bu), as amostras foram acondicionadas em sacaria de ráfia nova todas as tardes para promover o descanso e igualar a seca. Essa operação ocorreu durante a noite, voltando para o terreiro na manhã seguinte, até atingir o teor de água de 11,5% (bu).

Após o processo de secagem, as amostras de café em coco (café natural seco) e o café em pergaminho (café cereja descascado seco) foram acondicionadas em sacos

novos de ráfia, separadamente, e armazenadas durante 30 dias sobre estrado em tulhas de madeira. Antes do beneficiamento, essas foram reconduzidas ao terreiro para ressolagem, onde permaneceram até atingir a umidade de 11,5% (bu), verificada através de amostragem. Depois de verificado o teor de umidade ideal, recolheu-se as amostras para a mensura o das informaçoes sobre o rendimento de peso (g) e o volume (L) dos grãos secos, seguindo para o beneficiamento.

O beneficiamento foi realizado em um preparador de amostras de café mecânico. Após o benefício, foram mensurados dados sobre as variáveis peso de grãos beneficiados cru (g) e volume (L), a fim de avaliar a renda do café sobre o teor de água, empregando-se o método dielétrico, que expressa, diretamente, a quantidade total de água presente nos gr os (%).

A qualidade do café foi determinada com base nas classifica oes físicas e pela bebida. Na primeira, os grãos são classificados pela forma e tamanho (classifica o por peneiras) e a presença de defeitos (classifica o por tipo) de acordo com as normas de Classifica o Oficial Brasileira (COB). A qualidade da bebida, também conhecida como prova de xícara ou análise sensorial, serviu para distinguir os diferentes padrões de bebida, seguindo o protocolo de degusta o de café, metodologia SCAA CUPPING PROTOCOLS (SCAA, 2008).

A tipifica o e a prova de xícara foram realizadas por dois Juízes da Associa o Americana de Cafés Especiais. Foram determinadas as diferentes características sensoriais, descrevendo os sabores e aromas encontrados, pontuando individualmente, os diferentes atributos do café: fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, doçura, xícara limpa, balanço, finaliza o, uniformidade, resultado global e resultado final.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CONSUMO DE ÁGUA NA UNIDADE DE PROCESSAMENTO

A quantidade de água monitorada na UP, sua distribuição nos dias de processamento e as taxas de rendimentos são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5.

O período de tempo transcorrido até que a água começasse a ser reutilizada na unidade de processamento, o volume de frutos processados, o consumo de água no período e a relação volume de água por volume de frutos podem ser observados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Tempo transcorrido (minutos), volume de frutos (L), consumo de água (L) e relação volume de água (VA) por volume de frutos (VF), durante o início do processamento dos frutos do cafeeiro até a água começar a ser reutilizada, em função do primeiro dia em cada repetição. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Dia	Rep.	Tempo	Volume de Frutos	Consumo de água		Relação VA/VF
		(min.)	(L)	(L)	L min. <sup>-1</sup>	L/L
DP <sub>1</sub>	1	65,0	3.233,2	5.610	86,31	1,735
DP <sub>1</sub>	2	63,0	2.636,1	5.110	81,11	1,938
DP <sub>1</sub>	3	60,0	2.661,4	5.870	97,83	2,206
Média		62,67	2.843,6	5.530	88,42	1,960

Essa dinâmica ocorreu sempre no primeiro dia (DP<sub>1</sub>) e refere-se ao período de atividade em que todo efluente do lavador, descascador e transporte de frutos vai abastecendo o tanque de degomagem e o SLAR, até completá-los e dar início à recirculação, que ocorreu, em média, aos 62,67 minutos de funcionamento, envolvendo o processamento de 2.843,6 L de frutos.

Verificou-se que foi utilizado 5.530 L de água para o abastecimento da UP antes da sua reutilização. Esse resultando representou um rendimento médio de 1,96 L de água (LA) por L de frutos (LF) processados. O consumo inicial de 1,96 (LA/LF) foi 11% inferior à média de 2,2 L observada por Moreli (2010), quando trabalhou ajustes e treinamento de operadores em controle de vazão e regulagem de registros, nessa mesma UP, objetivando realizar pesquisa com recirculação de água no processamento de 10.000 L de frutos por dia.

Essa performance foi resultado dos arranjos realizados na UP, diminuindo a distância entre os equipamentos (Lavador/separador x descascador e caixas de depósito de fruto boia e verde), que passaram a requerer menor volume de água no transporte dos frutos entre os equipamentos. Com o novo *layout* obteve-se maior eficiência no consumo de água inicial, pois representou uma economia de 51%, se comparada à média nacional de 4/1 L de água por litros de frutos (MATOS, 2003).

Isso é um indicativo de que os gestores devem considerar os diversos fatores que envolvem o gerenciamento do negócio, principalmente o planejamento da atividade, verificando as condições das estruturas físicas e humana envolvidas, a fim de almejar a sustentabilidade do processo. Um arranjo adequado dos equipamentos, somado ao treinamento de operadores no controle da vazão de água, contribui para a redução do consumo de água.

A distribuição do volume médio de água gasto e o volume de frutos processados em cada dia de processamento para cada repetição podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Volume médio de água e volume médio de frutos em função dos dias de processamento e relação volume de água/volume de fruto (VA/VF) após recirculação da ARC durante os cinco dias. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Matéria-Prima	Dias de Processamento					Volume total (L)
	DP <sub>1</sub>	DP <sub>2</sub>	DP <sub>3</sub>	DP <sub>4</sub>	DP <sub>5</sub>	
	Volume inicial (L)	-----	Volume acrescentado (L)	-----		
Água	5.530,00	516,67	1.543,33	153,33	1.121,00	8.864,33
Frutos	6.480,33	6.400,00	6.717,33	6.135,33	6.187,00	31.919,67
Relação VA/VF	0,853	0,469	0,387	0,301	0,278	0,278

O consumo de água diminuiu com o aumento do período de tempo transcorrido do início do processamento. Observa-se que ao final do primeiro dia de processamento o volume de água consumido representou um rendimento de 0,853 L de água/L de frutos. Esse rendimento foi melhorando à medida que ampliou o volume de frutos processados, gerando uma relação final de 0,278 L de água/L de fruto após cinco dias de processamento. Esse índice é menor que os encontrados por Matos et al. (2006) de 1/1; Raggi, Matos e Luiz (2008) de 0,55/1 e Moreli (2010) de 0,52/1.

Observa-se que houve uma reposição de 3.334,33 L (+- 238 L) de água limpa ao final dos cinco dias de processamento, em função da remoção de água aderido aos frutos boias, verdes, CD e, principalmente, à casca e do reabastecimento do

lavador/separador, ocorrido no terceiro e quinto dia de processamento. O fator que contribuiu para a entrada de água limpa no lavador/separador está diretamente relacionada ao entupimento da válvula de sucção da bomba d'água existente em seu interior, responsável por promover a circulação de água interna, acarretando no esvaziamento do equipamento para se fazer a limpeza, isto é, a retirada dos frutos afundados.

Essa situação pode estar relacionada ao fato da ARC se tornar mais viscosa e carregada de partículas orgânicas à medida que se ampliava o reuso, dificultando a suspensão dos frutos que foram acumulando no fundo do tanque até obstruir a válvula de sucção da bomba.

Do total de água consumida, o incremento de água limpa durante os dias de processamento representa um índice de 37,62%, equivalente à taxa de 5,83; 17,41; 1,73; e 12,65% para os DP <sub>2, 3, 4 e 5</sub>, respectivamente.

O tempo total de processamento, o volume de frutos processados e o consumo de água em cada repetição são apresentados na Tabela 5. Em média, a UP consumiu 8.864,33 L de água para o processamento de 31.919,67 L de frutos em cada repetição, durante um tempo de 721,2 minutos de atividade. Verifica-se que os equipamentos apresentaram um desempenho de 2,658 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de frutos processados. Essa capacidade está abaixo das recomendações técnicas do fabricante e está diretamente relacionada ao tipo de matéria-prima processada (estádio de maturação).

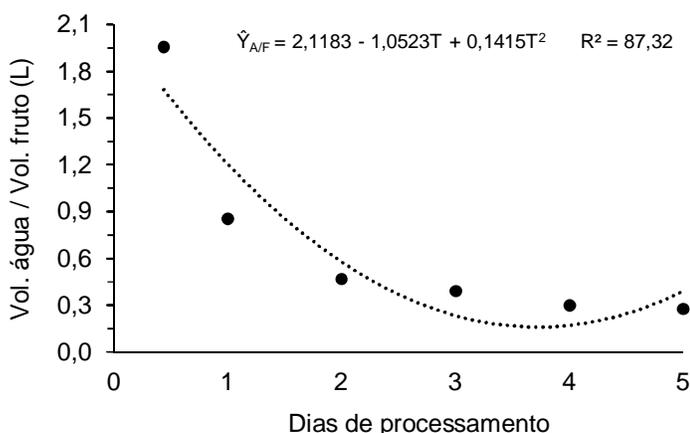
**Tabela 5** - Tempo de atividade, volume de água (VA) consumida, volume de frutos (VF) processados e rendimento da unidade de processamento em função da recirculação da água residuária do café nos dias de processamento para cada repetição. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

REP.	Tempo de atividade (min.)	Volume de água consumida			Volume de frutos processados			VA/VF (L/L)
		Total (L)	L h <sup>-1</sup>	L min. <sup>-1</sup>	Total (L)	L h <sup>-1</sup>	L min. <sup>-1</sup>	
1	763,5	8.930	701,77	11,70	33.706	2.648,80	44,15	0,265
2	737,5	8.940	727,32	12,12	32.088	2.610,55	43,51	0,279
3	662,6	8.723	789,89	13,16	29.965	2.713,40	45,22	0,291
Média	721,20	8.864,33	739,66	12,33	31.919,67	2.657,58	44,29	0,278

O resultado de 8.864,33 L é menor que os volumes demandados em trabalho desenvolvido por Rigueira et al. (2010), quando utilizaram 50.000 L dia<sup>-1</sup> no

processamento de 11.000 L de frutos do cafeeiro, considerando a recirculação de água, volumes estes, ainda dentro da média nacional.

O volume de água atingiu o ponto de mínimo consumo entre o terceiro e o quarto dia de processamento, indicando que o potencial máximo de economia de água foi obtido aos 3,72 dias de processamento, calculado através da derivação da equação apresentada na Figura 6. Neste ponto da curva, o consumo apurado representa o volume de 0,162 L de água/L de frutos, isto é, após o processamento de 24.195 L de frutos.



**Figura 6** - Volume de água por litro de fruto em função dos dias de processamento com recirculação da água residuária do café no processamento dos frutos do cafeeiro arábica. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

Os resultados alcançados reafirmam aqueles obtidos por Moreli (2010), indicando que a recirculação da água na UP é um processo fundamental na gestão da propriedade cafeeira e importante ferramenta para a viabilidade ambiental do empreendimento, no que se refere à outorga de água e na obtenção do licenciamento ambiental.

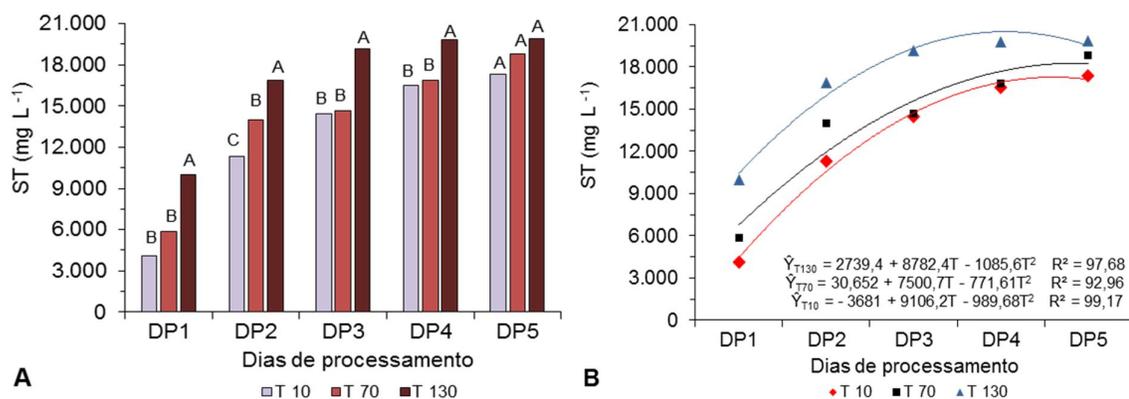
São resultados que representam avanços na gestão da água e de geração de efluentes, evidenciando as afirmações de Mierzwa e Hespanhol (2005), que defendem a estratégia do reuso como um dos componentes do gerenciamento de água e efluentes, capaz de se tornar um instrumento para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO CAFÉ

### 4.2.1 Sólidos Totais (ST)

Na análise de variância (Apêndice A) para ST, verifica-se que a interação entre tempo de recirculação e dias de processamento foi significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de ST para cada tempos de recirculação em função dos dias de processamento (A e B) são observados na Figura 7.



**Figura 7.** Sólidos totais (ST) na água residuária do café para cada tempo de recirculação em função dos dias de processamento (A e B). Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

Verifica-se que os valores de ST nos tempos de recirculação para cada dia de processamento não diferem estatisticamente nos T<sub>10</sub> e T<sub>70</sub>, com exceção para o DP<sub>2</sub>. Houve um substancial incremento de carga orgânica ao final (T<sub>130</sub>) de cada dia de processamento, assumindo valores, sem diferença estatística, que variaram de 17.342 a 19.878 mg L<sup>-1</sup>, a partir do DP<sub>5</sub> (Figura 7A).

O aumento do valor de ST está associado à maior entrada de material particulado na água, à medida que novos lotes de frutos de café foram processados. Esses materiais devem ser removidos para facilitar o fluxo da água de recirculação, evitando entupimentos na rede hidráulica da UP. Segundo Rigueira et al. (2010), a elevada concentração de ST presentes na ARC é composta, em sua maior parte, por sólidos voláteis, possíveis de serem removidos por meio de tratamento biológico.

Os valores de ST na ARC, em função dos dias de processamento para cada tempo de recirculação, podem ser obtidos com base nas equações apresentadas na Figura 9B.

Verifica-se, através da curva ( $T_{10}$ ), um valor de  $4.435 \text{ mg L}^{-1}$  no início da atividade, alcançando um ponto de máxima aos 4,6 dias, onde o valor foi de  $17.266 \text{ mg L}^{-1}$  e ao final do 5º dia de processamento, o valor alcançou  $17.108 \text{ mg L}^{-1}$ .

Para a curva  $T_{70}$ , a concentração inicial de ST foi de  $6.698 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo elevado para  $18.244 \text{ mg L}^{-1}$  no DP<sub>5</sub>. Observa-se que o ponto de máxima foi atingido aos 4,86 dias, com valor de  $18.259 \text{ mg L}^{-1}$ . Enquanto que no  $T_{130}$ , o ponto de máxima foi alcançado aos 4,04 dias com um incremento de ST de  $20.502 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo que ao findar DP<sub>5</sub>, o valor foi de  $19.511 \text{ mg L}^{-1}$ .

Esses valores, na ARC, confirmam a tendência do benefício de uso da ARC na fertirrigação de culturas. Por essa razão, sua destinação, quando bem gerenciada, poderá favorecer o desenvolvimento econômico ambiental do negócio. A ARC com essas características não pode ser despejada em corpos hídricos, sem tratamento adequado, atendendo aos padrões estabelecidos na legislação. Contudo, para uso em fertirrigação, a carga orgânica é interessante, pois eleva o teor de MO do solo e consequentemente, a disponibilidade de nutriente para as plantas.

Na Tabela 6, encontram-se os valores e as taxas de acúmulo de ST na ARC, em função do tempo de recirculação para cada dia de processamento. Verifica-se que a recirculação da ARC proporcionou aumento nos valores de ST em todos os tempos e DP. Para cada unidade de tempo houve um incremento de ST da ordem de  $69,72$  (DP<sub>1</sub>);  $47,86$  (DP<sub>2</sub>);  $15,28$  (DP<sub>3</sub>);  $4,77$  (DP<sub>4</sub>); e  $0,41$  (DP<sub>5</sub>)  $\text{mg min}^{-1}$  de processamento, ou seja, para cada  $44,3 \text{ L}$  de frutos processados.

Verifica-se que o acúmulo de ST foi da ordem de  $1,585$ ;  $1,088$ ;  $0,347$ ;  $0,108$  e  $0,009 \text{ mg L}^{-1}$ , para os DP<sub>1, 2, 3, 4, e 5</sub>, respectivamente. Esse incremento de ST no DP<sub>1</sub> é 46% superior ao encontrado por Moreli (2010), quando trabalhou com  $10.000 \text{ L}$  de frutos durante  $146 \text{ min}$ . e obteve incremento de  $1,085 \text{ mg L}^{-1}$ . Verifica-se que a taxa de acúmulo foi de  $168,38\%$  ao final do 2º dia e atingiu um índice de  $185,75\%$  ao final do 5º dia de processamento.

A taxa de remoção promovida pelo SLAR foi de  $19,93$ ;  $7,47$ ;  $13,52$ ;  $9,54$ ; e  $5,96\%$ , para o DP<sub>1, 2, 3, 4 e 5</sub>, respectivamente. Essa variação na taxa de remoção de ST pode

ter sido influenciada pela entrada de água limpa no sistema.

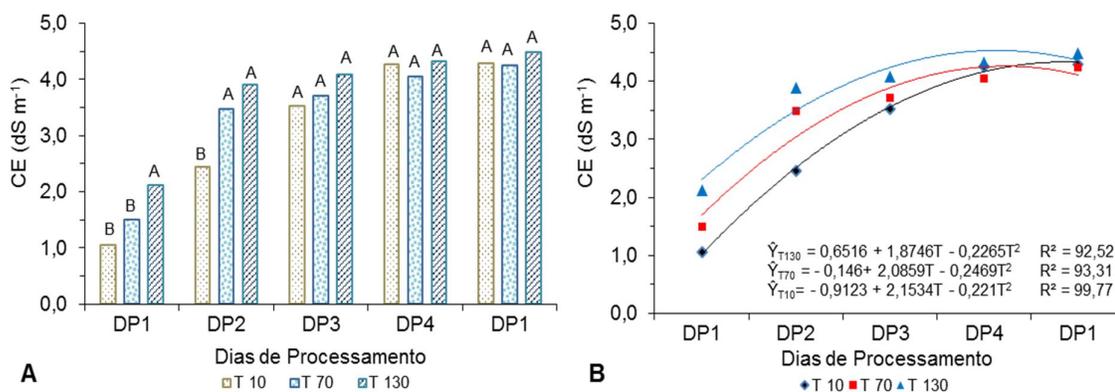
**Tabela 6** - Sólidos totais (ST) na água residuária do café, taxa de acúmulo médio e de remoção em relação ao primeiro dia de processamento, em função dos dias de processamento. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Dias de Processamento	ST						Taxa de Remoção SLAR %
	T <sub>10</sub>	T <sub>70</sub>	T <sub>130</sub>	Acúmulo			
	(mg L <sup>-1</sup> )			(mg min <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	%	
DP <sub>1</sub>	4.106	5.883	10.014	69,72	1,585	100,00	19,93
DP <sub>2</sub>	11.328	14.006	16.861	47,86	1,088	168,38	7,47
DP <sub>3</sub>	14.444	14.667	19.151	15,28	0,347	181,96	13,52
DP <sub>4</sub>	16535	16.856	19.819	4,77	0,108	185,45	9,54
DP <sub>5</sub>	17.342	18.813	19.878	0,41	0,009	185,75	5,96

#### 4.2.2 Condutividade Elétrica (CE)

Na análise de variância (Apêndice A) para CE, verifica-se que a interação entre tempo de recirculação e dias de processamento foi significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de CE na ARC para cada tempo de recirculação em função dos dias de processamento são observados na Figura 8 (A e B).



**Figura 8** - Condutividade elétrica (CE) na água residuária do café para cada tempo de recirculação em função dos dias de processamento (A e B). Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

A água usada no início do processamento dos frutos possuía CE de  $0,053 \text{ dS m}^{-1}$ . Esse valor encontra-se nos padrões estabelecidos para as águas naturais, que podem variar até  $0,1 \text{ dS m}^{-1}$  (LIBÂNIO, 2008).

Verifica-se um aumento substancial da CE nos tempos de coleta, com diferença estatística, até o  $DP_2$  e um crescimento discreto no  $T_{130}$ , a partir do  $DP_3$ , não diferenciando estatisticamente (Figura 8A).

Observa-se que a cada tempo de recirculação, houve um incremento significativo, variando de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  ( $T_{10}$  do  $DP_1$ ) a  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  ( $T_{130}$  do  $DP_5$ ). Esse incremento ocorreu em taxas decrescentes, da ordem de 101% ( $DP_1$ ), 59% ( $DP_2$ ), 16% ( $DP_3$ ), tendendo a estabilização a partir do quarto dia, quando as taxas foram acrescidas de 1,4% ( $DP_4$ ) e 4,7% ( $DP_5$ ).

Os valores de CE na ARC, em função dos dias de processamento, são obtidos com base nas equações apresentadas na Figura 8 B. Constata-se que o ponto de máxima da curva  $T_{10}$  foi alcançado aos 4,9 dias, com valor de  $4,3 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a variação da curva foi de  $1,0$  ( $DP_1$ ) a  $4,3 \text{ dS m}^{-1}$  ( $DP_5$ ) após o processamento de 31.647 L de frutos.

Para a curva  $T_{70}$ , a concentração inicial foi de  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo elevado para  $4,1 \text{ dS m}^{-1}$ , no  $DP_5$ . Observa-se que o ponto de máxima foi atingido aos 4,2 dias, com valor de  $4,2 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que na curva  $T_{130}$  o ponto de máxima foi alcançado aos 4,1 dias, com um incremento de CE de  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Ao final do 5º dia de processamento, o valor verificado foi de  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ .

O aumento da CE está associado à maior concentração de sais (íons) presentes na ARC. Esses resultados corroboram com os obtidos por Rigueira et al. (2010), Raggi (2006), Matos et al. (2007). Segundo Campos et al. (2010), elevados valores de CE estão relacionados com altos teores de salinidade e sólidos totais dissolvidos.

Os valores de CE medidos no efluente estão acima daqueles encontrados por Matos (2003) em café conilon ( $0,992 \text{ dS m}^{-1}$ ) e Rigueira, Lacerda Filho e Matos (2005) em café arábica ( $0,800 \text{ dS m}^{-1}$ ) e dos resultados encontrados por Raggi, Matos e Luiz (2008), que também quantificaram os valores de DBO e DQO demonstrando que estes acompanham as curvas de tendência da CE.

Confrontando os resultados apurados com os dados apresentados por Rigueira et al. (2010), que observaram altos valores de CE ( $1,247 \text{ dS m}^{-1}$ ) e ST ( $18.881 \text{ mg L}^{-1}$ ) e

concluíram que a ARC pode contribuir para a contaminação da água utilizada para a lavagem e separação dos frutos, impossibilitando seu uso em maior número de vezes, pode-se inferir que a partir de um bom planejamento é possível obter resultados promissores, favorecendo o descarte final do efluente.

Do ponto de vista ambiental, as altas concentrações de nutrientes e MO observadas na ARC, a caracterizam como fonte de poluição, principalmente se lançadas no meio aquático (SOARES et al., 2007). Em função de sua composição, deve ser tratada, principalmente, por métodos físicos, enquanto aquelas geradas na despolpa e desmucilagem, exigem tratamento físico e biológico antes de seu lançamento em corpo hídrico receptor (RIGUEIRA et al., 2010), pois quando descartadas sem tratamento podem provocar a eutrofização do meio (BRAGA et al., 2005).

#### **4.2.3 pH e macronutrientes**

Na análise de variância (Apêndice B e C) para e os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, verifica-se que a interação entre tempo de recirculação e dias de processamento não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade.

A mensuração do pH é importante por ele influenciar as reações químicas do meio. Inicialmente, a água utilizada no processamento possuía um pH de 6,95, valor contido dentro da margem estabelecida para águas naturais de superfície, que varia de 6,0 a 8,5 (LIBÂNIO, 2008).

Os valores de pH da ARC em função dos tempos de recirculação e dos dias de processamento variaram de 3,5 (DP<sub>1</sub>) a 4,0 (DP<sub>5</sub>). O aumento verificado pode ter sido influenciado pela entrada de água limpa durante o processamento. Esses valores estão relacionados com o aumento da concentração de H<sup>+</sup> presente nos compostos orgânicos da ARC ocasionado pelo aumento do volume de frutos processados, bem como, em consequência do percentual de frutos verdes presentes. Segundo Campos, Prado e Pereira (2010), os grãos verdes possuem muito tanino e ligninas e ao serem descascados aumentam a acidez da ARC.

De acordo com Campos, Prado e Pereira (2010), valores baixos de pH (4,54) são características próprias da ARC, independente do processamento do fruto. Provavelmente, devido aos sólidos dissolvidos e pela própria oxidação da matéria orgânica, atribuindo à ARC um caráter corrosivo. Tais valores estão fora dos padrões descrito na Resolução 416 que estabelece o pH entre 5 e 9 para descarte de efluentes de fonte poluidora em cursos d'água (CONAMA, 2011).

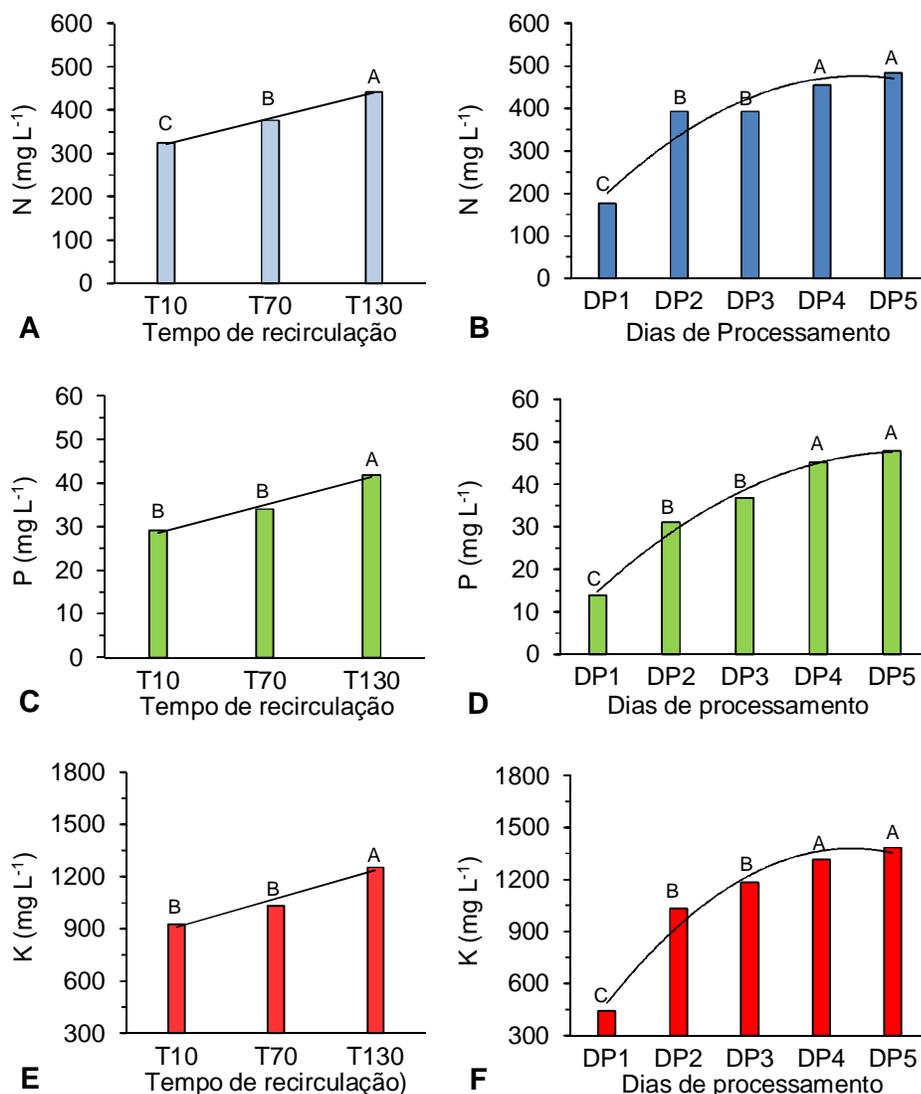
Valores baixos de pH também foram encontrados em outros trabalhos, na faixa de 3,5 a 5,2 sem a recirculação da ARC (MATOS et al., 2005) e entre 5,3 a 6,1 com recirculação durante as etapas do processamento de 11.000 L de frutos. Esses valores maiores foram observados ao introduzir água limpa no depósito de abastecimento (RIGUEIRA et al., 2010).

Os teores de N, P, K e Ca, Mg e S em função dos tempos de recirculação e dos dias de processamento com ARC em recirculação são observados nas Figuras 9 e 10.

Verifica-se nas Figuras 9A, 9C e 9E que o tempo de recirculação da ARC proporciona aumento nos teores dos elementos avaliados (N, P e K). Porém, P e K não diferem estatisticamente entre os T<sub>10</sub> e T<sub>70</sub> (Figuras 9C e 9E).

Observa-se que os valores do efluente não diferem estatisticamente entre o DP<sub>2</sub> e DP<sub>3</sub>, voltando a apresentar novo incremento de nutrientes nos DP<sub>4</sub> e DP<sub>5</sub>, porém, sem diferença estatística (Figuras 9B, 9D e 9F). Com o aumento dos dias de processamento, as concentrações dos nutrientes se elevaram, em menor proporção, o que pode ter ocorrido em função da diluição de água limpa no processo.

Observa-se que o N, P e K apresentaram teores médios variando de 324 a 441; 29 a 42 e 928 a 1.254 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses teores são maiores que a média encontrada por Prezotti et al. (2012), quando avaliaram amostras de ARC de 40 propriedades da região Serrana do Estado do Espírito Santo e àquelas encontradas por Soares et al. (2009) e Lo Monaco et al. (2004), que observaram teores de potássio entre 200 a 620 mg L<sup>-1</sup>.

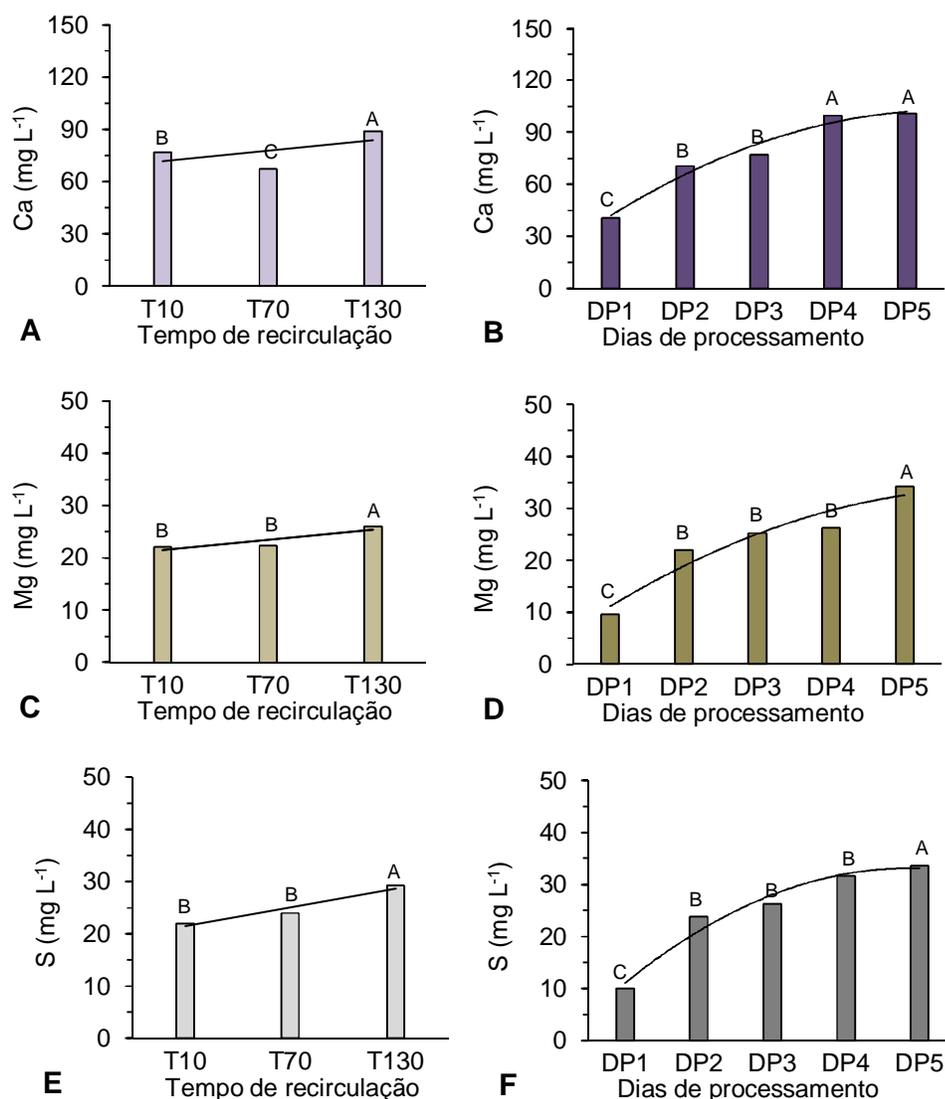


**Figura 9** - Teores médio de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, em função do tempo de recirculação (A, C e E) e dos dias de processamento (B, D e F), com recirculação da água residuária do café. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

Na Figura 10, observa-se o comportamento dos teores de Ca, Mg e S. A relação entre os teores de cálcio e magnésio foi de, aproximadamente, 4:1, relação esta considerada adequada para a nutrição da maioria das culturas. Tais valores são equivalentes à relação apurada por Moreli (2010), quando promoveu a recirculação da ARC no processamento de 10.000 L de frutos.

Conforme observado na Figura 10 (B, D e F), com o aumento dos dias de processamento, houve elevação dos teores de nutrientes na ARC. Contudo, não há diferença estatística entre os DP<sub>2,3 e 4</sub> para Mg e S e nos DP<sub>4 e 5</sub> para Ca. Verifica-se a existência de uma relação direta e proporcional entre esses elementos e os valores

de ST e CE.



**Figura 10** - Teores médio de Cálcio, Magnésio e Enxofre, em função do tempo de recirculação (A, C e E) e dos dias de processamento (B, D e F), com recirculação de água residuária do café. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

Os teores médios de nutrientes da água residuária, em função dos dias de processamento são apresentados na Tabela 7. Observam-se altas concentrações, com destaque para K e N, com valores de 1.383,65 e 483,40 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

A relação entre os teores de cálcio e magnésio se aproximou de 3:1. Observa-se que esses teores foram fortemente incrementados logo no início da recirculação da ARC (DP<sub>2</sub>), apresentando valores de 70,51 e 22,02 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela 7** - Teores médios de nutrientes na água residuária do café, em função dos dias de processamento. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Período	Nutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- mg L <sup>-1</sup> -----					
DP <sub>1</sub>	177,00	13,96	441,33	40,64	9,59	10,04
DP <sub>2</sub>	393,62	31,05	1.030,98	70,51	22,02	23,78
DP <sub>3</sub>	393,08	36,85	1.185,18	77,17	25,24	26,24
DP <sub>4</sub>	454,98	45,22	1.316,28	99,48	26,29	31,70
DP <sub>5</sub>	483,40	47,84	1.383,65	101,12	34,17	33,57
CV (%)	16,79	21,00	16,35	20,03	19,55	15,95

As concentrações de N, K e Ca na ARC podem sofrer variações em função das diferentes etapas do processo de descascamento/despolpa e do volume e número de recirculação da água (PREZOTTI et al. 2008b), como também, podem ser encontrados valores de N maiores que o de K, contrariando o senso comum de que este é o nutriente mais abundante na ARC (SOARES et al. 2009).

Os valores de incremento de nutrientes na ARC, em função do tempo de processamento são apresentados na Tabela 8. Verifica-se um incremento de 1,23; 0,10 e 3,07 mg L<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente, no DP<sub>1</sub>, para cada 44 litros de café processados a cada minuto de funcionamento da UP. Os teores são crescentes até o DP<sub>2</sub> e a partir do DP<sub>3</sub>, a taxa de elevação é decrescentes, alcançando no DP<sub>5</sub>, teores de 0,67; 0,07; e 1,92 mg L<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente, para cada 44 litros de frutos processados. Esse fato pode ser atribuído à introdução de água limpa durante o processamento.

**Tabela 8** - Valores de incremento de nutrientes na água residuária do café, em função do tempo de processamento. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Período	Valores de incrementos de nutrientes (mg min. <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
DP <sub>1</sub>	1,23	0,10	3,07	0,28	0,07	0,07
DP <sub>2</sub>	1,37	0,11	3,60	0,25	0,08	0,08
DP <sub>3</sub>	0,90	0,08	2,72	0,18	0,06	0,06
DP <sub>4</sub>	0,79	0,08	2,28	0,17	0,05	0,05
DP <sub>5</sub>	0,67	0,07	1,92	0,14	0,05	0,05

Embora o potássio apresente alta solubilidade, o seu teor na ARC foi potencializado nos DP<sub>1</sub> e DP<sub>2</sub>. A partir do DP<sub>3</sub>, o potencial de acréscimo é diminuído gradativamente, se apresentando na ordem de 2,72 a 1,92 mg L<sup>-1</sup>, fato esse, observado também para

N e P, conforme observado na Tabela 8. Isso é indicativo de que grande parte do potássio está associado aos constituintes orgânicos presentes na ARC.

Segundo Kiehl (1985), N e P possuem uma forte associação com material orgânico, esperando-se que a remoção de ST da ARC influenciasse diretamente na retenção desses elementos. No entanto, os resultados demonstram que houve uma retenção da ordem de 46% para N e 30% para P.

As taxas de acúmulo de nutrientes na ARC a partir do DP<sub>1</sub>, em função dos dias de processamento, são apresentadas na Tabela 9. Observa-se que do total acumulado, 84,76%, 72,17% e 81,10% dos teores de N, P e K, respectivamente, estão concentrados no segundo dia, quando já havia sido processado 12.880 L de frutos de café. Provavelmente, o incremento de água limpa nos dias subsequentes pode ter influenciado na diminuição das taxas de acúmulo.

**Tabela 9** - Taxa de acúmulo de nutrientes, em função dos dias de processamento, com água residuária em recirculação. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013

Nutrientes	Taxa de Acúmulo (%)					Total
	DP <sub>1</sub>	DP <sub>2</sub>	DP <sub>3</sub>	DP <sub>4</sub>	DP <sub>5</sub>	
N	100,00	122,39	0,00	15,75	6,25	144,39
P	100,00	122,39	18,69	22,72	5,80	169,59
K	100,00	133,61	14,96	11,06	5,12	164,74
Ca	100,00	73,52	9,44	28,91	1,66	113,52
Mg	100,00	129,70	14,63	4,17	29,95	178,45
S	100,00	136,95	10,36	20,81	5,88	173,99

Essa característica da ARC favorece o seu aproveitamento na fertirrigação de culturas (MATOS e LO MONACO, 2003; LO MONACO, 2005; PREZOTTI et al. 2012). Contudo, essa prática ainda é incipiente, pois a maioria dos cafeicultores apresenta resistência, por achar que é causadora de danos às plantas (SOARES et al. 2009).

Rigueira et al. (2010) também observaram considerável incremento nos valores de características físicas, químicas e bioquímicas na ARC, em virtude da constituição dos frutos do café e da alta liberação de constituintes orgânicos, sendo as altas concentrações de N e, principalmente, de K, um indicativo da possibilidade de seu aproveitamento agrícola.

Os dados indicam que quanto maior o tempo de recirculação da ARC no processamento dos frutos, maior a concentração de nutrientes presentes, para todos os elementos avaliados. Contudo, constatou-se que esse incremento não é

proporcional ao volume de frutos processados ou ao volume de água envolvida, havendo uma diminuição nas taxas de incremento a partir do DP<sub>3</sub>, provavelmente, contribuído, também, pela entrada de água limpa durante o processamento.

Esse fator deve ser levado em consideração durante o planejamento visando a maior eficiência do sistema. Deve-se levar em consideração a maior eficiência econômica da atividade, o que requer dos gestores atenção e monitoramento constante para definir a melhor estratégia operacional.

Uma constatação advinda dos resultados apresentados, corroborando com vários trabalhos nessa área, refere-se ao potencial da ARC, capaz de gerar passíveis ambientais significativos, quanto para gerar riquezas no meio agrícola se empregada como fonte de nutrientes e matéria orgânica. Em função da concentração nutricional, seu uso como fertilizante não deve ser desprezado pelos gestores, que obrigatoriamente, devem planejar a destinação final do efluente, considerando a legislação pertinente.

Assim, cabe aos gestores dessa atividade se antecipar e elaborar planos visando atender às legislações pertinentes e, principalmente, para o aproveitamento da ARC como fonte de agregação de valor ao agronegócio.

Dessa forma, deve optar pelo uso de águas originadas de fontes limpas, ausentes de substâncias tóxicas e metais pesados. Viabilizar a recirculação da ARC com objetivo de potencializar suas características físico-químicas, entendendo que está gerando um subproduto natural rico em nutrientes minerais e diminuindo a geração de efluentes, exigindo menor estrutura para armazenamento até o momento da destinação final, de preferência na fertirrigação de culturas e ou de áreas agricultáveis.

A água residuária do café apresenta reais possibilidades para uso agrícola como fonte de fertilizante para as diversas culturas, podendo se transformar num subproduto gerador de renda na propriedade, melhorando a sustentabilidade do empreendimento.

Ao optar pela utilização da ARC como fonte de nutrientes, aplicada via solo, os gestores devem se ater às técnicas disponibilizadas para não incorrerem em prejuízos, passíveis de ocorrerem quando aplicadas em excesso, como por exemplo, a salinização do solo (GARCIA et al., 2008). Assim, se torna necessário calcular a dose a ser aplicada, que deve ser baseada na análise química da ARC, considerando o teor de potássio, do solo e na necessidade nutricional das culturas (PREZOTTI e

GUARÇONI M., 2013).

Assim, baseado na proposta de cálculo do volume de ARC a ser aplicada via fertirrigação, descrita por esses autores e, considerando a média dos teores mínimos de  $930 \text{ mg L}^{-1}$ , verificou-se que em um solo com CTC pH 7,0 =  $6,23 \text{ Cmol}_c/\text{dm}^3$ , uma dose de  $7,96 \text{ L/m}^2$  seria suficiente para elevar a 5% a saturação por K na CTC pH 7,0 do solo. Segundo os autores, essa dose deve ser dividida durante o ciclo da cultura para haver melhor aproveitamento. Esse volume pode ser um fator favorável na gestão do reuso do efluente.

Esses aspectos denotam a importância do planejamento da atividade visando aproveitar ao máximo aquilo que o negócio pode proporcionar. Os gestores podem adotar uma nova cultura relacionada ao gerenciamento do processo de pós-colheita do café, utilizando as diversas tecnologias disponíveis para o processamento via úmida, secagem, armazenagem e benefício.

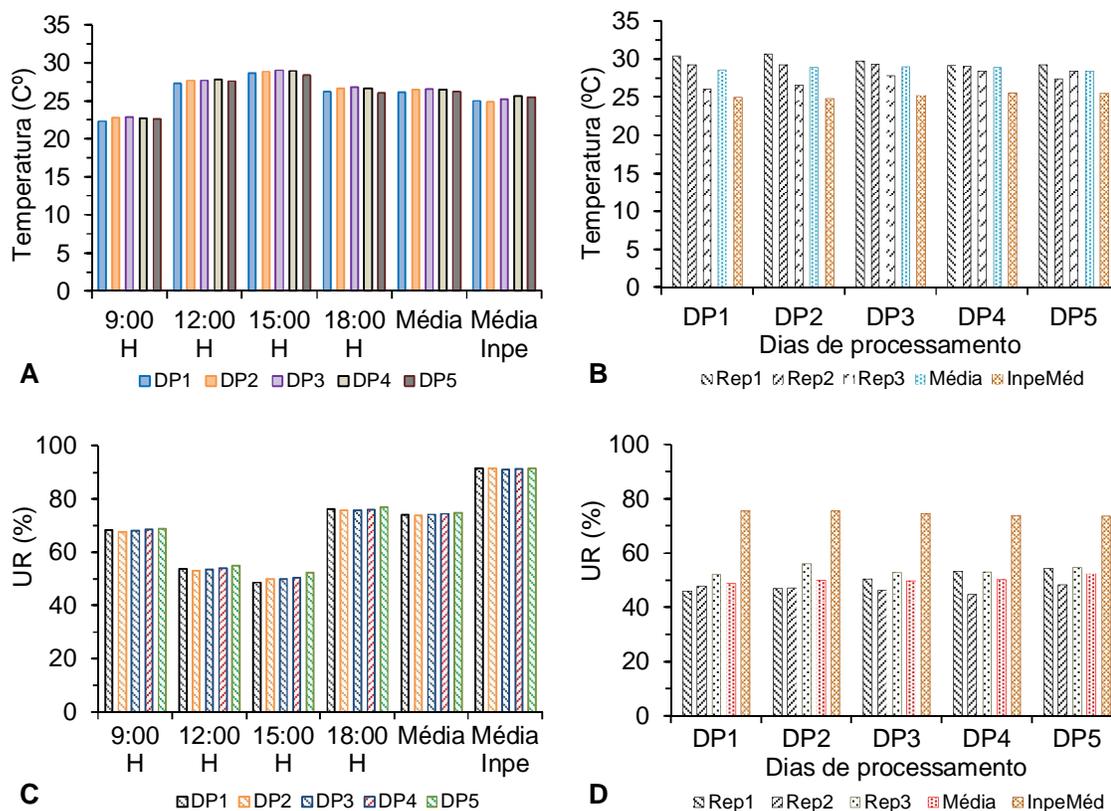
É por meio da adoção das novas tecnologias que poderão ampliar a renda do negócio, seja através da agregação de valor pela maior qualidade final do produto, seja pela diminuição do custo de produção, alcançado quando se planeja adequadamente a estrutura e os processos, como também, por meio do aproveitamento dos resíduos (subprodutos), como a ARC, aqui denominada de fertilizante líquido natural, que deve ser utilizada para nutrir plantas.

Caso contrário, esse fator pode contribuir para ampliar os impactos, caso seja descartado de forma irregular no ambiente, gerando em alguns casos, ativos ambientais desproporcionais aos interesses, não só do empresário do café, como também, dos setores públicos e da sociedade. Durante o período de colheita, é comum observar o descarte de efluente em estradas e carreadores das propriedades e até em mananciais hídricos, de forma descontrolada, bem como, o uso de descarte em lagoas com capacidades limitadas.

#### 4.3 ASPECTOS DA SECAGEM

Os valores médios de temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%)

mensurados durante o período de secagem, no interior da unidade de secagem de grãos e do ambiente externo, são apresentados na Figura 11.



**Figura 11** - Temperatura e Umidade Relativa do ar (UR) na unidade de secagem de grãos e no ambiente externo, em função do tempo e dos dias de processamento durante a secagem das amostras experimentais. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013. A – Média de temperatura máxima diária, em função dos dias de processamento; B – Média de temperatura máxima às 15h, em função do período de secagem para os dias de processamento; C – Média de umidade relativa diária, em função dos dias de processamento; e D – Média de umidade relativa às 15h, em função do período de secagem para os dias de processamento.

A média da temperatura máxima do ambiente externo foi de 25,2 °C, enquanto a média mensurada no interior do terreiro foi 1,2 °C superior, com maior pico às 15h, quando atingiu 3,8 °C (Figura 11A).

Observa-se, na Figura 11B, que a média das temperaturas máximas, registrada às 15h, apresentou leve queda em função das repetições. Isso se justifica em função do período trabalhado (junho/julho).

A secagem ocorreu sob condição média de UR do ar, variando entre 35% (mínima) e 94% (máxima), com média de 74,3%, enquanto a média do ambiente externo foi de 91,5%. Esse fator, comum em regiões de clima úmido, é uma das características ambientais que mais contribuem para a baixa qualidade dos cafés secados em

terreiros, exigindo dos gestores cuidados especiais durante a operação de secagem e justificando a implantação de tecnologias de pós-colheita.

Entre as tecnologias disponíveis, uma simples cobertura de lona plástica do terreiro contribuiu para secagem uniforme e diminuição dos riscos de deterioração, ao proporcionar aquecimento elevando as temperaturas e, conseqüentemente, diminuindo a UR do ar, fator essencial para o princípio da secagem.

Normalmente, no momento da colheita, os frutos do café possuem teor de água superior a 30%, variando até 65% (bu) em função do estágio de maturação, predispondo o produto às condições favoráveis ao processo de deterioração, promovendo a perda da qualidade, caso não seja priorizado o processo de secagem (BORÉM, REINATO e ANDRADE, 2008).

Os índices médios de UR do ar são apresentados na Figura 11C e 11D. Observa-se que não houve variação significativa durante período de secagem entre os tempos, em função dos dias de processamento. Verifica-se na Figura 11C, que a secagem ocorreu sob uma condição de UR do ar, média, entre 68,4; 54,0 e 50,3; 74,3; e 91,5%, mensuradas às 9, 12 e 15h, média na unidade de secagem e média externa registrada pelo Incaper/Inpe, respectivamente.

A UR do ar seguiu uma tendência natural de diminuição ao longo do dia, apresentando menor índice às 15h, com 50,3%. Na Figura 11D, observa-se os índices médios aferidos às 15h, por repetição, comparando-os com a média registrada na unidade de secagem e no ambiente (Incaper/Inpe), em função dos dias de processamento. Verifica-se que média mensurada entre as repetições experimentais foram de 50,3; 46,9; 53,7; 50,3; e 74,8%, para Rep.1, Rep.2, Rep3, unidade de secagem e ambiente externo, respectivamente.

A condição de UR do ar no interior da unidade de secagem às 15h foi 32,75% menor que a UR do ar do ambiente externo, favorecendo para que o processo de secagem dos grãos ocorresse dentro dos padrões técnicos requeridos pelo sistema adotado.

Em razão dos dados de temperatura e UR do ar observada, constatou-se a importância da cobertura de lona transparente no terreiro de cimento, para o processo de secagem artificial com ventilação natural, ao contribuir para o aumento da temperatura em 3,6 °C e diminuição da UR do ar em 24%, comparada às condições do ambiente externo.

Tanto a temperatura quanto a UR do ar são fundamentais no processo de secagem em terreiro, onde o café é aquecido pela ação dos raios solares e secado pelo ar ambiente através de sua movimentação. O ar ambiente precisa ser seco, isto é, deve estar com baixa UR, para a obtenção de um produto final uniforme e de boa qualidade.

O uso de terreiro requerer tempo relativamente longo para a realização do processo de secagem. A exposição do produto às condições climáticas adversas pode favorecer o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, depreciando a qualidade.

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DO CAFÉ BENEFICIADO

As características e o rendimento do café podem ser observadas na Tabela 10. Os frutos apresentaram um rendimento de 611; 444 e 665 g L<sup>-1</sup> de grãos natural, grãos coco (seco) e grãos beneficiados, respectivamente, e uma relação de 34,33 e 18,58% para grão coco e beneficiado por fruto natural.

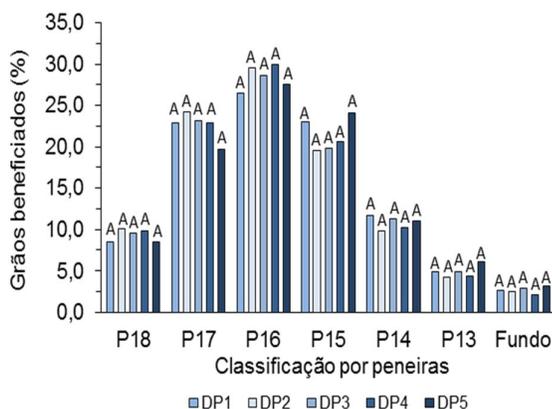
**Tabela 10** - Características e rendimento do grão natural, obtidas após secagem e beneficiamento. Venda Nova do Imigrante-ES, safra 2013

Especificação	Unidade	Quantidade
Café natural	g L <sup>-1</sup>	611,15
Café Coco	g L <sup>-1</sup>	394,82
Café Beneficiado	g L <sup>-1</sup>	665,23
Café em coco/Café natural	%	34,33
Café beneficiado/Café natural	%	18,58
Volume de café natural por Saca Beneficiada (60 kg)	L	529,09
Peso de grãos beneficiados, por 80 L de café em coco	kg	17,08
Peso de 1000 grãos	g	123,5
Teor de água grãos beneficiados (bu)	%	11,70
Grãos beneficiados chatos	%	89,64
Grãos beneficiados moca	%	8,62
Grãos beneficiados concha	%	1,73

Quanto à forma, os grãos beneficiados oriundos do café natural, em função do tempo e dos dias de processamento, não diferiram estatisticamente, pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. Os grãos chatos, moca e concha apresentam percentagens de 89,64; 8,62; e 1,74, respectivamente, enquanto os grãos CD apresentam 91,9; 5,8; e 2,3%, respectivamente. Naturalmente, o percentual de

ocorrência das formas variam em função de fatores como: variedade, tratos culturais, clima e localização geográfica (BORÉM, 2008).

Observa-se na Figura 12, que as características dos grãos naturais, classificados por peneiras, em função dos dias de processamento, não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, em 5% de nível de significância. Esse resultado é indicativo da regularidade mantida na obtenção dos frutos para o processamento.



**Figura 12** - Percentuais médios de grãos beneficiados do café natural, em função dos dias de processamento para cada peneira. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

Médias seguidas por uma mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

A classificação por peneiras, por tipo e a qualidade da bebida do café natural beneficiado e do CD, são apresentadas na Tabela 11. Observa-se que o café natural apresentou um rendimento de 81,6% de peneira 15 acima, enquanto 15,7% foram classificados como chato miúdo. Para os grãos CDs, o índice de peneira 16 acima foi de 62,3% e de peneira 13/14 foi de 12,3%. Verifica-se a simetria dos índices entre o café natural e o café CD, para cada parâmetro analisado.

**Tabela 11** - Rendimento de peneira, número de defeitos e classificação dos grãos naturais e cereja descascado beneficiados. Venda Nova do Imigrante-ES, safra 2013

Grão	----- Peneiras (%) -----						---- Número de Defeitos ----					Classificação	
	>17	>16	>15	>14	>13	Fundo	P	V	A	O	Total	Tipo	Bebida
Natural	32,4	60,8	81,6	92,5	97,3	2,7	38	53	32	52	175	7	Comercial
CD	31,9	62,3	84,5	93,2	96,8	3,2	0	1	6	26	33	4	Premium

P = preto; V = verde; A = ardido; O = outros.

A classificação por tipo permitiu verificar o aspecto e a quantidade de defeitos e impurezas existentes nas amostras. Foram encontrados 175 defeitos nos grãos de café natural, destacando-se a presença de preto (38), verde (53) e ardido (32),

representando 70% dos defeitos de natureza intrínseca, que ainda 11,5% de mal granado e 10,6% de quebrado. Segundo Malta (2011), esses tipos de defeitos são típicos da condução inadequada de processos durante o manejo da lavoura, colheita e pós-colheita, passíveis de serem diminuídos, principalmente, na fase de colheita.

Após a tipificação, constatou-se que apenas 0,2% dos defeitos eram provenientes de natureza extrínseca. De acordo com a Tabela Oficial Brasileira de Classificação, esses cafés são classificados como Tipo 7, com 20,6% de catação.

Para o café CD, observou-se a presença de 33 defeitos, classificando-o como tipo 4, com baixo índice de defeitos “PVA” (preto, verde e ardido). Esse tipo de café, somada classificação de bebida Premium, caracteriza-o como um produto especial de alto valor comercial.

Na classificação quanto à bebida, os cafés naturais manifestaram defeitos que culminaram com resultados pouco expressivos, decorrentes de interferência desagradáveis no sabor, gerando pontuações < 6,0. De acordo com a tabela da SCAA, esse tipo de produto é classificado como um café comercial.

Tal resultado pode ter sido influenciado pelos índices de defeitos das variáveis “PVA”, justificando as campanhas desencadeadas pelos órgãos públicos, visando qualificar os cafeicultores quanto ao manejo adequado dos processos de colheita e pós-colheita. Segundo Borém (2008), a baixa qualidade observada nos cafés obtidos através da secagem em coco refere-se, principalmente, aos cuidados não praticados durante a colheita, como a presença de frutos verdes, brocados e fermentados.

Considerando que os processos de secagem e armazenagem foram conduzidos dentro das técnicas recomendadas, observando o estágio de maturação dos frutos (Figura 5) e os números de defeitos apresentados pelo café natural (Tabela 11), é razoável inferir que a característica de bebida comercial, ou seja, bebida “Riada/Rio” atribuída ao café natural, pode ter sido influenciada por processos ainda no campo, até a colheita.

Também foi possível inferir que o processo de lavagem e descascamento proporcionou a separação dos grãos com a qualidade depreciada ainda no campo, evidenciando aqueles com características especiais, agregando valor ao produto.

Os resultados da análise de variância feita para cada atributo e as médias das notas

pontuadas podem ser observados na Tabela 12. Os resultados indicam que o tempo e os dias de processamento com recirculação da ARC, não influenciam nas características organolépticas do café, que apresentou resultados altamente satisfatórios, quando foi classificado na escala de qualidade com notas excelentes. De acordo com a tabela da SCAA os cafés com pontuação acima de 80,0 são considerados especiais.

**Tabela 12** - Características organolépticas do café cereja descascado em função dos dias de processamento com recirculação da água residuária do café, para cada característica da bebida, obtidas após o beneficiamento dos frutos. Venda Nova do Imigrante-ES, safra 2013

Período	Características da bebida			
	Fragrância/Aroma	Sabor	Acidez	Corpo
DP <sub>1</sub>	7,222 a	7,194 a	7,139 a	7,180 a
DP <sub>2</sub>	7,375 a	7,305 a	7,181 a	7,208 a
DP <sub>3</sub>	7,375 a	7,264 a	7,167 a	7,208 a
DP <sub>4</sub>	7,222 a	7,319 a	7,242 a	7,242 a
DP <sub>5</sub>	7,375 a	7,247 a	7,194 a	7,250 a
CV (%)	3,4110	4,4068	3,8475	3,4935

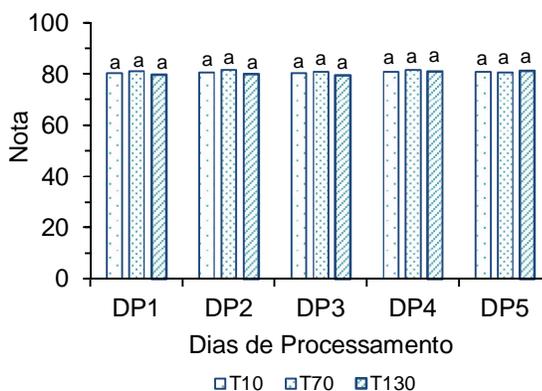
Período	Características da bebida			
	Finalização	Equilíbrio	Resultado Global	Resultado Final
DP <sub>1</sub>	7,194 a	7,250 a	7,350 a	80,530 a
DP <sub>2</sub>	7,180 a	7,153 a	7,225 a	80,628 a
DP <sub>3</sub>	7,139 a	7,222 a	7,267 a	80,419 a
DP <sub>4</sub>	7,333 a	7,278 a	7,347 a	80,983 a
DP <sub>5</sub>	7,305 a	7,222 a	7,194 a	80,858 a
CV (%)	3,4213	3,1928	4,0144	2,1162

Em razão da distribuição equidistantes dos tempos ( $T_{10}$ ;  $T_{70}$  e  $T_{130}$ ) e dias de processamento, foi realizada a decomposição dos graus de liberdade da fonte de variação tempo e dias de processamento para as variáveis fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, resultado global e resultado final. Os demais atributos, doçura, xícara limpa e uniformidade não foram incluídos em função da obtenção de notas 10 em todas amostras.

Observa-se que as médias das notas inferidas às amostras de grãos de café arábica foram de 80,53; 80,63; 80,42; 80,98; e 80,86 pontos para os DP<sub>1</sub>, DP<sub>2</sub>, DP<sub>3</sub>, DP<sub>4</sub> e DP<sub>5</sub>, respectivamente, constatando-se que os dias de processamento, em função dos tempos de recirculação da ARC, não influenciou, negativamente, nas características

organolépticas dos grãos.

As notas de Resultado Final representam a soma total das avaliações de cada atributo e podem ser observadas na Figura 13. Verifica-se que o tempo de recirculação em função dos dias de processamento, com recirculação da ARC, não diferiram significativamente, pelo teste de Tukey, em 5% de nível de significância.



**Figura 13** - Notas médias da prova de xícara para o atributo “Resultado Final”, realizada sobre os grãos de café arábica, em função dos tempos de recirculação e dos dias de processamento com recirculação da água residuária do café. Venda Nova do Imigrante-ES, 2013.

De acordo com a tabela da SCAA, a qualidade do café, a partir das notas de Resultado Final da avaliação sensorial, com pontuação variando de 80,0 a 84,99 possuem descrição especial de “Muito bom”, sendo classificado como um café “Premium”. Borém, Reinato e Pereira (2008) estudaram a influência da secagem com o objetivo avaliar a qualidade do café despulpado. Nas secagens realizadas nos terreiros o café foi revolvido diariamente em intervalos de 40 minutos e apresentaram bebida classificada como Mole.

Estudos realizados por Barbosa (2011), objetivando avaliar métodos para monitoramento da qualidade dos grãos de café durante o processamento, com secagem mecânica conduzida em secadores de camada fixa, com variação de temperaturas, também apresentaram resultados finais de 80,04 pontos (SCAA), semelhantes aos registrados neste trabalho.

Tal resultado, indicou que o uso da ARC, através da recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro, pelo período de cinco dias consecutivos, não afetou a qualidade final dos grãos. Moreli (2010) trabalhou com recirculação de ARC no processamento de 10.000 L de frutos do cafeeiro arábica durante 146 minutos e não verificou influência na bebida, que foi classificada como Premium. Matos et al. (2006), após

trabalharem com ARC em recirculação no processamento de frutos do cafeeiro, concluíram não haver clara associação entre o tipo de bebida e o número de recirculação da água no processamento dos frutos.

Considerando que a má operação de secagem pode influenciar não só na característica do grão cru, mas também, o gosto da bebida (VASCO, 1999), e que as elevadas temperaturas e taxas de secagem são os principais fatores atribuídos à depreciação da qualidade durante a pós-colheita, exigindo atenção e a aplicação de técnicas adequadas para minimizar essas interferências (BORÉM, 2008), verifica-se, pelos resultados obtidos, que a operação de secagem, armazenagem e benefício foram executadas dentro das técnicas preconizadas, sendo determinante para a manutenção da qualidade final do produto.

## 5 CONCLUSÕES

- A recirculação da água no processamento dos frutos do cafeeiro, durante cinco dias consecutivos, proporciona a redução de 1,96 L para 0,278 litros de água por litro de frutos, equivalente a uma economia de 85,82% na redução de água por litro de frutos processados, possibilitando a maximização do uso da água.
- A qualidade da bebida dos grãos cerejas descascados não é influenciada pela recirculação da água no processamento dos frutos do cafeeiro, durante os cinco dias consecutivos.
- Durante os dias de processamento com recirculação da água residuária do café, as concentrações de ST, CE, N, P, K, Ca, Mg e S aumentam, e o pH diminui.
- A recirculação da água residuária do café por cinco dias consecutivos é viabilizada por meio do sistema de limpeza de água residuária (SLAR), que promove a retenção dos sólidos suspensos sedimentáveis em proporções suficientes para não obstruir os orifícios hidráulicos da unidade de processamento.
- A recirculação da água residuária do café é uma estratégia para aumentar a concentração de nitrogênio e, principalmente, de potássio, indicando a importância de seu aproveitamento na nutrição de culturas.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALVES, G. E.; OLIVEIRA, P. D.; ISQUIERDO, E. P.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, C. C.; RIBEIRO, D. E. Análise sensorial de grãos de café submetidos a diferentes tipos de processamento e métodos de secagem. In: VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil; **Anais...** Araxá – MG. 2011.
- BARBOSA, F. A. Avaliação de métodos para o monitoramento da qualidade do café. 2011. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- BORÉM, F. M.; Processamento de Café. In BOREM, F. M. (Editor) **Pós-Colheita do Café**; Lavras: Ed. UFLA; Cap. 5, p. 127–158, 2008.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In BOREM, F. M. (Editor). **Pós-Colheita do Café**; Lavras: Ed. UFLA; Cap. 7, p. 203–240, 2008.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental, o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- CABANELLAS, C. F. G. **Tratamento da água sob recirculação, em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro**. 2004. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- CAMPOS, C. M. M.; PRADO, M. A. C.; PEREIRA, E. L. Caracterização físico-química, bioquímica e energética da água residuária do café processado por via úmida. *Bioscience Journal* (UFU Impresso), Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 514-524, July/Aug. 2010.
- CETESB. **Reúso da água**. São Paulo. SP. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reuso-de-%C3%81gua>. Acesso em: 20 de novembro de 2013.
- CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Estabelece as condições de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 14 de jul. 2008.
- CONAMA. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispondo sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução Nº 357 de 18 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 mai. 2011. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 23 de out. 2013.
- DONZELES, S. M. L.; SAMPAIO, C. P.; SOARES, S. F.; RIBEIRO, M. F. Colheita e processamento do café arábica. In. REIS, P. R.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R.

(Eds). **Café Arábica da pós-colheita ao consumo**; Lavras: U.R. EPAMIG SM; Cap. 1, p.19-65. 2011.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; MARTINS FILHO, S. Alterações químicas de três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro conilon. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 4, p. 416-427, out./dez., 2008.

IDAF - Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. Instrução Normativa Nº 09, de 17 de setembro de 2008, Diretrizes para o processo de licenciamento ambiental das atividades de descascamento/despulpamento de café. Disponível em: <http://www.idaf.es.gov.br/Download/Legislacao/CLA/IN%2009%20DESPOLPAMENTO%20DE%20CAFE.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2013.

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instrução Normativa Nº 13, de 17 de dezembro de 2007. Disponível em: [http://www.fiscolex.com.br/doc\\_1221500\\_INSTRUÇÃO\\_NORMATIVA\\_N\\_013\\_de\\_17\\_de\\_dezembro\\_de\\_2007.aspx](http://www.fiscolex.com.br/doc_1221500_INSTRUÇÃO_NORMATIVA_N_013_de_17_de_dezembro_de_2007.aspx). Acesso em 03 de nov. 2010.

IMHOFF, K.; IMHOFF, R. K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1986.

KIEHL, E. J. R. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985. 492 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. Ed. Campinas, SP: Átomo, 2008.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; JORDÃO, P. P.; CECON, P. R.; MARTINEZ, M. A. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 116-119, 2004.

LO MONACO, P. A. **Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. R.; RAMOS, M. M. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro após a fertirrigação com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.15, n.4, p. 392-399, out./dez., 2007.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. R.; RAMOS, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.3, p. 348-364, jul./set., 2009.

MALTA, M. R. Normas e padrões utilizados na classificação do café. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R. (Eds). **Café Arábica da pós-colheita ao consumo**; Lavras: U.R. EPAMIG SM; Cap. 1, p.337-413. 2011.

MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos de lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro. Viçosa-MG. 68 p. **Revista Engenharia na Agricultura**. Boletim Técnico, 7. 2003.

MATOS, A. T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no Beneficiamento do fruto do cafeeiro. In: ZAMBOLIN, L. (Editor). **Produção Integrada de Café**. Viçosa:

UFV; DFP, p. 647–709. 2003.

MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; BARROS, F. M. Extração de nutrientes por forrageiras cultivadas com água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro. *Revista Ceres*, v. 53, n. 303, p. 675-688, 2005.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; SILVA J. S. E; MACHADO, M. C. Qualidade de bebida de grãos de café processados com água sob recirculação e tratamento físico-químico. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 14, n. 3, p. 141-147, jul./set., 2006.

MATOS, A. T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; PEREIRA, P. A.; MATOS, M. P. Tratamento da água para reuso no descascamento/ despolpa dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 15, n. 2, p. 173-178, abr./jun., 2007.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: BOREM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, Cap. 6, p.159-201. 2008.

MATOS, A. T. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. Viçosa: Ed. UFRV, 2010. 260 p.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de textos. 2005. 144 p.

MORELI, A. P. **Avaliação de um sistema de remoção de sólidos para maximização do uso da água no processamento dos frutos do cafeeiro**. 2010. 68p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2010.

PALACIN, J. J. F.; LACERDA, A. F. ; MELO, E. C.; SILVA, J. S.; DONZELES, S. M. L. Trabalho apresentado no Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (4: 2005: Londrina, PR). Anais. Brasília, D.F.: Embrapa Café, 2005.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. A.; SOARES, S. F.; GUARÇONI, A.; MORELI, A. P. Alterações das características químicas do solo submetido à aplicação de água residuária do processamento pós-colheita dos frutos de café e sua influência sobre o crescimento de plantas de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 34, 2008, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA: PROCAFÉ, 2008a. p. 83-85.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. A.; SOARES, S. F.; GUARÇONI, A.; MORELI, A. P. Caracterização de águas residuárias da despolpa de frutos de café e de solos receptores no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 34. 2008, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA: PROCAFÉ, 2008b. p. 82-83.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. A.; SOARES, S. F.; GUARÇONI, A.; MORELI, A. P. Águas residuárias da despolpa de frutos de café como fonte de matéria orgânica e nutrientes na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS. **Anais...** Vitória: Incaper, 2009. (Incaper. Documentos, CD-ROM 012).

PREZOTTI, L. C.; MORELI, A. P.; SOARES, S. F.; ROCHA, A. C. Teores de nutrientes nas águas residuárias do café e características químicas do solo após sua aplicação. Vitória, ES: Incaper, 2012. 24p. (Incaper documentos 208).

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória – ES: Incaper, 2013. 104 p.

RAGGI, L. G. R. **Avaliação do desempenho de sistemas de tratamento de água em recirculação no descascamento e desmucilagem dos frutos do cafeeiro.** 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

RAGGI, L. G. R.; MATOS, A. T.; LUIZ, F. A. R. Avaliação de sistema de tratamento de águas recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro. **COFFEE SCIENCE**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 19–29, jan./jun. 2008.

RIGUEIRA, R. J. A. Avaliação da qualidade do café processado por via úmida, durante as operações de secagem e armazenagem. 2005. 76 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; MATOS, A. T. Alteração nas características físicas, químicas e bioquímicas da água no processo de lavagem, despulpa e desmucilagem de frutos do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa–Café, 2005. CD-ROM.

RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; MATOS, A. T.; DONZELES, S. M. L.; PALACIN, J. J. F. Alterações nas características físicas, químicas e bioquímicas da água no processo de lavagem, despulpa e desmucilagem do cafeeiro. **Revista Engenharia na Agricultura. Boletim Técnico**, 18. Viçosa, MG, v. 18, n. 2, Março/Abril, p. 131-139, 2010.

SCAA CUPPING PROTOCOLS, TSC – SCAA. Rev. em December 2008. DOC V – Portuguese. Disponível em: [http://coffeetraveler.net/wp.content/files/901-scaa\\_CuppingProtocols\\_TSC\\_DOCV\\_RevDec08\\_Portuguese.pdf](http://coffeetraveler.net/wp.content/files/901-scaa_CuppingProtocols_TSC_DOCV_RevDec08_Portuguese.pdf). Acesso em: 20 de agosto de 2010.

SETTE, R. S. Gerenciamento da propriedade cafeeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 7–13, nov./dez. 2008.

SILVA, J. S.; NOGUEIRA, R. M.; ROBERTO, C. D. Tecnologia de secagem e armazenagem para a agricultura familiar. Viçosa, 2005. 138p.

SILVA, J. S.; LOPES, R. P.; DONZELES, S. M. L.; COSTA, C. A. **Infraestrutura Mínima para Produção de Café com Qualidade – uma opção para a cafeicultura familiar.** Viçosa. 2011.

SILVA, J. S.; MORELI, A. P.; SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; VITOR, D. G. Produção de Café Cereja Descascado – Equipamentos e Custo de Processamento. 2013.

SILVA, J. S.; DONZELES, S. M. L.; CORRÊA, P. C. Indicadores da qualidade dos grãos. In: silva, J. S. (Ed) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** 2.ed., Revisada e Ampliada. Viçosa: UFV/DEA, 2008. p.63-107.

SOARES, S. F.; SOARES, V. F.; SOARES, G. F.; ROCHA, A. C.; MORELI, A. P.; PREZOTTI, L. C. Destinação da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café conilon.** Vitória: Incaper, p. 519-529, 2007a.

SOARES, G. F.; SOARES, V. F.; SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; MORELI, A. P.; ROCHA, A. C.; PREZOTTI, L. C. Efeito da água residuária do café em plantas de

milho. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais...**Brasília, Embrapa Café, 2007b.

SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; MORELI, A. P.; ROCHA, A. C.; PREZOTTI, L. C.; SOARES, G. F.; SOARES, V. F. **Água residual do café: geração e aproveitamento**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2008. 4 p. (Circular Técnica, 30).

SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; SOARES, G. F.; MORELI, A. P. Utilização da água residual do processamento dos frutos do cafeeiro em alface. In: **VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Vitória-ES: Embrapa/café, 2009. 1 CD-ROM.

SOUZA, C. A. S. Gerenciamento de propriedade cafeeira em época de crise. Revista *Gestão no Campo*. 2013. Disponível em: <http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/artigos/agricultura/cafe-agricultura/gerenciamento-de-propriedade-cafeeira-em-epoca-de-crise>. Acesso em: 18 de novembro de 2013.

VASCO, J. Z. Procesamiento de frutos de café por vía húmeda y generación de subproductos. In: III Seminário Internacional sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira (3: 1999: Londrina, PR). **Anais...** International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agroindustry (3: 1999: Londrina, PR). Proceedings. Londrina: IAPAR; IRD; Curitiba: UFPR, 2000. (513p: il.), p. 345-355.

## APÊNDICE

**Apêndice A** – Resumo de análise de variância de sólidos totais (ST) e condutividade elétrica (CE) na água residuária do café

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios	
		ST	CE
Total	89		
Total de Redução	41	0,6044312E+08	2.905258
Repetição	2	0,1711826E+09	6.176940
Tempo	2	0,1529366E+09 *	3.363800 *
Erro (A)	4	6560535	0.2541300
Ponto de Coleta (PC)	1	0,8355746E+08 *	1.367520 *
PC*Tempo	2	382575.6 <sup>NS</sup>	0.7962730E-01 <sup>NS</sup>
Erro (B)	6	216424.2	0.3258200E-01
Dia de Processamento (DP)	4	0,3994219E+09 *	22.83923 *
PC*DP	4	2369335. <sup>NS</sup>	0.8743429E-01 <sup>NS</sup>
Tempo*Dia	8	0,1197982E+08 *	0.6012205 *
PC*Tempo*Dia	8	1882845. <sup>NS</sup>	0.9736286E-01 <sup>NS</sup>
Resíduo	48	3724083.	0.1623538
<b>Coeficiente de Variação</b>		<b>13,175</b>	<b>11,740</b>

\*Significativo a 5%; e <sup>NS</sup> não significativo.

**Apêndice B** – Resumo de análise de variância de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), na água residuária do café

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios		
		N	P	K
Total	44			
Total de Redução	20	42417.46	445.9674	362128.9
Repetição	2	71425.37	181.3324	430375.1
Tempo	2	51924.62 *	628.0431 *	414234.9 *
Erro (A)	4	3413.822	112.3656	36680.30
Dia Processamento (DP)	4	130230.0 *	1644.980 *	1280323. *
Tempo*DP	8	8384.266 <sup>NS</sup>	33.90162 <sup>NS</sup>	35667.95 <sup>NS</sup>
Resíduo	24	4080.735	53.97297	30697.73
Coeficiente de Variação		16,792	21,000	16,352

\*Significativo a 5%; e <sup>NS</sup> não significativo.

**Apêndice C** – Resumo de análise de variância de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), na água residuária do café

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Ca	Mg	S
Total	44			
Total de Redução	20	1441.298	179.1867	352.9409
Repetição	2	146.3296	101.3227	45.69394
Tempo	2	1721.233 *	72.67443 *	212.9096 *
Erro (A)	4	57.51916	3.038290	32.41171
Dia Processamento (DP)	4	5509.306 *	720.9360 *	776.9595 *
Tempo*DP	8	352.9409 <sup>NS</sup>	42.48042 <sup>NS</sup>	32.74869 <sup>NS</sup>
Resíduo	24	242.7014	21.00420	15.99421
Coeficiente de Variação		20,029	19,535	15,954

\*Significativo a 5%; e <sup>NS</sup> não significativo.