



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



MATHEUS CARDOSO DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DO PERFIL DE TORRA DO CAFÉ SOBRE A
QUALIDADE DO PRODUTO**

CAMPINAS

2023



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



MATHEUS CARDOSO DE ALMEIDA

AVALIAÇÃO DO PERFIL DE TORRA DO CAFÉ SOBRE A QUALIDADE DO PRODUTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Agrícola à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira

CAMPINAS

2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

AL64a Almeida, Matheus Cardoso de, 1998-
Avaliação do perfil de torra do café sobre a qualidade do produto / Matheus Cardoso de Almeida. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Rafael Augustus de Oliveira.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Coffea arabica. 2. Café - Torrefação. 3. Café - Qualidade. I. Oliveira, Rafael Augustus de, 1979-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Evaluation of coffee roasting profile on product quality

Palavras-chave em inglês:

Coffea arabica

Coffee - Roasting

Coffee - Quality

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Bacharel em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Juliana Aparecida Fracarolli

Juliana Cardoso do Prado

Data de entrega do trabalho definitivo: 12-07-2023

RESUMO

A produção de café representa um forte segmento da agricultura brasileira, sendo o Brasil reconhecido como o maior produtor e exportador do produto no mundo. Tendo em vista a importância do café brasileiro mundialmente, a produção de um grão de qualidade é indispensável para a adesão de valor ao produto. O processo de torrefação é um dos inúmeros fatores que pode interferir na integralidade física e química do grão, ou seja, a escolha dos parâmetros operacionais pode interferir diretamente na qualidade da bebida. Outro fator importante ao se trabalhar com café diz respeito a sua classificação com base na granulometria dos grãos, de acordo com as normas brasileiras. Assim, este projeto teve como objetivo produzir perfis de torra utilizando a interface entre torrador e *software* de torra, de forma que estes perfis pudessem ser replicados e aprofundados por usuários do torrador Stratto®, em especial, a comunidade científica da Faculdade de Engenharia Agrícola. Além disso, objetivou-se também avaliar as características físico-químicas e químicas dos grãos de café submetidos a diferentes perfis de torra e diferentes classificações quanto ao tamanho dos grãos. Para a realização da pesquisa foram utilizados grãos de café da variedade Catuaí Amarelo colhidos na Fazenda Santana, no município de Serra Negra. Os perfis de torra foram traçados com sucesso e a partir das análises de umidade, cor, pH, acidez total titulável, compostos fenólicos e teor de proantocianidinas realizadas no Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Universidade Estadual de Campinas, foi possível identificar que a aplicação de distintos graus de torra resultou em diferenças estatisticamente significantes nos parâmetros. A mesma diferença não pode ser observada quando avaliadas as classificações dos grãos em grãos, médios e miúdos. As avaliações de umidade, cor, acidez total titulável e compostos fenólicos se demonstraram sendo inversamente proporcionais à evolução do perfil de torra, ou seja, quanto maior o grau de torra aplicado (mais escuro), menor o valor observado nestas variáveis. Já as avaliações de pH e teor de proantocianidinas se demonstraram diretamente proporcionais ao grau de torra, tendo seus valores mais expressivos apresentados em torras mais escuras.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, perfil de torra, classificação, *software* de torra.

ABSTRACT

Coffee production represents a strong segment of Brazilian agriculture, with Brazil being recognized as the world's largest producer and exporter of the product. Considering the global importance of Brazilian coffee, the production of high-quality beans is essential to add value to the product. The roasting process is one of the numerous factors that can interfere with the physical and chemical integrity of beans, meaning that the choice of operational parameters can directly affect the quality of the beverage. Another important factor, while working with coffee, relates to its classification based on grain size, according to Brazilian standards. Therefore, this project aimed to produce roast profiles using the interface between the roaster and roasting software so that these profiles could be replicated and further explored by users of the Stratto® roaster, particularly the scientific community of the School of Agricultural Engineering. Additionally, the objective was to evaluate the physico-chemical and chemical characteristics of coffee beans subjected to different roast profiles and different classifications based on grain size. For this research, coffee beans of the Catuaí Amarelo variety harvested at Fazenda Santana in the city of Serra Negra - SP were used. The roast profiles were successfully developed, and by analyses of moisture content, color, pH, total titratable acidity, phenolic compounds, and proanthocyanidin levels conducted at the Laboratory of Post-Harvest Technology of the University of Campinas, it was possible to identify that the application of different roast levels resulted in statistically significant differences in the parameters. The same difference was not observed when evaluating the classifications of the beans into large, medium, and small sizes. Moisture content, color, total titratable acidity, and phenolic compounds were found to be inversely proportional to the progression of the roast profile, meaning that higher roast levels (darker roasts) resulted in lower values for these variables. On the other hand, pH and proanthocyanidin levels were found to be directly proportional to the roast level, with their most significant values observed in darker roasts.

Keywords: *Coffea arabica*, roast profile, classification, roasting software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do fruto e semente do cafeeiro.....	15
Figura 2 - Frutos verdes.....	16
Figura 3 - Frutos cereja.....	16
Figura 4 - Frutos boia.	16
Figura 5 - Fluxograma de processamento e beneficiamento do café.	17
Figura 6 - Critérios para classificação de café no Brasil.	19
Figura 7 - Alterações no sabor com a evolução do perfil de torra.....	22
Figura 8 - Exemplo de perfil de torra.	23
Figura 9 - Torrador Stratto® conectado ao software de torra.	25
Figura 10 - Amostras torradas com diferentes perfis (escura, média e clara).	25
Figura 11 - Curva de calibração (ácido gálico).	35
Figura 12 - Curva de calibração (catequina)	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Resultado processo de torrefação (delineamento 1).	31
Tabela 2 –Resultado processo de torrefação (delineamento 2).	31
Tabela 3 – Umidade (base úmida) após a torra (delineamento 1).	32
Tabela 4 – Umidade (base úmida) após a torra (delineamento 2).	32
Tabela 5 – Resultados de análise de cor (delineamento 1).	33
Tabela 6 – Resultados de análise de cor (delineamento 2).	34
Tabela 7 – Resultados de pH, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) (delineamento 1).	34
Tabela 8- Resultados de pH, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) (delineamento 2).	34
Tabela 9 – Resultados dos compostos fenólicos totais (delineamento 1).	36
Tabela 10 - Resultados dos compostos fenólicos totais (delineamento 2).	36
Tabela 11 – Resultados de teor de proantocianidinas (delineamento 1).	37
Tabela 12 - Resultados de teor de proantocianidinas (delineamento 2).	38

APÊNDICES

Apêndice A - Perfil de torra (Grãos pequenos - Torra clara).	45
Apêndice B - Perfil de torra (Grãos médios - Torra clara).	46
Apêndice C - Perfil de torra (Grãos grandes - Torra clara).	47
Apêndice D - Perfil de torra (Grãos pequenos - Torra média).	48
Apêndice E - Perfil de torra (Grãos médios - Torra média).	49
Apêndice F - Perfil de torra (Grãos grandes - Torra média).	50
Apêndice G - Perfil de torra (Grãos pequenos - Torra escura).	51
Apêndice H - Perfil de torra (Grãos médios - Torra escura).	52
Apêndice I - Perfil de torra (Grãos grandes - Torra escura).	53
Apêndice J - Perfil de torra (Cereja 17 - Torra clara).	54
Apêndice K - Perfil de torra (Cereja 17 - Torra média).	55
Apêndice L - Perfil de torra (Cereja 17 - Torra escura).	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS	12
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1	HISTÓRIA DO CAFÉ E ASPECTOS GERAIS	13
3.2	ASPECTOS BOTÂNICOS E PRINCIPAIS ESPÉCIES	14
3.2.1	O grão de café.....	15
3.3	COLHEITA E PROCESSAMENTO DE CAFÉ	16
3.4	CLASSIFICAÇÃO	18
3.5	TORREFAÇÃO.....	20
3.5.1	A torrefação.....	20
3.5.2	Perfil de torra e a utilização de softwares	21
4	METODOLOGIA.....	24
4.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	24
4.1.1	Matéria-prima.....	24
4.1.2	Classificação	24
4.1.3	Torra	24
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	26
4.3	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	26
4.3.1	Determinação da Umidade.....	26
4.3.2	Cor.....	27
4.3.3	Determinação eletrométrica do pH.....	27
4.3.4	Acidez total titulável (ATT)	27
4.3.5	Sólidos solúveis totais (SST).....	28
4.3.6	Determinação dos fenóis totais	28
4.3.7	Determinação do teor de proantocianidinas	29
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	TORRA.....	31
5.2	UMIDADE	32
5.3	COR	33
5.4	PH, ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL E SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS	34
5.5	FENÓIS TOTAIS	35
5.6	TEOR DE PROANTOCIANIDINAS	37
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
	APÊNDICES	45

1 INTRODUÇÃO

O café é uma bebida amplamente apreciada e valorizada globalmente, com uma significativa importância histórica, econômica e social. Segundo relatório divulgado pela Organização Internacional do Café (OIC, 2023), a produção total estimada para o ano cafeeiro 2021/22 é de 167,2 milhões de sacas, enquanto o consumo projetado para o mesmo ano é de 170,3 milhões de sacas. Dessa forma, estima-se que o consumo exceda a produção em 3,1 milhões de sacas (OIC, 2023).

O Brasil é reconhecido como o maior produtor e exportador do produto, sendo que, no ano de 2022, o volume total exportado pelo país foi de 39,4 milhões de sacas, representando uma receita aproximada de 9,2 bilhões de dólares (CECAFÉ, 2023). Considerando a importância econômica e social do café, é essencial a produção de um grão de qualidade, com o objetivo de garantir que a bebida apresente os atributos de aroma e sabor pretendidos pelos consumidores, principalmente se tratando de cafés especiais.

Inúmeros fatores pré-colheita e pós-colheita podem afetar as características físicas, químicas e sensoriais do café (HAMEED *et al.*, 2018), interferindo na qualidade do produto e, conseqüentemente, em seu valor agregado. Dessa forma, é imprescindível que tais fatores sejam estudados, a fim de compreendê-los melhor e otimizá-los.

Dentre os fatores pré-colheita que afetam as características do café, é possível citar fatores genéticos e ambientais (ALVES *et al.*, 2011). Já entre os fatores pós-colheita, estão os processos de secagem, armazenagem, torrefação e moagem (HAMEED *et al.*, 2018).

Os fatores genéticos, ambientais e de cultivo levam à formação de frutos com tamanhos e propriedades diferentes (SILVEIRA, 2015). Posteriormente, esses frutos passam pelo processo de classificação por peneiras, buscando realizar a separação dos grãos em função de sua forma e tamanho, possibilitando uma torrefação mais uniforme dos grãos e garantindo a qualidade da bebida (MATIELLO *et al.*, 2010), uma vez que os grãos maiores tendem a torrar mais lentamente que os grãos pequenos, fazendo que estes queimem e alterem o sabor da bebida (OLIVEIRA; OLIVEIRA; FREITAS, 2019). Estudos de Oliveira, Oliveira e Freitas (2019) constataram que o tempo de torra e a perda de umidade devido ao processo de torra variaram de acordo com a granulometria dos grãos.

A torrefação pode ser considerada um dos processos mais importantes dentro da cadeia pós-colheita do café. Nesta etapa os grãos verdes são submetidos a um tratamento térmico (CARNEIRO, 2021), o qual leva a alterações físicas e químicas, criando novos

sabores, aromas e texturas e fazendo com que o produto se torne apto para extração e consumo (SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

Dentre os fatores que impactam a torrefação, encontram-se a temperatura, tempo de torra e fluxo de ar (SENAR, 2017). Estes parâmetros estão diretamente relacionados às características sensoriais que podem ser evidenciadas durante a torra. À relação entre temperatura e tempo é dado o nome de perfil de torra (DEBONA *et al.*, 2020), que nada mais é, do que um gráfico que expressa a relação entre os dois parâmetros ao longo do processo de torrefação (MUINHOS, 2018).

O perfil de torra do café tem um impacto significativo na composição química do grão e na formação de compostos voláteis e não voláteis. Durante o processo de torrefação, é possível ocorrer a perda de compostos fenólicos naturais, ao mesmo tempo em que novos compostos antioxidantes podem ser formados, como resultado da reação de Maillard. (VIGNOLI *et al.*, 2014), tais como as melanoidinas (WANG; QIAN; YAO, 2011) e as proantocianidinas.

O café verde contém diversos compostos fenólicos em sua formação (LIANG; KITTS, 2016), dos quais se destacam os ácidos clorogênicos (MORAIS *et al.*, 2009). Esses compostos fazem parte de uma das principais classes de antioxidantes naturais, sendo capazes de retardar o envelhecimento e aparecimento de doenças (MORAIS *et al.*, 2009). Dessa forma, é interessante que esses compostos sejam conservados ao longo do processo de torrefação.

As proantocianidinas são compostos polifenólicos que são encontrados em diversos alimentos, incluindo o café. Essas substâncias apresentam diversas atividades farmacológicas e biológicas, incluindo propriedades antioxidantes, bactericidas, fungicidas, antivirais, antitumorais e outras (ALVES *et al.*, 2007). As proantocianidinas são responsáveis pela adstringência observada na bebida de cafés (NASCIMENTO, 2006; MORAIS, 2009). Segundo estudos realizados por Oliveira (2006) e Nascimento (2006), o teor de proantocianidinas tende a aumentar de acordo com o grau de torrefação empregado.

O Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita (LTPC) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP adquiriu um equipamento de torra capaz de realizar um controle muito eficaz dos parâmetros operacionais ao longo da torrefação. O torrador elétrico Stratto®, da fabricante Carmomaq®, permite a interface com o *software* de torra, possibilitando a visualização do perfil de torra em construção e rápido ajuste das variáveis de controle.

Dentre os *softwares* de torra disponíveis no mercado encontra-se o Artisan *roaster scope*. O Artisan é um *software* de código aberto que auxilia os torrefadores de café no

registro, análise e controle dos perfis de torra (ARTISAN, 2023). Por meio desse *software*, é possível automatizar a criação de métricas de torra para facilitar a tomada de decisões que impactam diretamente no sabor final da bebida. Além disso, uma vez estabelecido o perfil de torra desejado, o *software* permite a replicabilidade desse perfil.

Visto que o equipamento de torra presente na Faculdade de Engenharia Agrícola conta com termopares inseridos em sua estrutura, ao conectar torrador e *software*, é possível observar os parâmetros de temperatura de exaustão do ar, temperatura da massa de grãos e *Rate of Rise (RoR)* ao longo do processo de torra. Com isso, se torna viável alterar os parâmetros operacionais (potência do torrador, rotação do tambor e fluxo de ar), de modo a otimizar o processo de torra e, consequentemente, a qualidade do produto.

2 OBJETIVOS

O presente projeto de pesquisa teve por objetivo avaliar diferentes perfis de torra, a fim de definir as configurações mais adequadas a serem adotadas no processo de torrefação, fazendo com que o procedimento seja passível de ser padronizado e replicado. Com isso, buscou-se produzir perfis de torra que possam ser utilizados por usuários do torrador Stratto®, em especial, a comunidade científica da Faculdade de Engenharia Agrícola que fará uso do equipamento.

Alinhado ao objetivo descrito acima, dados os diferentes perfis de torra estabelecidos, o projeto também teve como objetivo avaliar as características físico-químicas dos grãos de café submetidos a diferentes perfis de torra e diferentes classificações quanto ao tamanho dos grãos. Dessa forma, foram realizadas as análises de umidade, cor, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, compostos fenólicos totais e teor de proantocianidinas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 HISTÓRIA DO CAFÉ E ASPECTOS GERAIS

O café é um fruto originário da Abissínia, norte da África, mais precisamente na região de Kaffa, da qual é atribuído o seu nome (ALVES, 2004). O grão era consumido inicialmente na forma de fruto, *in natura*, macerada ou misturada em banha, ou em suco, a partir da fermentação dos grãos (MARTINS, 2017). Especula-se que a torrefação dos grãos para compor a bebida que se conhece atualmente se deu na Pérsia, no século XVI (NASCIMENTO, 2006).

Nesse período, o café se disseminou também entre os árabes e turcos, que o consideravam um estimulante contra a fadiga e o cansaço e, aos poucos, foi conquistando também o Egito e a Constantinopla até chegar na Europa (SOBRINHO, 1978).

O fruto foi introduzido no Brasil por Francisco de Melo Palheta, que trouxe as sementes através de expedições vindas da Guiana Francesa, sendo introduzidas no estado do Pará, em meados do ano de 1727 (MAGALHÃES, 1939). Embora tenha se desenvolvido bem na região do Pará, o plantio do café na região Norte não obteve muito sucesso devido ao foco se voltar à extração da borracha, no começo do século XIX (TAUNAY, 1939).

Nesse período, o interesse pelo café nos Estados Unidos e na Europa aumentava, além dos apelos do mercado interno, o que estimulou ainda mais a monocultura do fruto, já que o Brasil oferecia condições favoráveis de clima e solo, além de mão de obra em grande quantidade e a baixo custo (por meio da escravidão e dos imigrantes) (MARTINS, 1999).

Em 1781, a cultura começou a se estender para o estado do Rio de Janeiro e ir caminhando para o Vale do Paraíba, e, no final do século XIX, o café se consolidou no estado de São Paulo como um importante produtor e controlador do mercado de café mundial (CARNEIRO, 2021).

Até à década de 1970, São Paulo e Paraná eram os maiores produtores de café do Brasil, porém com o surgimento do Plano de Renovação e Revigoramento de Cafezais (PRRC), da incidência de geadas e do início das práticas de agricultura no cerrado, Minas Gerais e Espírito Santo superaram a produção, com destaque para o sul de Minas Gerais (IBGE, 2016).

De acordo com o Ministério da Agricultura, o Brasil é hoje o maior produtor de café do mundo e o segundo maior consumidor da bebida, perdendo apenas para os Estados Unidos. Minas Gerais é o estado que mais produz café no Brasil (CONAB, 2022). Segundo dados do IBGE, foram colhidas 2.993.780 toneladas de café no ano de 2021, gerando um valor de

produção aproximado de 34,9 bilhões de reais. A previsão é que no ano de 2023, o Brasil produza 54,7 milhões de sacas de 60 kg de café, o que corresponderá a 32 % da safra mundial.

3.2 ASPECTOS BOTÂNICOS E PRINCIPAIS ESPÉCIES

O café é pertencente à família Rubiaceae e do gênero *Coffea*. De modo geral, a planta do cafeeiro consiste em um arbusto perene, com copa cilíndrica cujo ramo vertical dá origem a ramificações laterais que formam a copa, e folhas de coloração verde escura, na fase adulta, em formato elíptico e bordas onduladas (ALVES, 2007).

O gênero *Coffea* pode ser dividido em quatro seções, das quais a que possui maior importância econômica é a *Eucoffea*, que contém as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, que são as espécies mais cultivadas e destinadas para o consumo (NASCIMENTO, 2006). Nesse contexto, a produção de café arábica corresponde a 76% de todo o café produzido nacionalmente, enquanto a espécie conilon, também conhecido como café robusta, representa 24% da produção (FONSECA *et al.*, 2007; SENAR, 2017).

O café arábica é uma espécie tetraploide, ou seja, possui 44 cromossomos somáticos (FILHO *et al.*, 2007). Por conta disso, ele é capaz de realizar a sua reprodução por autofecundação, de forma que a taxa de reprodução por fecundação cruzada é pequena (PADILHA; CARVALHO; EIRA, 2007). De modo geral, apresenta frutos oblongos, ou seja, possuem formato ligeiramente alongados.

Desde o ano de 1933, estudos que visam o melhoramento genético da espécie vêm sendo discutidos (KRUG; MENDES; CARVALHO, 1939). Devido a sua capacidade de autofecundação e propagação por sementes, especula-se o desenvolvimento de cultivares com alto grau de homozigotos, para que as sementes possam dar origem a lavouras uniformes naturalmente (FILHO; BORDIGNON, 2007). Dessa forma, ao longo dos anos, aumentou-se a busca por desenvolver novos cultivares por meio da exploração do máximo potencial genético com o fim de promover uma maior tolerância a condições edafoclimáticas mais críticas, aumentar a rentabilidade e produtividade (FILHO; BORDIGNON, 2007).

Nesse cenário, surge o cultivar Catuaí Amarelo (*Coffea arabica* cv. Catuaí Amarelo). Os grãos são obtidos por meio do cruzamento entre as variedades Caturra Amarelo (IAC 476-11) e o Mundo Novo (IAC 374-19) (BSCA, 2023). É uma espécie com plantas de porte baixo, com altura média de 2,00 a 2,30 m e uma copa com diâmetro entre 1,8 e 2,0 m. Seus frutos possuem casca com coloração amarelada. É uma espécie suscetível à ferrugem e nematoides

(FAZUOLI *et al.*, 2007). A variedade apresenta alto vigor, boa qualidade da bebida e alta produtividade (BSCA, 2023).

O café Robusta se reproduz através de reprodução cruzada, e embora possa ser cultivada por meio de sementes, elas se propagam preferencialmente por meio de estacas obtidas de jardins clonais (PADILHA; CARVALHO; EIRA, 2007). São moderadamente resistentes à ferrugem e doenças. Assim como a maioria das espécies do gênero, o café robusta é diploide, ou seja, ele possui 22 cromossomos somáticos (FILHO *et al.*, 2007). Se trata de uma espécie alógama, de porte arbustivo, caule lenhoso e cultura perene (FERRÃO *et al.*, 2007).

Em ambientes com temperaturas elevadas e alta umidade, as plantas da espécie *C. canephora* podem chegar a até 5 m de altura, mas elas são altamente polimórficas, o que faz com que a espécie possua a capacidade de se adaptar a variadas condições climáticas (FILHO *et al.*, 2007). O cafeeiro da espécie robusta possui folhas maiores e de coloração mais clara do que a espécie arábica (FONSECA; FERRÃO; FERRÃO, 2002). Os seus frutos possuem formato que depende do material genético, possuem superfície lisa, exocarpo fino, mesocarpo aquoso, um endocarpo fino (FAZUOLI, 1986).

3.2.1 O grão de café

O fruto do café é uma drupa que possui dois lóculos e duas sementes chatas plano-convexas, as quais estão envolvidas pelo pergaminho, que é o endocarpo coriáceo que as envolve, e cada semente é formada por um embrião, endosperma e uma película prateada, conforme ilustrado na Figura 1 (PADILHA; CARVALHO; EIRA, 2007).



Fonte: Padilha, Carvalho e Eira (2007).

Ainda no pé, o fruto do café apresenta diferentes estágios de maturação, que apresentam essa distinção por conta da posição da lavoura, do clima, ocorrência de floração

entre outros fatores, o que faz com que os frutos possam estar verdes, maduros (também conhecidos como cereja) ou secos (também chamados de boia) (SENAR, 2017). Essas classificações de maturação do grão podem ser visualizadas nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 2 - Frutos verdes.



Fonte: Senar (2017).

Figura 3 - Frutos cereja.



Fonte: Senar (2017).

Figura 4 - Frutos boia.



Fonte: Senar (2017).

Segundo Ferrão *et al.* (2018), o momento ideal de colheita é aquele em que a porcentagem de café cereja (coloração amarela intensa no caso do cultivar Catuaí Amarelo) no pé seja a mais alta possível, pois a colheita com o café verde aumenta a incidência de grãos ardidos e pretos e a colheita tardia, com os grãos em boia, aumenta a exposição a ação de microrganismos que realizam fermentação, produzindo álcoois e ácidos.

3.3 COLHEITA E PROCESSAMENTO DE CAFÉ

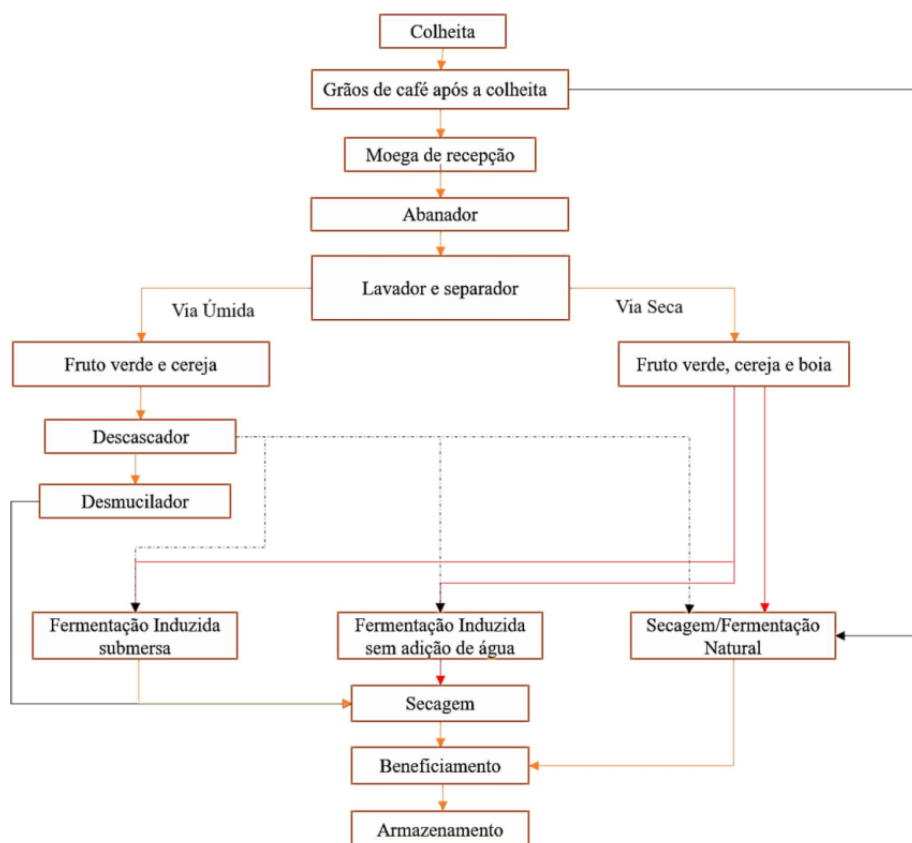
Inúmeros fatores pré-colheita e pós-colheita podem afetar as características físicas, químicas e sensoriais do café (HAMEED *et al.*, 2018). Dessa forma, antes de se transformar em uma bebida final, o café percorre uma série de etapas cruciais para garantir a sua qualidade (SILVA, 2021), como secagem, armazenagem, torrefação e moagem (HAMEED *et al.*, 2018). Na Figura 5 são apresentadas as etapas de processamento e beneficiamento pós-colheita do café.

O processo se inicia com a colheita dos frutos de café. No Brasil, a grande maioria dos produtores optam pela colheita plena do café uma vez que o processo de colheita seletiva é mais oneroso. Isso significa que é realizada a derriça total dos frutos da lavoura, com grãos em diferentes estágios de maturação (SENAR, 2017). No geral, observa-se quatro diferentes formas de colheita: manual, semimecanizada com derriçadoras portáteis, mecanizada e conjugada à poda (SENAR, 2017).

Depois de concluída a colheita, o processamento pode seguir por dois diferentes caminhos: os grãos podem ser levados diretamente para o processo de secagem ou encaminhados para a moega, onde serão recebidos (SILVA, 2021). No entanto, devido aos

métodos de colheita empregados no Brasil, é necessário, na grande maioria das vezes, realizar as etapas de pré-processamento antes da secagem (CARNEIRO, 2021). Depois de recebidos, os grãos de café passam pela abanação (mecânica ou manual), a qual tem a finalidade de remover impurezas leves, tais como folhas, galhos, gravetos e outras impurezas indesejadas (SILVA, 2021).

Figura 5 - Fluxograma de processamento e beneficiamento do café.



Fonte: Silva (2021).

No lavador, são removidas as impurezas mais pesadas, como pedras e terra e também ocorre a separação densimétrica do café, onde os frutos mais leves (boia) são separados dos mais pesados (cereja e verdes) (NASCIMENTO, 2006). Na sequência, o processamento pode seguir por duas vias: seca ou úmida.

O processamento via seca é um método no qual ocorre a secagem dos frutos de café sem a remoção da casca (exocarpo), produzindo os frutos denominados cocos, sendo um processo mais simples e rústico (SILVA, 2021). Já no processamento via úmida, antes de serem submetidos a secagem, os frutos passam por processos para remoção de sua casca e, em alguns casos da mucilagem. Segundo Borém (2008), a partir deste processo pode ser produzidos três diferentes tipos de café, sendo eles:

- cafés cereja descascados: é realizada a remoção mecânica total da casca e, parcial da mucilagem;
- cafés cereja despulpados: é realizada a remoção mecânica total da casca e, por meio de fermentação, da mucilagem remanescente;
- cafés cereja desmucilados: é realizada remoção mecânica total tanto da casca quanto da mucilagem.

A etapa de secagem do café pode ser realizada em terreiros (chão batido, cimento, tijolo, asfalto) ou em secadores mecânicos (ALVES, 2004). A secagem em terreiros é um método bastante tradicional, no entanto, bastante trabalhoso, lento e dependente das condições climáticas (OLIVEIRA, 2006). Mesmo se realizada em secadores mecânicos, é comum que a secagem inicie em terreiros (aproximadamente por cinco dias), fazendo com que umidade dos grãos caia para 40 - 30%, umidade ideal para entrada nos secadores mecânicos (ALVES, 2004), uma vez que ocasiona a diminuição nos custos com energia (OLIVEIRA, 2006). Se realizada com o uso de secadores mecânicos, é necessário o controle preciso do fluxo de ar e da temperatura, o que reflete em um menor tempo de secagem (SILVA, 2021). A secagem deve ocorrer até que os grãos atinjam umidade em torno de 11-12% (SILVA, 2021).

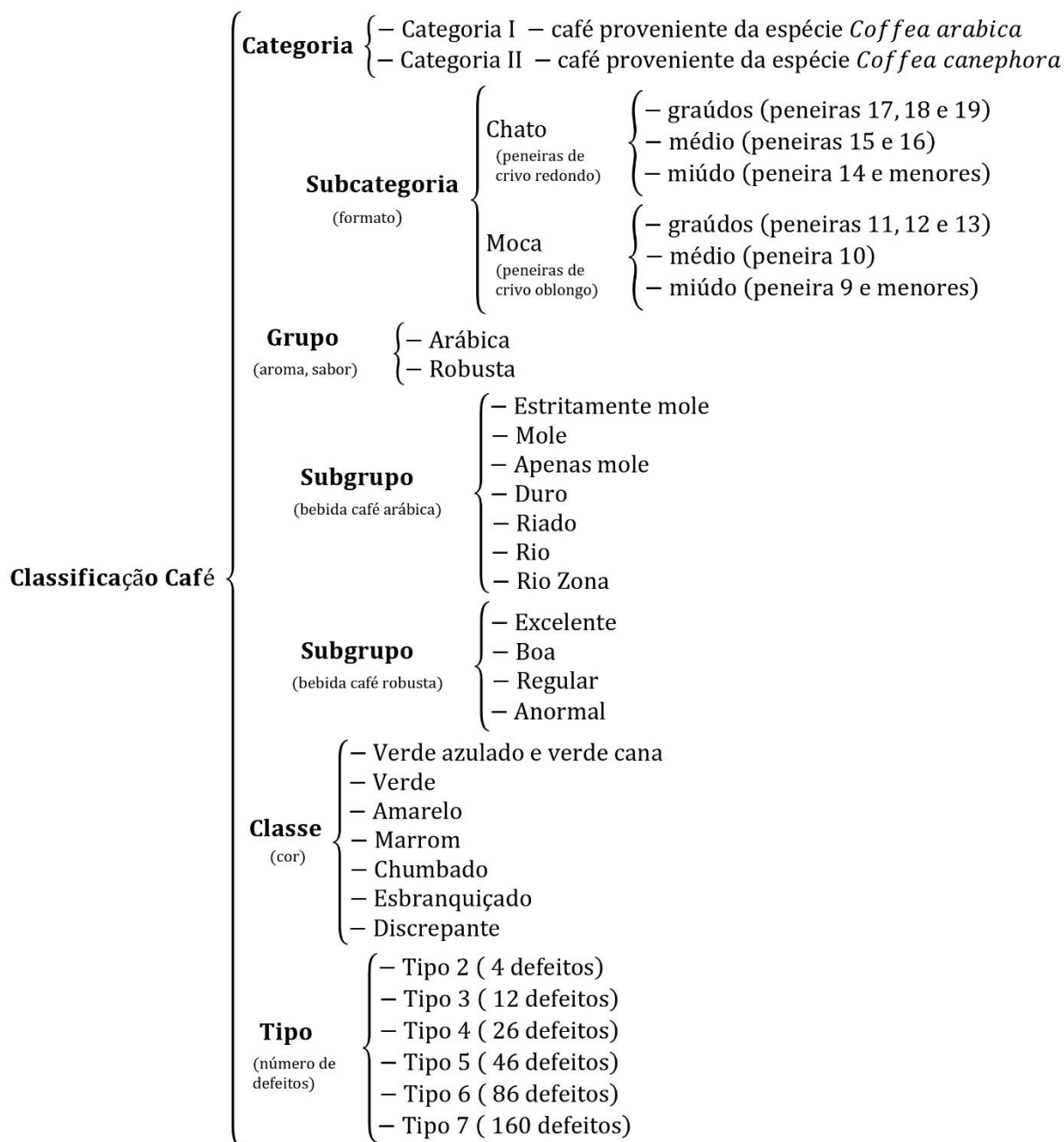
Depois de seco, o café passa pela etapa de beneficiamento, processo que visa transformar o café seco ou em pergaminho (café despulpado ou descascado) em café beneficiado ou café verde, por meio da remoção das cascas e separação dos grãos (ALVES, 2004). O armazenamento é a fase final do processamento do café e tem como principal objetivo preservar a qualidade do produto até sua comercialização (SILVA, 2021), evitando a perda ou ganho excessivo de água, alterações na massa seca, proliferação de fungos e mudanças na coloração dos grãos causadas pela exposição direta à luz (CARNEIRO, 2021).

3.4 CLASSIFICAÇÃO

Dado os diferentes fatores que podem afetar as propriedades do produto, a mensuração da qualidade do café pode ser realizada nas diversas etapas de obtenção da matéria-prima. No entanto, principalmente por motivos comerciais, o mais usual é que esta avaliação seja realizada no café beneficiado (SILVA; MORELI; JOAQUIN, 2015).

No Brasil, a classificação de café beneficiado segue a Instrução Normativa nº 08 de 11 de junho de 2003, estabelecida pelo Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA que traz o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para Classificação de Café Beneficiado Cru. A Figura 6 ilustra a classificação segundo a Instrução Normativa.

Figura 6 - Critérios para classificação de café no Brasil.



Fonte: MAPA (2003), adaptado por Silva, Moreli e Joaquin (2015).

As categorias são definidas em I e II com base no critério espécie, correspondendo às espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, respectivamente. Na sequência, as subcategorias são definidas com base nos formatos grãos, sendo separados em chatos (superfície dorsal convexa e ventral plana) e moca (formato ovoide) (BRASIL, 2003).

Os grãos chatos ainda podem ser divididos, com base em sua granulometria, em: graúdos (peneiras 17, 18 e 19), médios (peneiras 16 e 15) e miúdos (peneiras igual ou menor que 14).

Foi com base nesta classificação por granulometrias que este projeto de pesquisa se baseou, fazendo uso de frutos de café da Categoria I (*Coffea arabica*) e subcategoria chatos (superfície dorsal convexa e ventral plana), buscando avaliar a inferência das diferentes granulometrias sobre o processo de torra e parâmetros físico-químicos encontrados no café.

3.5 TORREFAÇÃO

3.5.1 A torrefação

A torra de café é um processo essencial na produção de café, podendo ser considerado um dos processos mais importantes dentro da cadeia pós-colheita do café. Nesta etapa, os grãos verdes são submetidos a um tratamento térmico (CARNEIRO, 2021), o qual leva a alterações físicas e químicas, criando novos sabores, aromas e texturas e fazendo com que o produto se torne apto para extração e consumo (SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

O calor transmitido ao grão pode ser advindo de diferentes matrizes térmicas, sendo elas: condução (contato direto grão-tambor), radiação (emitida pelo metal aquecido) e convecção (fluxo de ar aquecido), sendo a última fonte a mais importante para o processo de torra (SENAR, 2017).

O processo de torrefação pode ser dividido em três fases, sendo elas: aquecimento e desidratação, torrefação e resfriamento (SENAR, 2017). A fase de aquecimento e desidratação, também denominada de “seca”, corresponde a fase na qual os grãos de café absorvem o calor do meio (DEBONA, 2021), fazendo com que a água que se encontra livre nos grãos evapore e eles comecem a desidratar (SENAR, 2017). Esta fase ocorre em temperaturas inferiores a 150-160 °C (PRAMUDITA *et al.*, 2017), sendo que, ao final dessa etapa, os grãos apresentam uma coloração amarela e exalam um aroma de feno de cereais (SENAR, 2017).

A fase torrefação se inicia em temperaturas acima dos 150-160°C (PRAMUDITA *et al.*, 2017), quando o café passa a sofrer reações termoquímicas que alteram sua coloração, tamanho e composição (SENAR, 2017). Nesta etapa, os grãos sofrem tanto processos endotérmicos (ganho de calor) quanto processos exotérmicos (perda de calor) (SENAR, 2017). Dentre as inúmeras reações químicas que ocorrem na fase de torrefação, duas delas merecem destaque: a Reação de Maillard e a pirólise.

A Reação de Maillard é de extrema importância na qualidade final do café, visto que nesta reação ocorre a degradação de carboidratos e aminoácidos, levando à formação de compostos de coloração escura, denominados de melanoidinas, e compostos voláteis, que

promovem o aroma característico do café (MUINHOS, 2017; SENAR, 2017). O fim da Reação de Maillard pode ser determinado através do primeiro *crack*, momento no qual ocorre liberação violenta de vapor d'água e gás carbônico acumulados no grão (MELO, 2004), provocando o estufamento e leve fissuras (SENAR, 2017). No momento do primeiro *crack*, a temperatura interna do grão é de aproximadamente 180 °C (MELO, 2004).

A pirólise corresponde à etapa após o primeiro *crack*. Nesta etapa, ocorre a decomposição dos compostos químicos por meio da ação de altas temperaturas (MUINHOS, 2017), resultando na liberação de diversos compostos aromáticos, como aldeídos, cetonas e ácido acético (CARNEIRO, 2021).

O resfriamento é o momento definido pelo mestre de torra para interromper o processo de torrefação (DEBONA, 2021). Esta etapa é de suma importância para a qualidade do café (SENAR, 2017), uma vez que, definido o fim da torrefação, é necessário cessar as reações químicas que levarão à decomposição dos compostos presentes no café. Nesta etapa, os grãos são retirados do torrador e submetidos, imediatamente, a um sistema de ventilação que visa interromper a torra (SENAR, 2017). Na grande maioria dos casos, o momento de retirada do café do torrador é definido de forma subjetiva pelo mestre de torra, o qual se utiliza de parâmetros sensoriais (visão e olfato) para determinar o fim da torra (DEBONA, 2021; MUINHOS, 2017). Além de estar totalmente sujeita à habilidade do mestre torrador, esta abordagem limita a padronização e repetibilidade do processo de torra.

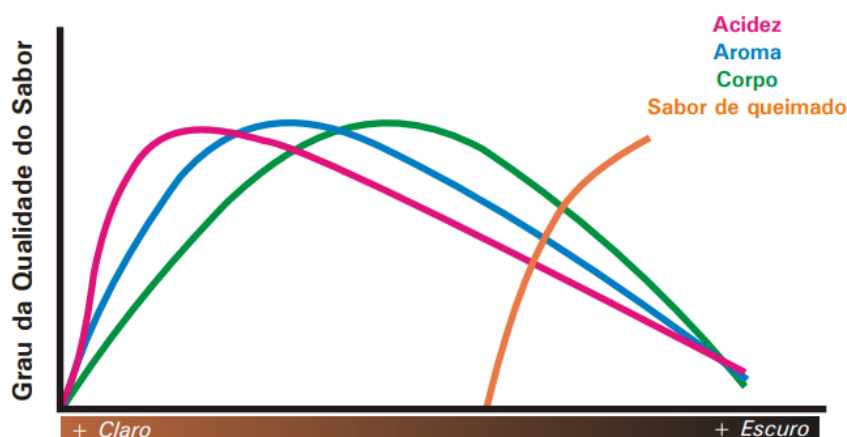
Considerando que as fases do processo de torrefação estão intimamente ligadas à temperatura da massa de grãos, é possível afirmar que alterações na forma e intensidade de aplicação de calor aos grãos, implicam em diferentes durações para cada uma das fases e consequentemente, a formação de compostos específicos.

3.5.2 Perfil de torra e a utilização de softwares

Perfil de torra é o nome utilizado para representar a relação entre temperatura e tempo (DEBONA *et al.*, 2020), que nada mais é do que um gráfico que expressa a relação entre os dois parâmetros ao longo do processo de torrefação (MUINHOS, 2018). Ajustes no fluxo de ar e potência do torrador proporcionam modificações no perfil de torra, aumentando ou diminuindo a progressão de temperatura da massa de grãos (MUINHOS, 2018). Esta progressão de temperaturas ao longo do perfil segue determinada pela taxa, também chamada de *RoR* de sua sigla em inglês *Rate of Rise* (MUINHOS, 2018). Sendo expressa em °C/min, a *RoR* mensura qual o ganho de temperatura que os grãos estão tendo no tempo.

O perfil de torra do café tem um impacto significativo na composição química do grão e na formação de compostos voláteis e não voláteis. A evolução do perfil de torra leva à formação e alteração de sabores característicos, como acidez, corpo e aroma (MELO, 2004), podendo essas alterações serem observadas na Figura 7.

Figura 7 - Alterações no sabor com a evolução do perfil de torra.

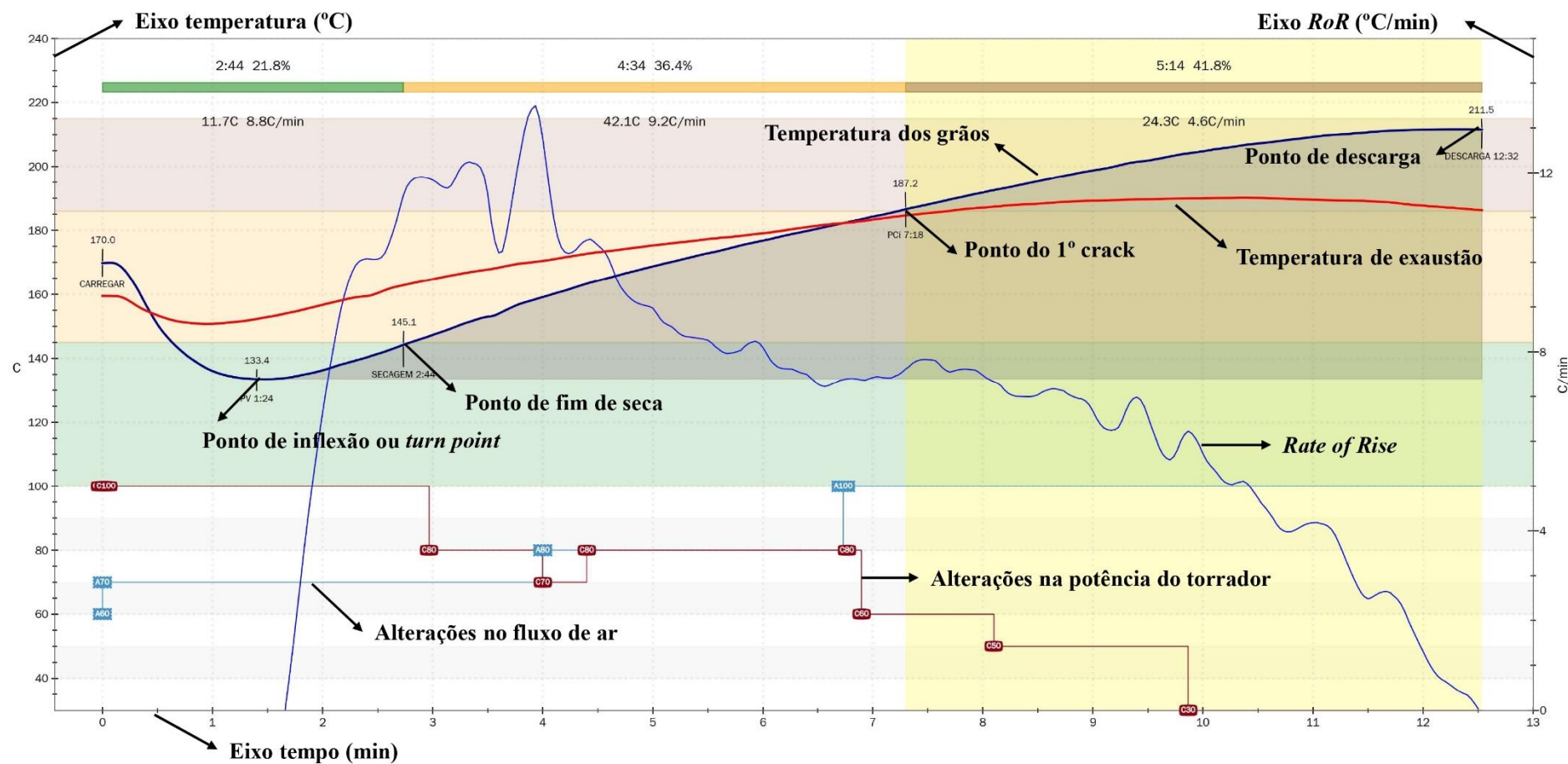


Fonte: Melo, 2004.

Um *software* de torra é um programa que ajuda torrefadores de café a registrar, analisar e controlar perfis de torra (ARTISAN, 2023). Ele é usado em conjunto com um registrador de dados de termopar ou um termômetro digital para monitorar a temperatura do café durante o processo de torra. O *software* permite que os torrefadores controlem a temperatura, o tempo e outros parâmetros para obter um perfil de torra consistente. Alguns *softwares* de torra também permitem que os torrefadores compartilhem seus perfis de torra com outros torrefadores.

Ao se criar um perfil de torra através de um *software*, pode-se ir muito além de uma simples análise de temperatura no tempo. O *software* de torra nos permite a visualização e controle de outras variáveis de interesse. A Figura 8 exemplifica um perfil de torra criado através do *software* Artisan, onde são destacados alguns pontos de interesse.

Figura 8 - Exemplo de perfil de torra.



Fonte: autor.

4 METODOLOGIA

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1.1 Matéria-prima

O experimento foi realizado com duas diferentes qualidades de café, as quais deram origem aos dois delineamentos empregados nesta pesquisa. Ambas as qualidades (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Amarelo) foram colhidos na Fazenda Santana, a qual apresenta altitude média de 1100 metros, se situando no município de Serra Negra – SP (Latitude: 22°38'29,3" Sul; Longitude: 46°37'20,6" Oeste).

As qualidades de café utilizadas na pesquisa foram:

- Frutos de café boia, bica corrida;
- Frutos de café cereja, peneira 17.

4.1.2 Classificação

Os frutos de café boia foram classificados de acordo com o tamanho dos grãos e a dimensão dos crivos circulares das peneiras que os retiveram, seguindo as orientações da Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Dessa forma, os grãos foram classificados em:

- Grãos grandes: peneira 19/18 e 17;
- Grãos médios: peneiras 16 e 15;
- Grãos pequenos: peneira 14 e menores.

4.1.3 Torra

As torras foram realizadas utilizando o torrador elétrico de bancada modelo Stratto®, da fabricante Carmomaq® (Figura 9). Uma vez que o torrador permite a interface com o *software* de torra, o *software* Artisan foi utilizado para construção e visualização dos perfis de torra.

Através de ensaios preliminares, as curvas de torra foram construídas, adequando as variáveis de rotação do cilindro, fluxo de ar e capacidade utilizada da resistência conforme o necessário. Estabelecidos os três perfis de torra a serem utilizados (clara, média e escura), foram realizadas todas as torras descritas no delineamento desta pesquisa. Com uso do Artisan, as interações durante a torra foram mínimas, visto que o *software* é capaz de replicar as ações estabelecidas no perfil base.

Figura 9 - Torrador Stratto® conectado ao software de torra.



Fonte: arquivo pessoal.

O critério de finalização do processo de torrefação e retirada do material do torrador foi estabelecido com base no ganho de temperatura após a identificação do primeiro *crack*. Desta forma, o critério estabelecido para as torras foi:

- Torra clara: ganho de 5°C após primeiro *crack*;
- Torra média: ganho de 15°C após primeiro *crack*;
- Torra escura: ganho de 25°C após primeiro *crack*.

As três variações do padrão de torra (Figura 10) foram validados através da avaliação visual do padrão AGTRON.

As amostras torradas foram moídas utilizando um moedor de café elétrico compacto (modelo Perfect Coffee, Philco). Como padrão, foi estabelecido moagens de amostras de 40 gramas e tempo de acionamento do moedor de 15 segundos. Na sequência, as amostras moídas foram acondicionadas em embalagens aluminizadas e mantidas em ambiente refrigerado até o momento das análises.

Figura 10 - Amostras torradas com diferentes perfis (escura, média e clara).



Fonte: arquivo pessoal.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Esta pesquisa contou com dois delineamentos experimentais distintos.

No delineamento experimental 1, foram utilizados frutos de café boia, sendo realizada a combinação entre três diferentes perfis de torra e três diferentes tamanhos de grão, resultando em nove tratamentos distintos, sendo eles:

1. Torra clara e grãos pequenos;
2. Torra clara e grãos médios;
3. Torra clara e grãos grandes;
4. Torra média e grãos pequenos;
5. Torra média e grãos médios;
6. Torra média e grãos grandes;
7. Torra escura e grãos pequenos;
8. Torra escura e grãos médios;
9. Torra escura e grãos grandes.

Já no delineamento experimental 2, foram utilizados frutos de café cereja peneira 17, no qual objetivou-se avaliar unicamente o impacto do grau de torra sobre a qualidade da bebida, resultando em três tratamentos, sendo eles:

1. Torra clara;
2. Torra média;
3. Torra escura.

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita (LTPC) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), seguindo metodologias descritas neste capítulo. Todas as análises foram realizadas utilizando as amostras de café após passarem pelo processo de torrefação. Visando garantir uma maior confiabilidade nos resultados obtidos e minimizar os efeitos de variabilidades experimentais, todas as análises físico-químicas foram realizadas em triplicata.

4.3.1 Determinação da Umidade

A umidade do café foi determinada através da secagem direta em estufa a 105 °C (IAL, 2008). Dessa forma, cerca de 3g de amostra de café foram pesados em um recipiente de metal previamente tarado. O material foi levado à estufa, aquecida com antecedência a 105°C.

Após 24 horas, a estufa foi resfriada até temperatura ambiente e material pesado novamente. Dessa forma, a umidade, em base úmida, foi calculada pela Equação 1.

$$Umidade [\%] = \frac{100 \cdot N}{P} \quad (1)$$

onde:

- N = diferença entre a massa inicial e final da amostra;
- P = massa inicial da amostra.

4.3.2 Cor

A análise de cor foi realizada utilizando um colorímetro portátil (CR 400, Konica Minolta), a partir do qual foram obtidos os valores de cromaticidade no eixo da cor verde para vermelha (a^*), cromaticidade no eixo da cor azul para amarela (b^*) e luminosidade (L^*). Em seguida, os valores de croma (C^*) e ângulo hue (h) foram calculados utilizando-se, respectivamente, as Equações 2 e 3.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3)$$

4.3.3 Determinação eletrométrica do pH

O potencial hidrogeniônico das amostras foi determinado através do processo eletrométrico, fazendo-se uso de um potenciômetro, permitindo a determinação precisa e direta do pH (IAL, 1985). Adaptações realizadas no procedimento seguiram os modelos descritos por Alves (2004) e Oliveira (2006), com adaptações.

Para a realização da análise, em um tubo de ensaio de 50,0 ml, 4,00 g de café moído foram diluídos em 40,0 ml de água a 25°C, recentemente fervida. Utilizando uma centrífuga refrigerada (SL-701, Solab Científica), o conteúdo foi submetido à agitação a 3500 rpm durante 30 minutos. Na sequência, o líquido sobrenadante foi transferido para um frasco seco e o pH imediatamente determinado utilizando-se um pHmetro digital (pH 2500 Series, Cole Parmer®).

4.3.4 Acidez total titulável (ATT)

Utilizou-se o mesmo extrato empregado na determinação do pH para aferir a acidez total titulável (ATT) das amostras. A coloração do café impossibilita a visualização do ponto

de viragem, quando utilizada solução indicadora. Dessa forma, a análise foi realizada com auxílio de pHmetro, realizando-se a titulação com NaOH 0,1 M até pH 8,1, sob temperatura ambiente.

Os resultados foram expressos em acidez em solução molar por cento (v/m) (IAL, 2008), fazendo uso da Equação 4.

$$ATT_{v/m} = \left(\frac{V * N * f * 100}{P} \right) \quad (4)$$

em que:

- V = volume de solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (ml);
- N = normalidade da solução de hidróxido de sódio (0,1 M);
- f = fator da solução de hidróxido de sódio (0,99);
- P = massa de amostra utilizada na titulação (g).

4.3.5 Sólidos solúveis totais (SST)

Os teores de sólidos solúveis totais da amostra (°Brix) foram determinados de acordo com metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Para a realização da análise, em um tubo de ensaio de 15,0 ml, foram adicionados 1,00 g de amostra e 10,0 ml de água destilada à temperatura ambiente. As amostras foram centrifugadas a 3500 rpm por 30 minutos. Em seguida, realizou a leitura do °Brix do sobrenadante, utilizando-se um refratômetro digital de bancada (Abbe Mark III, Reichert). A aferição foi dada imediatamente em °Brix (escala numérica), corrigida para temperatura de 20°C.

4.3.6 Determinação dos fenóis totais

O conteúdo de fenólicos totais foi determinado por espectrofotometria UV-Vis pelo método Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI; 1965).

Preparação dos extratos: Em um béquer foram pesados 10,00 g de café moído e adicionados 50,0 ml de água fervente. A mistura ficou sob agitação a esta temperatura durante 1 minuto. Na sequência, a infusão foi filtrada em filtro quantitativo (filtragem média), obtendo-se o extrato de café.

Quantificação dos extratos 1,0 ml do extrato foi transferido para um recipiente de metal previamente tarado. O recipiente foi deixado em estufa a 105 °C por 6 horas, sendo resfriado a temperatura ambiente. Também realizou a leitura dos teores de sólidos solúveis totais do extrato (°Brix) em refratômetro de bancada.

Determinação dos fenóis totais: Em uma proveta foram adicionados 0,10 ml do extrato bruto e diluiu-se com água destilada até o volume de 25,0 ml. Desta solução retirou-se uma alíquota de 0,50 ml que foi transferida para um tubo de ensaio. A este tubo de ensaio adicionou-se 2,50 ml de uma solução aquosa do reativo de Folin-Ciocalteu a 10% (v/v) e 2,00 ml de uma solução de carbonato de sódio a 7,5% (m/v). A mistura foi mantida em um banho-maria a temperatura de 50 °C por 5 minutos. A mistura foi resfriada a temperatura ambiente (25°C) e realizou-se, em um espectrofotômetro, a medida de sua absorvância a 760 nm. Juntamente com as amostras, preparou-se uma curva analítica de calibração com soluções aquosas de ácido gálico em diversas concentrações na faixa de 0 – 50 µg/ml. Tanto as amostras quanto a curva de calibração passaram pelo mesmo tratamento. As leituras foram realizadas contra um branco (2,50 ml de Folin-Ciocalteu a 10%, 2,0 ml de uma solução de carbonato de sódio a 7,5% e 0,50 ml de água destilada).

4.3.7 Determinação do teor de proantocianidinas

O teor de proantocianidinas foi determinada pelo método da vanilina, baseando-se na metodologia descrita por Alves (2004) e Nascimento (2006).

Preparação dos extratos: Em um béquero foram pesados 10,0 g de café moído e adicionados 50,0 ml de água fervente. A mistura ficou sob agitação a esta temperatura durante 1 minuto. Na sequência, a infusão foi filtrada em filtro quantitativo (filtragem média), obtendo-se o extrato de café.

Quantificação dos extrativos: 1,0 ml do extrato foi transferido para um recipiente de metal previamente tarado. O recipiente foi deixado em estufa a 105 °C por 6 horas, sendo resfriado a temperatura ambiente. Também realizou a leitura dos teores de sólidos solúveis totais do extrato (°Brix) em refratômetro de bancada.

Determinação do teor de proantocianidinas: Em uma proveta foram adicionados 0,10 ml do extrato bruto e diluiu-se com água destilada até o volume de 10,0 ml. Desta solução retirou-se uma alíquota de 1,0 ml que foi transferida para um tubo de ensaio. A este tubo de ensaio adicionou-se 2,0 ml de uma solução recém preparada de vanilina em ácido sulfúrico 70% (v/v) na concentração de 10,0 mg/ml. A mistura foi mantida em um banho de água a uma temperatura de 50 °C por 15 minutos. A mistura foi resfriada a temperatura ambiente (25°C) e realizou-se, através do uso de um espectrofotômetro, a medida de sua absorvância a 500 nm. Juntamente com as amostras, preparou-se uma curva analítica de calibração com soluções aquosas de catequina em diversas concentrações na faixa de 0 – 50 µg/ml. Tanto as amostras

quanto a curva de calibração passaram pelo mesmo tratamento. As leituras foram realizadas contra um branco (2,0 ml de vanilina em ácido sulfúrico 70% e 1,0 ml de água destilada).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental 1 correspondeu a um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2, com duas variáveis independentes (tamanho dos grãos e grau de torra) com três níveis cada (tamanho: grande, médio e pequeno; torra: clara, média e escura).

O delineamento experimental 2 correspondeu a um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x1, no qual os níveis estudados estavam relacionados unicamente a variável grau de torra (clara, média e escura).

Os resultados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação de médias, utilizando-se *software* SAS® Studio para a análise dos dados. As diferenças significativas entre as médias foram expressas recorrendo a diferentes letras (a, b, c, d, e).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TORRA

Durante o processo de torrefação, foram observados alguns pontos essenciais no gráfico tempo x temperatura, como o início da torra, ponto de inflexão, fim da seca, primeiro *crack* e finalização da torra. As Tabelas 1 e 2 demonstram, para os delineamentos 1 e 2 respectivamente, os principais pontos que definiram o perfil de torra (entrada, primeiro *crack* e saída). Todos os perfis de torra completos, incluindo as interações realizadas nos parâmetros do torrador, estão disponíveis nos Apêndices A a L.

Tabela 1 –Resultado processo de torrefação (delineamento 1).

Grau de torra	Classificação	T entrada [°C]	T 1° crack [°C]	t 1° crack [min]	T saída [°C]	t saída [min]
Clara	Pequenos	170,2	186,6	07:16	191,6	07:58
	Médios	170,1	186,0	07:28	191,5	08:10
	Grandes	170,0	186,0	07:22	191,2	08:04
Média	Pequenos	170,1	187,1	07:12	202,2	09:00
	Médios	170,1	187,3	07:16	202,1	09:32
	Grandes	170,0	187,2	07:30	202,0	09:36
Escura	Pequenos	170,1	186,9	07:20	211,8	10:52
	Médios	170,0	187,2	07:18	211,5	12:32
	Grandes	170,1	186,1	07:38	211,1	12:06

Fonte: autor.

Tabela 2 –Resultado processo de torrefação (delineamento 2).

Grau de torra	T entrada [°C]	T 1° crack [°C]	t 1° crack [min]	T saída [°C]	t saída [min]
Clara	170,0	186,0	07:00	191,0	07:44
Média	170,0	186,1	07:22	201,2	09:36
Escura	170,0	185,1	07:40	209,6	12:30

Fonte: autor.

A temperatura de entrada foi a mesma em todas as torras realizadas, sendo de $170,1 \pm 0,1$ °C. É importante salientar que, a fim de manter uma padronização nos perfis de torra, a entrada do café cru no torrador ocorreu sempre que este atingia a temperatura definida de forma ascendente e com os mesmos parâmetros operacionais.

Uma vez que as interações realizadas no torrador foram praticamente as mesmas em todas as torras, a temperatura e tempo observados na ocorrência do primeiro *crack* foram bem próximas, ocorrendo em uma temperatura de $186,5 \pm 0,7$ °C e em média com 7 min e 22 s. O

que realmente trouxe alterações e definiu os diferentes graus de torra foi o ganho de temperatura e o tempo decorrido após o primeiro *crack*. Dessa forma, observou-se o seguinte:

- Torra clara: ganho de $5,2 \pm 0,2$ °C em um tempo médio de 42 s;
- Torra média: ganho de $15,0 \pm 0,2$ °C em um tempo médio de 2 min e 6 s;
- Torra escura: ganho de $24,7 \pm 0,3$ °C em um tempo médio de 4 min e 31s.

5.2 UMIDADE

A umidade do café foi determinada após sua torrefação. As Tabelas 3 e 4 mostram, para os delineamentos 1 e 2, respectivamente, os resultados obtidos para as amostras estudadas.

Tabela 3 – Umidade (base úmida) após a torra (delineamento 1).

Grau de torra	Classificação	Umidade [%]
Clara	Pequenos	$1,74 \pm 0,05$ b
	Médios	$2,06 \pm 0,04$ a
	Grandes	$2,12 \pm 0,03$ a
Média	Pequenos	$1,21 \pm 0,04$ cd
	Médios	$1,22 \pm 0,05$ c
	Grandes	$1,29 \pm 0,08$ c
Escura	Pequenos	$1,08 \pm 0,04$ e
	Médios	$1,08 \pm 0,05$ e
	Grandes	$1,19 \pm 0,05$ cd

Fonte: autor.

Tabela 4 – Umidade (base úmida) após a torra (delineamento 2).

Grau de torra	Umidade [%]
Clara	$2,22 \pm 0,06$ a
Média	$1,16 \pm 0,02$ b
Escura	$1,07 \pm 0,02$ c

Fonte: autor.

Com base nos resultados, não foi possível observar diferença estatisticamente significativa entre as diferentes classificações do café quanto ao tamanho. Quanto ao grau de torra, como já era esperado, houve diferenciação da umidade, sendo observado que quanto maior o grau de torra, menor a umidade do café. Nascimento (2006) observou essa mesma diferenciação de acordo com o grau de torra, encontrando, no entanto, valores ligeiramente maiores de umidade (entre 2 e 3%), o que se justifica pelo emprego de outras variedades de café (conilon) e diferentes metodologias de torra.

De acordo com a portaria nº 377, de 26 de abril de 1999 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, o teor máximo de umidade para o café torrado para se obter uma bebida de qualidade é de 5,0 %. Dessa forma, todas as torras realizadas nesta pesquisa estão dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA.

5.3 COR

A análise de coloração representa um importante método de caracterização física dos alimentos, sendo um dos principais atributos para descrever o grau de torra do café. Na Tabela 5, são demonstrados os resultados de luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo *hue* (h) para as amostras provenientes do delineamento 1.

Tabela 5 – Resultados de análise de cor (delineamento 1).

Grau de torra	Classificação	L^*	C^*	h [°]
Clara	Pequenos	$30,89 \pm 0,30$ a	$28,70 \pm 0,23$ a	$60,34 \pm 0,27$ a
	Médios	$32,58 \pm 0,91$ a	$28,78 \pm 0,72$ a	$59,97 \pm 0,15$ a
	Grandes	$31,52 \pm 0,18$ a	$27,97 \pm 1,45$ a	$59,39 \pm 0,37$ a
Média	Pequenos	$26,58 \pm 0,37$ b	$24,22 \pm 0,74$ b	$56,65 \pm 0,19$ b
	Médios	$25,85 \pm 0,69$ bc	$23,61 \pm 0,87$ bc	$55,11 \pm 0,31$ bc
	Grandes	$24,45 \pm 1,06$ cd	$22,03 \pm 0,31$ c	$54,06 \pm 0,53$ cd
Escura	Pequenos	$22,92 \pm 0,19$ d	$18,40 \pm 0,47$ d	$52,18 \pm 0,37$ d
	Médios	$19,10 \pm 0,48$ e	$14,46 \pm 0,17$ e	$48,95 \pm 1,86$ e
	Grandes	$18,35 \pm 0,51$ e	$13,81 \pm 0,46$ e	$47,44 \pm 0,14$ e

Fonte: autor.

Com bases nos resultados, é possível observar que houve diferenciação dos parâmetros de cor entre os graus de torra, no entanto, o mesmo não pode ser observado com o tamanho dos grãos.

Para todos os tamanhos de grãos, a luminosidade (L^*) apresentou decréscimo de acordo com a evolução do nível de torra. Esse decréscimo pode ser explicado pelo escurecimento causado pela caramelização dos açúcares e pelas reações de Maillard (BORGES *et al.*, 2002). Os resultados encontrados nessa pesquisa corroboram com o que foi observado por Oliveira *et al.* (2014) e Mamede *et al.* (2015), em que a luminosidade também apresentou alterações quando avaliada em diferentes níveis de torra.

Os valores de pureza da cor (C^*) e tonalidade (h) também apresentaram decréscimo, com variância significativa, de acordo com o aumento da intensidade da torra. Resultado

similar foi observado por Bicho *et al.* (2012), no qual o autor avaliou diferentes níveis de torra para cafés de variedades arábica e robusta.

Na Tabela 6, são demonstrados os resultados da análise de cor para o delineamento 2.

Tabela 6 – Resultados de análise de cor (delineamento 2).

Grau de torra	L*	C*	h [°]
Clara	29,37 ± 0,52 a	27,56 ± 0,51 a	58,76 ± 0,61 a
Média	22,41 ± 1,14 b	20,40 ± 0,10 b	52,82 ± 0,22 b
Escura	18,66 ± 0,41 c	14,03 ± 0,23 c	47,80 ± 0,43 c

Fonte: autor.

Considerando os resultados obtidos no delineamento 2, mais uma vez se reforça o decréscimo nos valores de luminosidade, croma e ângulo *hue*, com a evolução do nível de torra. Os resultados estatísticos mostram que houve diferença significativa nos três parâmetros estudados de acordo com o perfil de torra.

5.4 PH, ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL E SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS

A fim de realizar a caracterização físico-química do material torrado, foram realizadas as análises de pH, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST). Os resultados destas análises para os delineamentos 1 e 2, são expressos nas Tabelas 7 e 8 respectivamente.

Tabela 7 – Resultados de pH, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) (delineamento 1).

Grau de torra	Classificação	pH	ATT [% v/m]	SST [°Brix]
Clara	Pequenos	5,0 ± 0,0 ab	10,14 ± 0,58 b	2,24 ± 0,11 a
	Médios	5,0 ± 0,1 a	9,58 ± 0,24 bc	2,19 ± 0,05 a
	Grandes	4,9 ± 0,1 a	10,79 ± 0,94 ab	2,26 ± 0,08 a
Média	Pequenos	5,2 ± 0,0 bc	8,37 ± 0,40 c	2,18 ± 0,10 a
	Médios	5,3 ± 0,1 c	10,83 ± 0,24 a	2,20 ± 0,10 a
	Grandes	5,0 ± 0,1 ab	11,87 ± 0,28 a	2,22 ± 0,06 a
Escura	Pequenos	6,0 ± 0,2 d	6,69 ± 0,21 d	2,25 ± 0,02 a
	Médios	6,1 ± 0,1 d	5,66 ± 0,27 d	2,23 ± 0,06 a
	Grandes	6,1 ± 0,1 d	6,44 ± 0,24 d	2,21 ± 0,04 a

Fonte: autor.

Tabela 8- Resultados de pH, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) (delineamento 2).

Grau de torra	pH	ATT [% v/m]	SST [°Brix]
Clara	4,7 ± 0,0 a	12,47 ± 0,37 a	1,96 ± 0,09 a
Média	5,1 ± 0,1 b	10,75 ± 0,15 b	2,06 ± 0,06 a
Escura	6,1 ± 0,1 c	6,09 ± 0,28 c	2,07 ± 0,10 a

Fonte: autor.

Os diferentes graus de torra resultaram em diferenças significativas no teste do potencial hidrogeniônico (pH). No entanto, as diferentes classificações do café quanto ao tamanho apresentaram pH estatisticamente igual. Os valores de potencial hidrogeniônico encontrados neste trabalho se assemelham aos valores de 5,52, 5,66 e 6,12 encontrados por Oliveira (2006), para as torras clara, média e escura, respectivamente, utilizando *Coffea arabica*.

No geral, pode-se observar que quanto maior o grau de torrefação, menor foi a acidez, não podendo, no entanto, se estabelecer alguma relação do parâmetro com o tamanho dos grãos. Este comportamento de decréscimo da acidez de acordo com o nível de torra está associado à degradação dos ácidos clorogênicos e volatilização dos ácidos carboxílicos (OLIVEIRA, 2006).

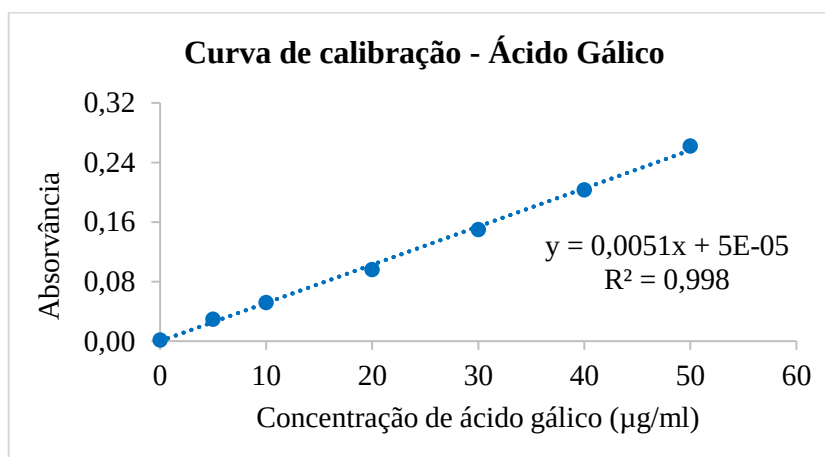
Junior *et al.* (2022) observaram valores muito próximos aos encontrados nesta pesquisa, com valores de ATT em solução molar v/m (%), variando entre 11,83 e 5,94, para grãos de café arábica. Os resultados do delineamento experimental 1 indicam que não houve grande diferenciação da ATT entre as torras clara e média, fator também observado por Junior *et al.* (2022) em seu trabalho.

Por fim, a análise de sólidos solúveis totais foi realizada buscando-se caracterizar o café e as extrações utilizadas nas análises de pH e ATT. Dessa forma, verificou-se que não houve diferença estatística no teor de açúcares das diferentes torras e classificações.

5.5 FENÓIS TOTAIS

Na Figura 11, é apresentada a curva de calibração, obtida através da determinação das absorvâncias das amostras de ácido gálico em concentrações conhecidas.

Figura 11 - Curva de calibração (ácido gálico).



Fonte: autor.

As Tabelas 9 e 10, trazem os valores de compostos fenólicos, em mg equivalentes de ácido gálico por grama de café, para os delineamentos experimentais 1 e 2, respectivamente.

Tabela 9 – Resultados dos compostos fenólicos totais (delineamento 1).

Grau de torra	Classificação	Compostos fenólicos [mg _{eq} de ác. gálico / g de café]	SST [°Brix]
Clara	Pequenos	79,57 ± 2,47 a	4,92 ± 0,04 de
	Médios	78,11 ± 7,51 a	4,87 ± 0,04 cd
	Grandes	79,75 ± 5,73 a	4,52 ± 0,05 a
Média	Pequenos	39,87 ± 2,47 bcd	4,82 ± 0,02 bcd
	Médios	47,56 ± 4,36 b	5,07 ± 0,05 e
	Grandes	43,30 ± 9,91 bc	4,68 ± 0,05 ab
Escura	Pequenos	33,65 ± 3,68 bcd	4,74 ± 0,09 bcd
	Médios	28,25 ± 6,40 cd	4,72 ± 0,09 bc
	Grandes	25,79 ± 3,68 d	4,89 ± 0,12 cde

Fonte: autor.

Tabela 10 - Resultados dos compostos fenólicos totais (delineamento 2).

Grau de torra	Compostos fenólicos [mg _{eq} de ác. gálico / g de café]	SST [°Brix]
Clara	74,20 ± 6,58 a	4,67 ± 0,19 a
Média	40,20 ± 3,54 b	4,99 ± 0,10 ab
Escura	16,48 ± 3,68 c	5,00 ± 0,08 b

Fonte: autor.

Os resultados mostram que o teor de fenóis totais diminuiu com o aumento no grau de torrefação, corroborando com o observado nos estudos de Nascimento (2006), Oliveira (2006) Morais *et al.* (2008). Segundo Menezes (1994), durante o processo de torração, ocorre uma decomposição gradual dos compostos fenólicos, o que resulta na formação de compostos voláteis responsáveis pelo aroma, na criação de materiais poliméricos e na liberação de CO₂. Não foi possível estabelecer uma correlação direta entre a classificação do café em tamanhos e o teor de compostos fenólicos.

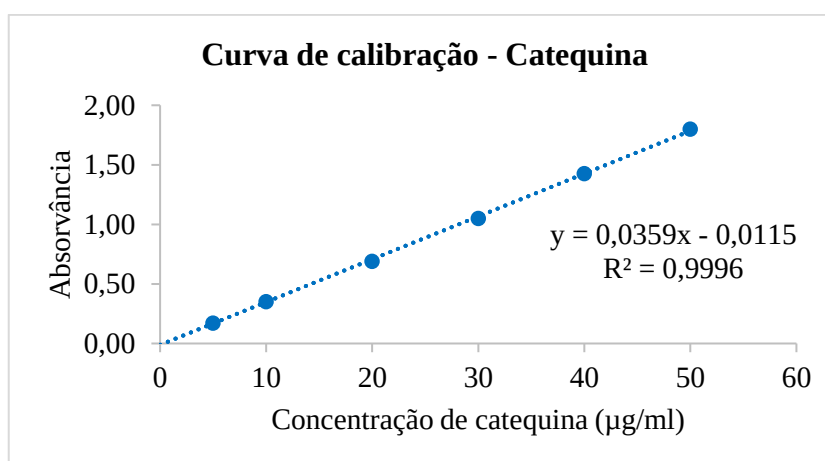
Oliveira (2006) e Morais *et al.* (2008) em suas pesquisas, também utilizando *Coffea arabica*, verificaram valores inferiores de compostos fenólicos, especialmente para torra clara, encontrando valores de aproximadamente 30,8 mg em equivalente de ácido gálico/ g de café. No entanto, Alves (2007) em seu trabalho avaliando o teor de fenólicos para diferentes qualidades de bebida, adotando exclusivamente torras claras, verificou valores entre 60 e 80 mg em equivalente de ácido gálico/ g de café, corroborando com o observado nesta pesquisa.

A análise de sólidos solúveis totais foi realizada buscando-se caracterizar o café e as extrações utilizadas. Dessa forma, não foi observada variância no teor de açúcares das diferentes torras e classificações, obtendo-se um valor médio de 4,82 °Brix.

5.6 TEOR DE PROANTOCIANIDINAS

A partir da determinação das absorbâncias das amostras de catequina em concentrações conhecidas, foi possível traçar uma curva de calibração, apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Curva de calibração (catequina)



Fonte: autor.

As Tabelas 11 e 12, trazem os valores de teor de proantocianidinas, em mg equivalentes de catequina por grama de café, para os delineamentos experimentais 1 e 2, respectivamente.

Tabela 11 – Resultados de teor de proantocianidinas (delineamento 1).

Grau de torra	Classificação	Teor de proantocianidinas [mg_{eq} de catequina / g de café]	SST [°Brix]
Clara	Pequenos	5,13 ± 0,36 a	4,92 ± 0,04 de
	Médios	5,35 ± 0,29 a	4,87 ± 0,04 cd
	Grandes	4,94 ± 0,19 a	4,52 ± 0,05 a
Média	Pequenos	6,49 ± 0,31 bc	4,82 ± 0,02 bcd
	Médios	6,88 ± 0,18 c	5,07 ± 0,05 e
	Grandes	6,19 ± 0,06 b	4,68 ± 0,05 ab
Escura	Pequenos	8,45 ± 0,22 d	4,74 ± 0,09 bcd
	Médios	9,61 ± 0,09 e	4,72 ± 0,09 bc
	Grandes	9,14 ± 0,17 e	4,89 ± 0,12 cde

Fonte: autor.

Tabela 12 - Resultados de teor de proantocianidinas (delineamento 2).

Grau de torra	Teor de proantocianidinas [mg_{eq} de catequina / g de café]	SST [°Brix]
Clara	5,09 ± 0,10 a	4,67 ± 0,19 a
Média	6,88 ± 0,10 b	4,99 ± 0,10 ab
Escura	9,40 ± 0,18 c	5,00 ± 0,08 b

Fonte: autor.

Os resultados mostram que os teores de proantocianidinas aumentaram com o aumento no grau de torrefação, corroborando com o observado nos estudos de Nascimento (2006), Oliveira (2006) Morais *et al.* (2008). O teor de proantocianidinas está relacionado com a sensação de adstringência (OLIVEIRA, 2008), a qual pode ser observada em cafés com maior nível de torra. Segundo Nascimento (2006), por serem taninos condensáveis, o aumento da temperatura facilita a formação das proantocianidinas, justificando sua maior concentração no café com torra escura. Não foi possível estabelecer uma correlação direta entre a classificação do café em tamanhos e o teor de proantocianidinas.

Oliveira (2006) e Morais *et al.* (2008) em suas pesquisas, também utilizando *Coffea arabica*, verificaram valores inferiores de proantocianidinas, em que encontraram valores variando de 3,18 a 4,21 mg em equivalente de catequina/ g de café. No entanto, Alves (2007), em seu trabalho avaliando o teor de proantocianidinas para diferentes qualidades de bebida, adotando exclusivamente torras claras, verificou valores superiores, chegando a 7,5 mg em equivalente de catequina/ g de café, valores mais próximos dos observados nesta pesquisa e demonstrando que este valor pode estar associado com a origem e outros fatores de processamento ao qual o café foi submetido.

A análise de sólidos solúveis totais foi realizada buscando-se caracterizar o café e as extrações utilizadas. Dessa forma, não foi observada variância no teor de açúcares das diferentes torras e classificações, obtendo-se um valor médio de 4,82 °Brix.

6 CONCLUSÃO

Este estudo buscou avaliar diferentes perfis de torra, de forma a definir os parâmetros adequados no processo de torrefação, possibilitando sua padronização e replicabilidade para usuários do torrador Stratto®, em especial, a comunidade científica da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI). Além disso, dados os diferentes perfis de torra estabelecidos, o projeto também buscou avaliar as características físico-químicas dos grãos de café submetidos a diferentes perfis de torra e diferentes classificações quanto ao tamanho dos grãos.

Dado o exposto, é possível afirmar que o projeto obteve sucesso em seus objetivos. Dentre os estudos realizados na FEAGRI utilizando o torrador, este foi o primeiro a abordar uma utilização conjunta de torrador e *software* de torra. A partir deste momento, os perfis de torra avaliados neste projeto estarão disponíveis à comunidade científica para que possam ser replicados, aprofundados e melhorados.

Quanto as análises físico-químicas abordadas, foi possível concluir com base nas análises de umidade, cor, pH, acidez total titulável, compostos fenólicos e teor de proantocianidinas, que a aplicação de distintos graus de torra resultou em diferenças estatisticamente significantes nos parâmetros. A mesma diferença não pode ser observada quando avaliadas as classificações dos grãos em graúdos, médios e miúdos.

As avaliações de umidade, cor, acidez total titulável e compostos fenólicos se mostraram inversamente proporcionais à evolução do perfil de torra, ou seja, quanto maior o grau de torra aplicado (mais escuro), menor o valor observado destas variáveis. Já as avaliações de pH e teor de proantocianidinas se demonstraram diretamente proporcionais ao grau de torra, tendo seus maiores valores apresentados em torras mais escuras.

Esta pesquisa também apresentou limitações, considerando que não foi utilizado todo o potencial que o *software* de torra Artisan oferece, como avaliação da área abaixo da curva (energia empregada), analisador de curvas e comparador de curvas. Também não foi realizada a análise sensorial das amostras, uma importante análise para a avaliação da qualidade da bebida do café. Dessa forma, este estudo possibilita que novas investigações sejam realizadas com o objetivo de explorar esses recursos e investigar outros parâmetros relevantes que não foram abordados neste estudo.

É possível concluir que este projeto representou uma contribuição significativa para o aprofundamento dos estudos no processo de torra. Espera-se que os resultados apresentados estimulem novas reflexões e inspirem pesquisadores a continuarem investigando nessa área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. H. P. *et al.* Composição química de cafés torrados do Cerrado e do Sul de Minas Gerais. **Ciência & Engenharia**, v. 16, n. 1/2, p. 9-15, 2007.

ALVES, B. H. P. **Análise comparativa da composição química de cafés do cerrado mineiro e do sul de Minas Gerais**. 2004. 91p. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2004

ALVES, G.E. *et al.* Condutividade elétrica e lixiviação de potássio de grãos de café submetidos a diferentes tipos de processamento e métodos de secagem. In: **VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2011, Araxá, MG. Brasília - DF: Embrapa Café, 2011. p. 1 - 5.

ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed). **Cultivares de café**. Brasília: EMBRAPA, 2007. Cap. 2, p. 31-48.

ARTISAN. **About Artisan Scope**. 2023. Disponível em: <https://artisan-scope.org/about/>. Acesso em: 19 de março de 2023.

BICHO, N. C. *et al.* Use of colour parameters for roasted coffee assessment. **Food Science and Technology**, v. 32, p. 436-442, 2012.

BORÉM, F. M. Pós-Colheita do café. **Lavras: UFLA**, v. 1, p. 631, 2008.

BORGES, M. L. A.; FRANÇA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; CORRÊA, P. C.; GLÓRIA, M. B. A. Estudo da variação da coloração de café arábica durante a torra em diferentes condições de aquecimento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 5, p. 3-8, 2002.

BRASIL, **Portaria nº 377, de 26 de abril de 1999**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária. Brasília, DF. 26 abr. 1999. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1999/prt0377_26_04_1999.html. Acesso em: 07 de junho de 2023.

BRASIL, **Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF. 11 jun. 2003. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/legislacao/Instrucao_Normativa_n_8.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2023.

BSCA – Brazil Specialty Coffee Association. **Catuai Amarelo**. 2023. Disponível em: <https://brazilcoffeenation.com.br/variety/show/id/11>. Acesso em: 08 de junho de 2023.

CARNEIRO, C. M. **Processo produtivo café: torrefação e qualidade**. 2021. Tese (Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2021.

CECAFÉ, Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. **Exportações Brasileiras de Café: relatório mensal x tipo de café**. 2023. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/>. Acesso em: 18 de março de 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira.** Safra 2022 Quarto levantamento. Brasília, 2022.

DEBONA, D. G. *et al.* Avaliação da composição química de café arábica submetido a diferentes perfis de torra. **IFES Ciência**, v. 3, n. 3, p. 124–133, 2020.

DEBONA, D. G. **Otimização da qualidade do café com base em diferentes perfis de torra e altitudes.** Tese (Conclusão de Curso) – Curso de Administração, Instituto Federal do Espírito Santo. Venda Nova do Imigrante, 2021.

FAZUOLI, L. C. *et al.* Cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.). In: CARVALHO, C. H. S. (Ed). **Cultivares de café.** Brasília: EMBRAPA, 2007. Cap. 9, p. 125-198.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B *et al.* **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 86-113.

FERRÃO, M. A. G. *et al.* Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. *et al.* (Ed.) **Café conilon.** Vitória: Incaper, 2007. p. 66-91.

FERRÃO, R. G. *et al.* Porcentagem de café cereja, verde, seco e chocho no cafeeiro arábica conduzido com a poda programada de ciclo. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras.** Brasília, DF: Embrapa Café, 2018.

FILHO, H. P. M.; BORFIGNON, R. Melhoramento do café arábica ao longo dos anos. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed). **Cultivares de café.** Brasília: EMBRAPA, 2007. Cap. 5, p. 65-82.

FILHO, O. G. *et al.* Origem e classificação botânica do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed). **Cultivares de café.** Brasília: EMBRAPA, 2007. Cap. 1, p. 23-30.

FONSECA, A. F. A. *et al.* Cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). In: CARVALHO, C. H. S (Ed). **Cultivares de café.** Brasília: EMBRAPA, 2007. Cap. 10, p. 199-218.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G. A cultura do café robusta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002. p.119-145.

HAMEED, A. *et al.* Farm to consumer: factors affecting the organoleptic characteristics of coffee. II: postharvest processing factors. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1184-1237, 2018.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4ª ed. São Paulo: IAL, 1018p., 2008.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos.** São Paulo: O Instituto, 1985, 3 ed. V.l.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **A geografia do café: dinâmica territorial da produção agropecuária**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

JUNIOR, H. L. *et al.* Características bromatológicas do café em grão cru comercializado em Jaru-RO. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e4411830607-e4411830607, 2022.

KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T.; CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L. **Boletim Técnico 62**, Instituto Agrônomo de Campinas. 57p. 1939.

LIANG, N.; KITTS, D.D. Role of chlorogenic acids in controlling oxidative and inflammatory stress conditions. **Nutrients**, v. 8, n. 1, p. 16, 2016.

MAGALHÃES, B. **O café na história, no folclore e nas belas-artes**. 2ª. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1939.

MAMEDE, A. M. G. N. *et al.* Efeito dos níveis de torra na cor e no rendimento da extração de DNA de cafés. **IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Curitiba – PR. 2015.

MARTINS, A. L. **História do café**. 2ª. ed. São Paulo: Contexto, 2017

MARTINS, A. L. **Império do café: a grande lavoura no Brasil 1850 a 1890**. 7ª. ed. São Paulo: História em Documentos, 1999.

MATIELLO, J. B. *et al.* Cultura de café no Brasil: manual de recomendações. **Varginha: Fundação Procafé**, 2010.

MELO, WL de B. A Importância da Informação Sobre do Grau de Torra do Café e sua Influência nas Características Organolépticas da Bebida. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**. Comunicado Técnico, 2004.

MENEZES, H. C. **Variação dos monoisômeros e diisômeros do ácido cafeoilquínico com maturação de café**. 1994. 171f. 1994. Tese de Doutorado. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 1994

MORAIS, S. A. L. *et al.* Compostos bioativos e atividade antioxidante do café conilon submetido a diferentes graus de torra. **Química Nova**, v. 32, p. 327-331, 2009.

MORAIS, S. L. *et al.* Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arabica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 198-207, 2008.

MUINHOS, R. **A ciência da torra**. *Buena Vista Café*, 18 de janeiro de 2017. Disponível em: <https://buenavistacafe.com.br/blog/2017/01/18/a-ciencia-da-torra/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

MUINHOS, R. **Desenvolvendo um perfil de torra**. *Buena Vista Café*, 01 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://buenavistacafe.com.br/blog/2018/01/01/desenvolvendo-um-perfil-de-torra/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

NASCIMENTO, P. M. **Estudo da composição química, atividade antioxidante e potencial odorífico de um café conillon, em diferentes graus de torrefação e análise comparativa**

com café arábica. 2006. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2006.

OIC, International Coffee Organization. **Coffee Market Report January 2023: I-CIP declined but regained momentum throughout January, closing in at 174.95 US cents/lb.** Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ico.org/documents/cy2022-23/cmr-0123-e.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2023.

OLIVEIRA, G. H. H. *et al.* Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1813-1827, 2014.

OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; FREITAS, H. M. Influência da granulometria sobre as propriedades físicas e o tempo de torrefação de grãos de café. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Vitória, ES. 2019.

OLIVEIRA, G. S. **Comparação química dos grãos de café (*Coffea arabica*), sadio e seus grãos PVA (pretos, verdes, ardidos) oriundos do sul de Minas e do cerrado mineiro, submetidos a diferentes graus de torrefação.** 2006. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006

PADILHA, L.; CARVALHO, G. R.; EIRA, M. T. S. Colheita, preparo e armazenamento de sementes de café. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed). **Cultivares de café**. Brasília: EMBRAPA, 2007. Cap. 13, p. 239-244.

PRAMUDITA, D. *et al.* Roasting and Colouring Curves for Coffee Beans with Broad Time-Temperature Variations. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 8, p. 1509–1520, 2017.

RUFINO, M. S. M. *et al.* **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH.** Comunicado técnico online. EMBRAPA, Fortaleza, 2007.

SCHENKER, S.; ROTHGEB, T. The roast – Creating the Beans' signature. In: **The craft and science of coffee**. Academic Press, 2017. p. 245-271.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Café: cafés especiais**. Brasília. p. 104, 2017.

SILVA, I. S. **Obtenção de cafés especiais pela fermentação.** Tese (Conclusão de curso) - Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia química da Universidade Federal de Uberlândia. Patos de Minas, 2021.

SILVA, L. C.; MORELI, A. P.; JOAQUIN, T. N. M. **Café: beneficiamento e industrialização.** In: MARCOLAN, A.L.; ESPINDULA, M.C. (Ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap. 17, p. 383-389. 2015.

SILVEIRA, J. M. C. *et al.* Produção e tamanho de grãos de café *Coffea arabica* L.(CV OBATÃ) sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 4, p. 204-210, 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOBRINHO, A. M. **A civilização do café (1820-1920)**. São Paulo: Brasiliense, 1978.

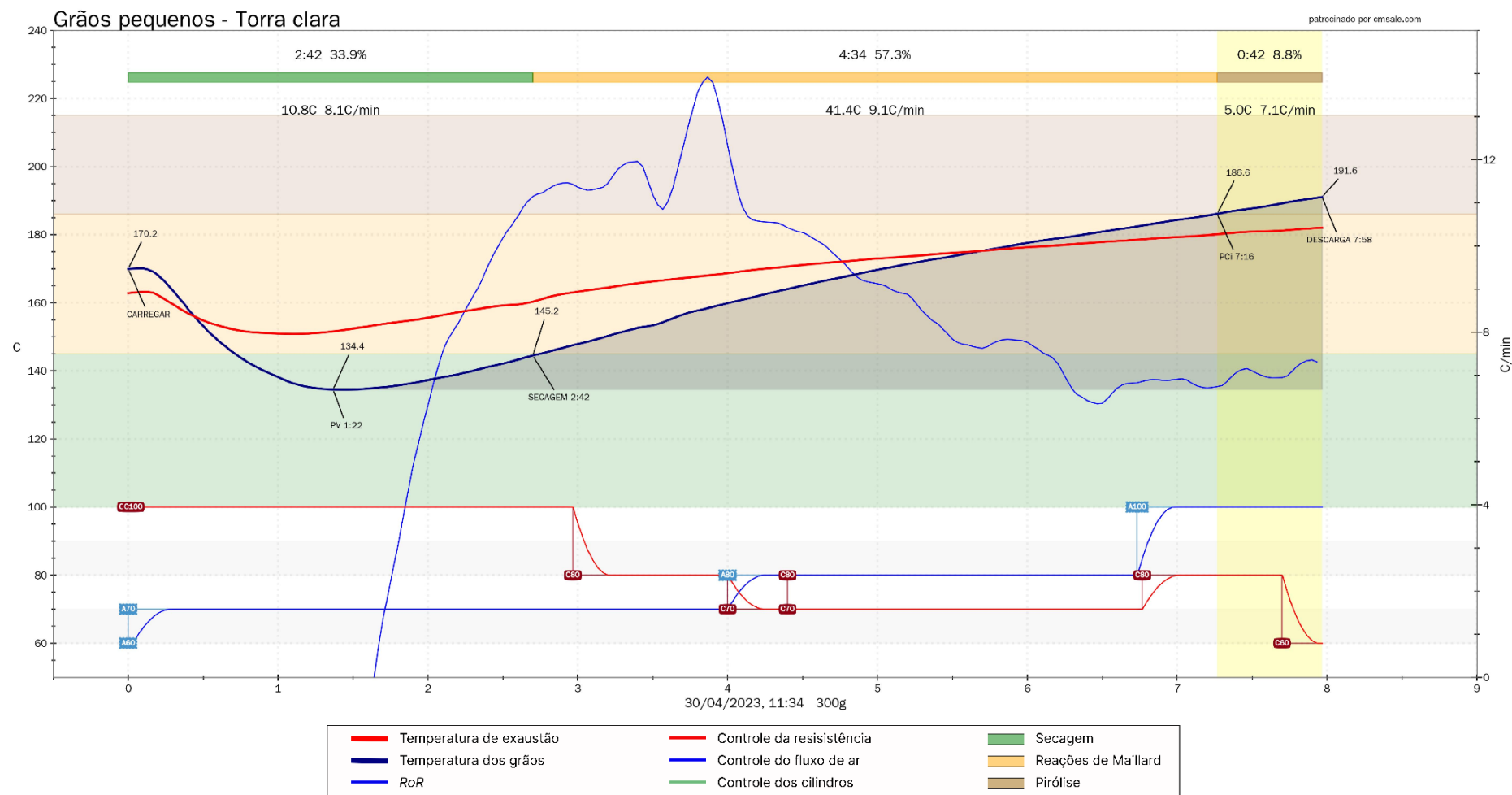
TAUNAY, A. E. **História do café no Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional do Café, 1939.

VIGNOLI, J. A. *et al.* Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. **Food Research International**, v. 61, p. 279-285, 2014.

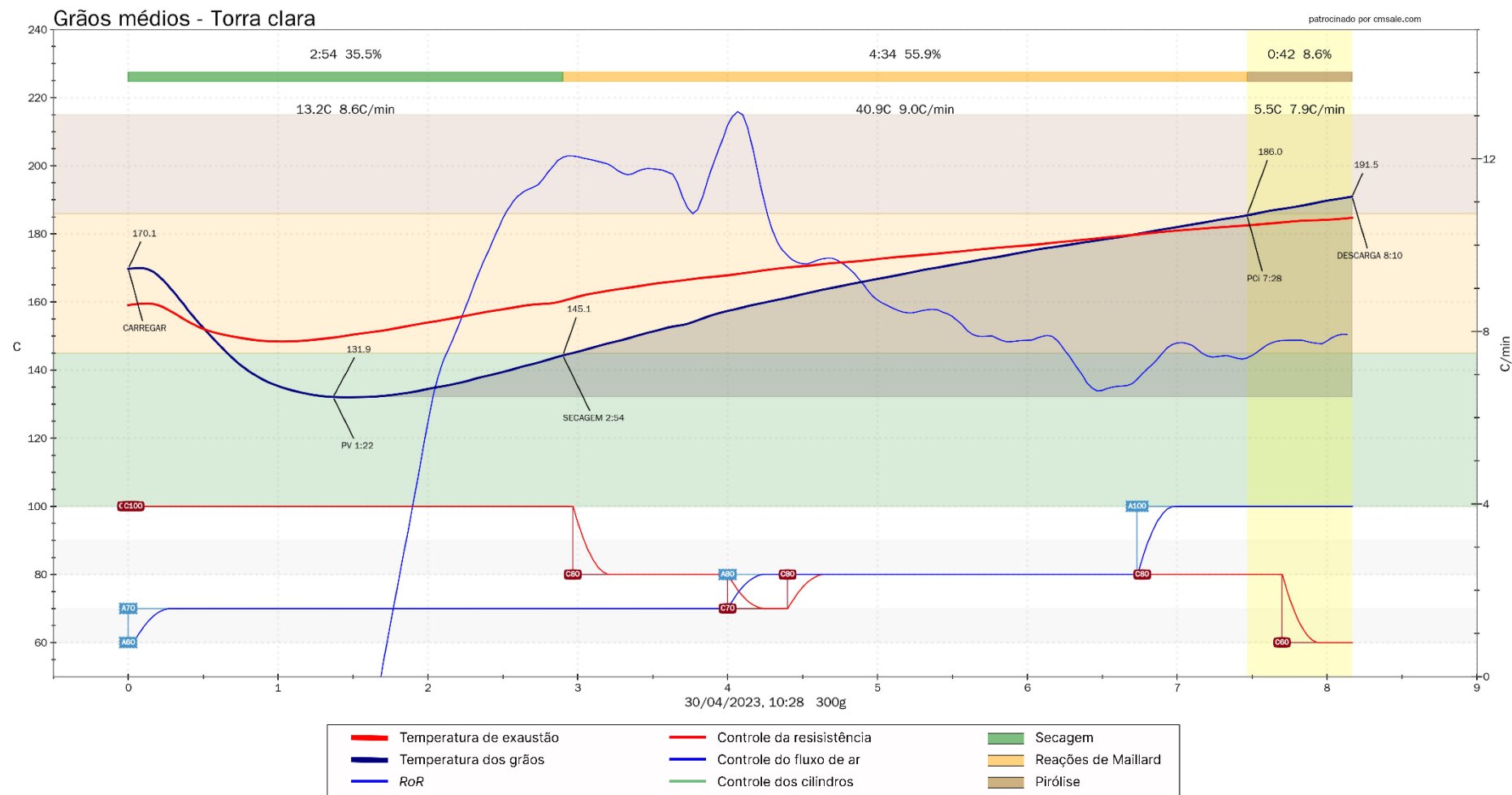
WANG, H. Y.; QIAN, H.; YAO, W. R. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. **Food Chemistry**, v. 128, n. 3, p. 573-584, 2011.

APÊNDICES

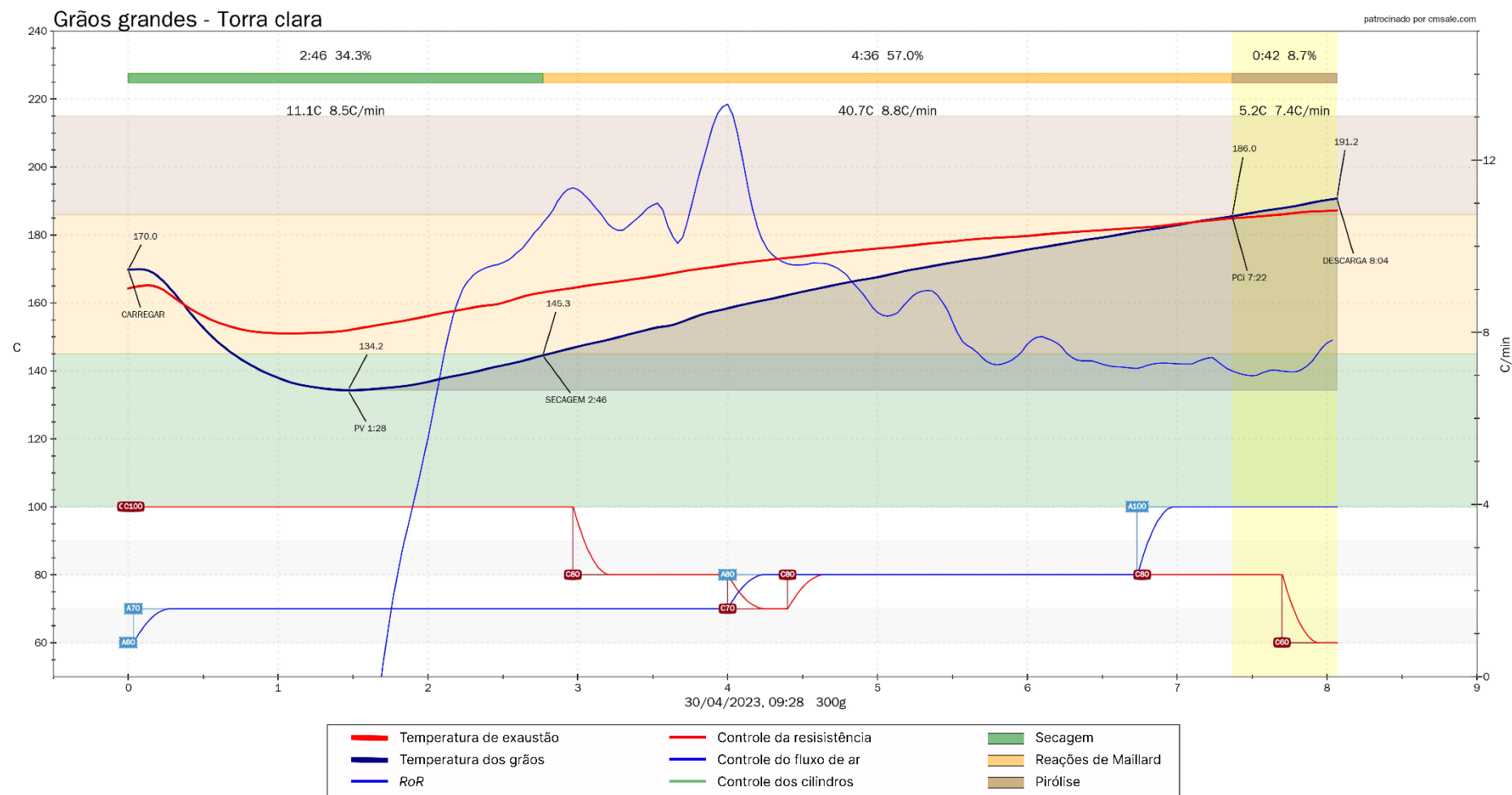
Apêndice A - Perfil de torra (Grãos pequenos - Torra clara).



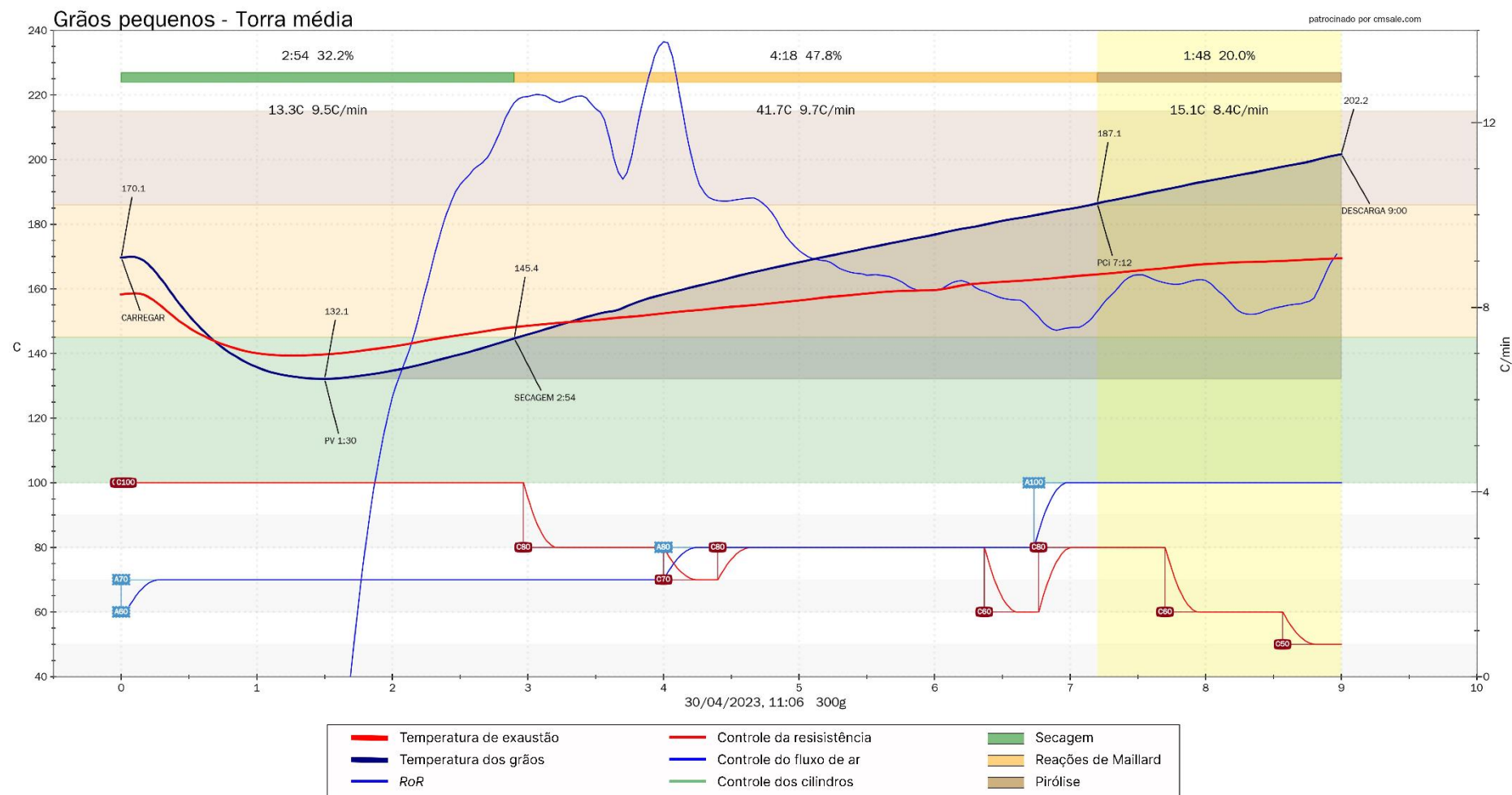
Apêndice B - Perfil de torra (Grãos médios - Torra clara).



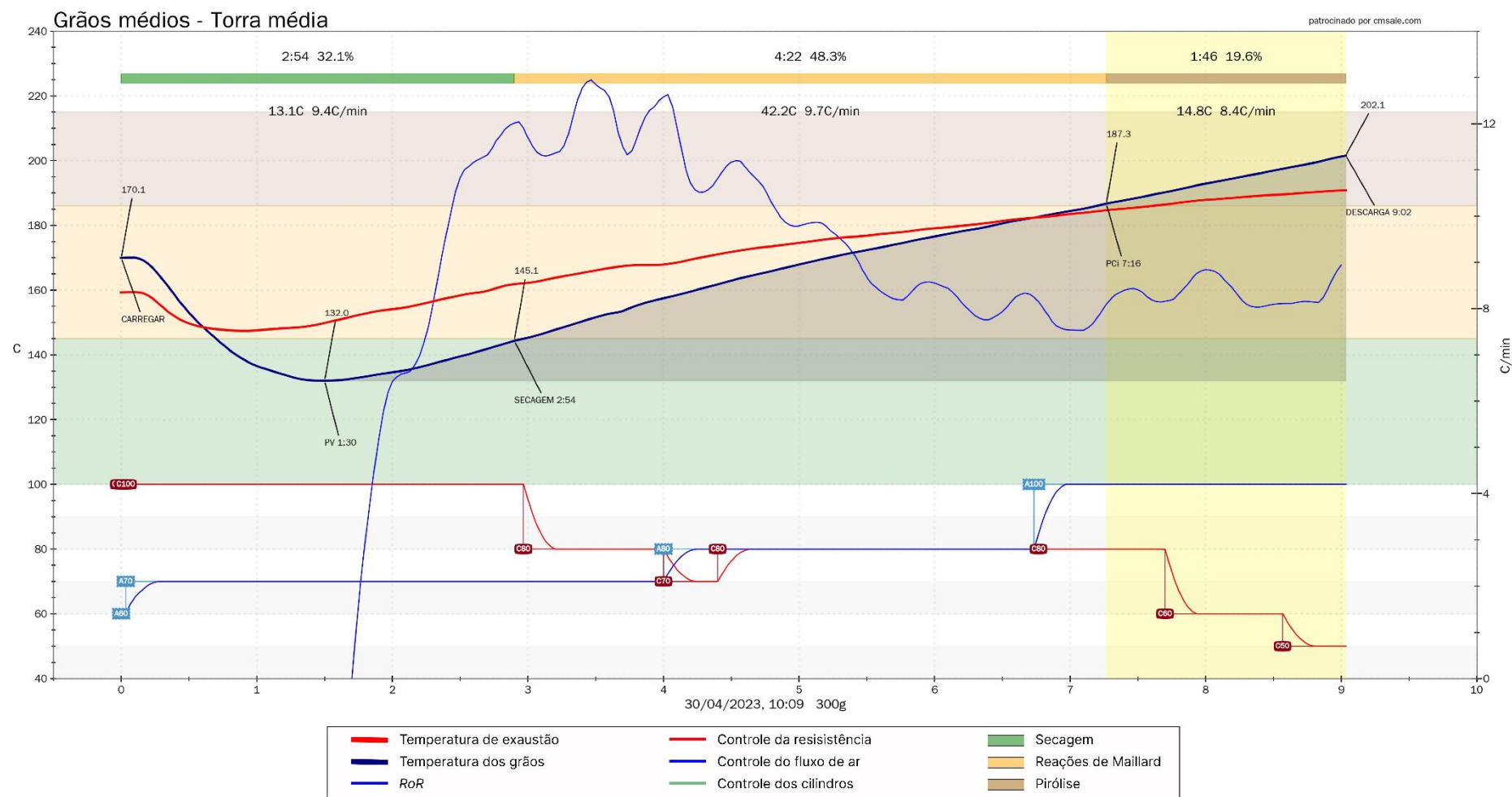
Apêndice C - Perfil de torra (Grãos grandes - Torra clara).



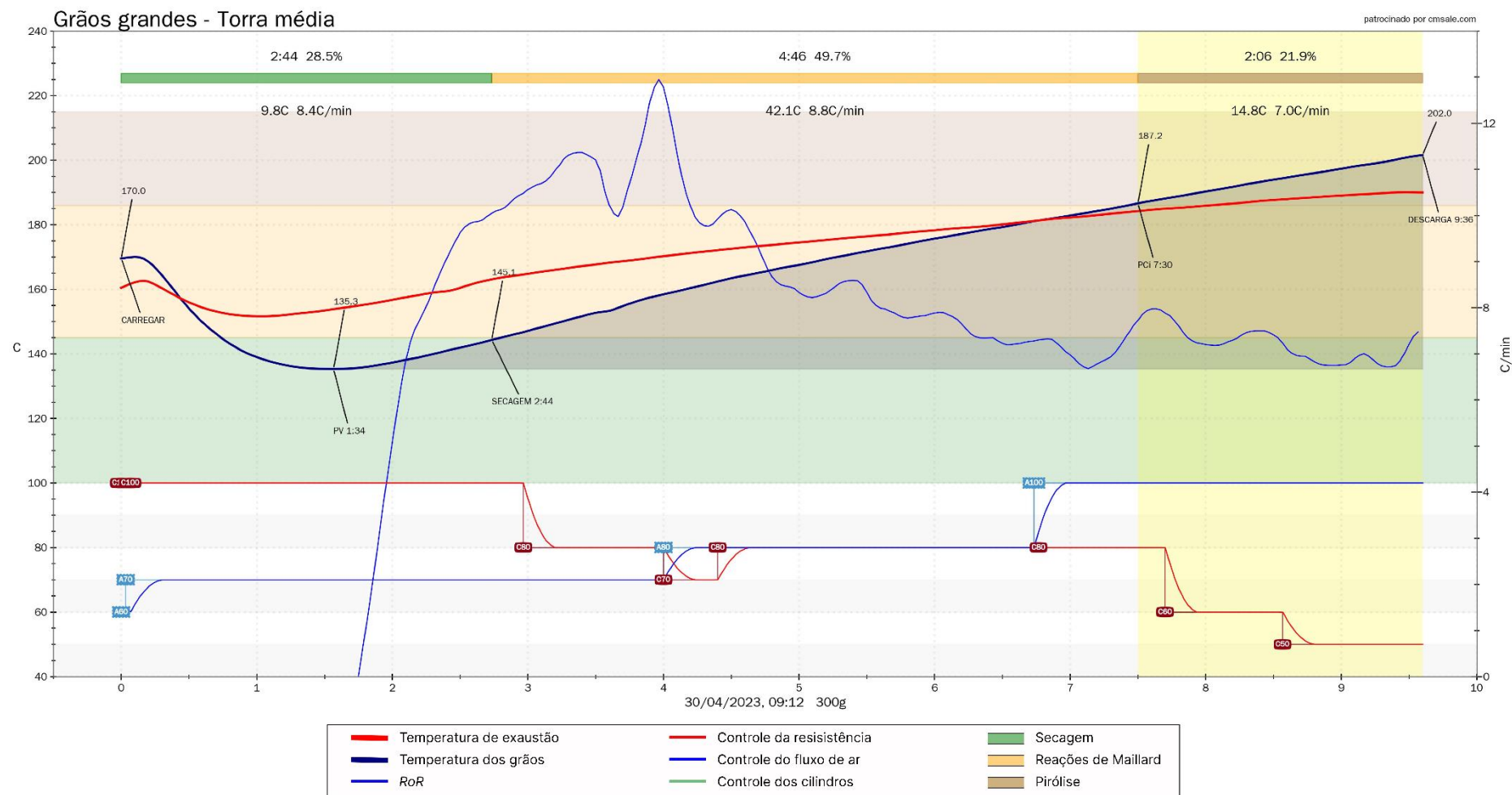
Apêndice D - Perfil de torra (Grãos pequenos - Torra média).



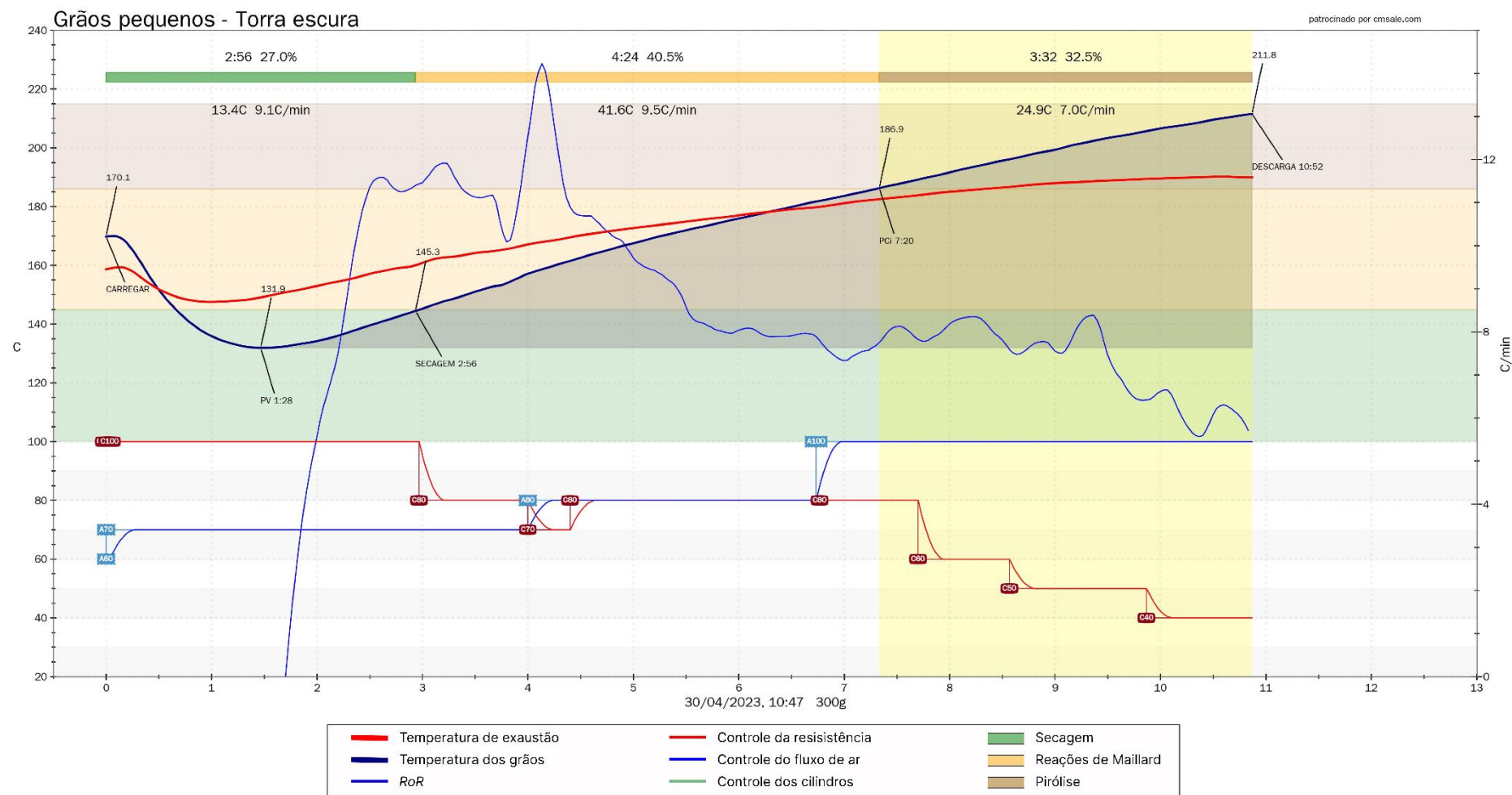
Apêndice E - Perfil de torra (Grãos médios - Torra média).



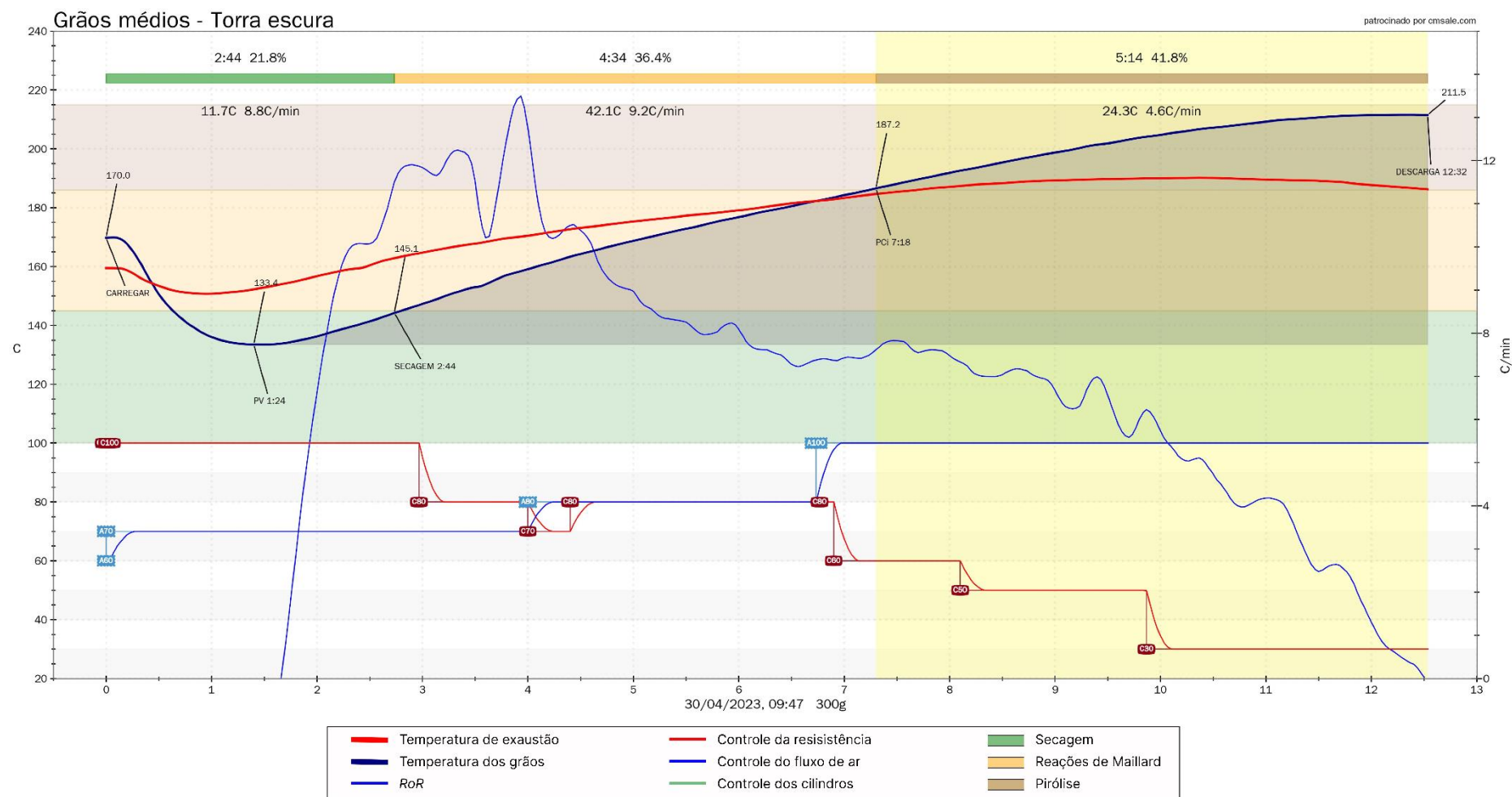
Apêndice F - Perfil de torra (Grãos grandes - Torra média).



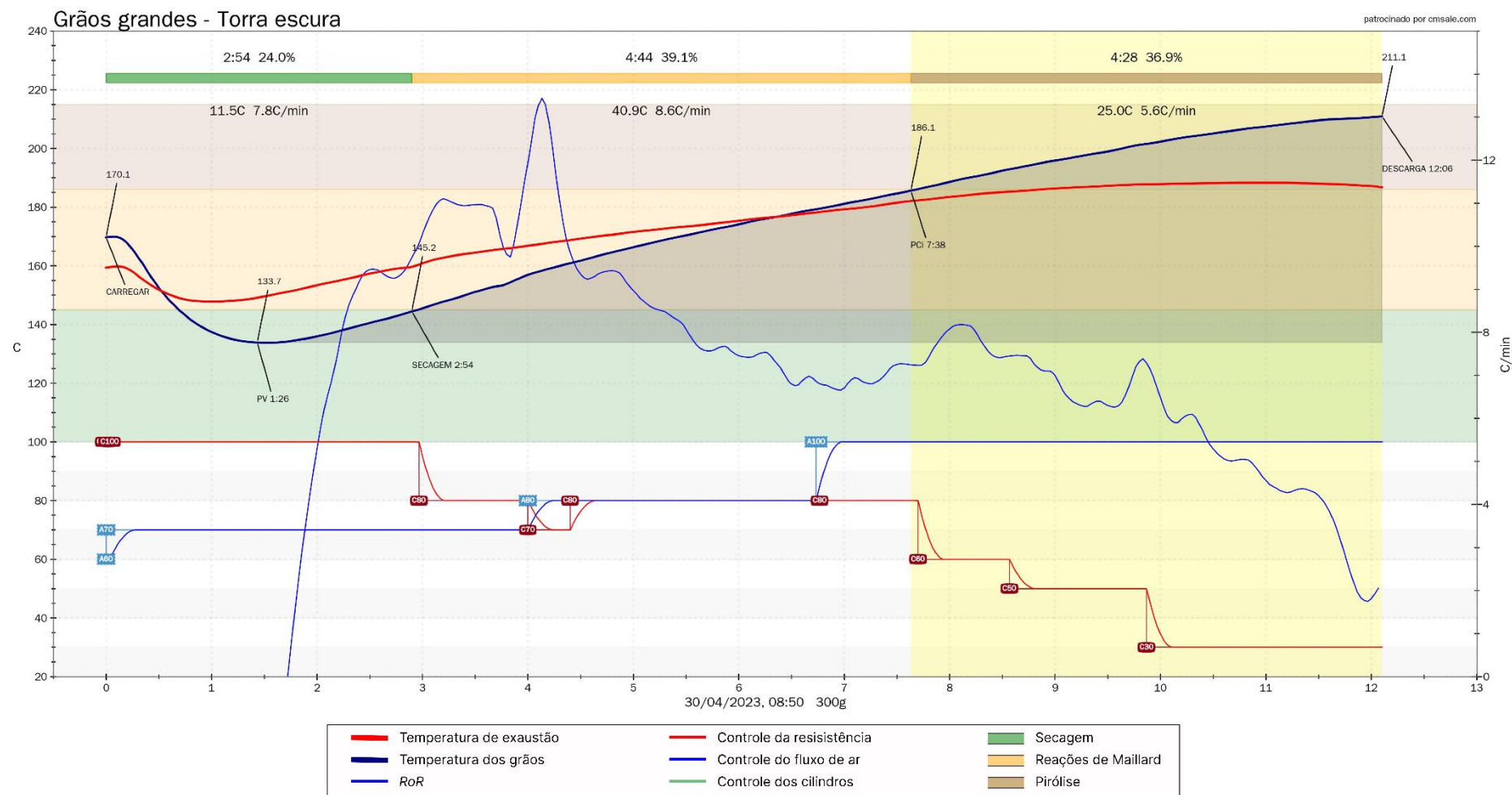
Apêndice G - Perfil de torra (Grãos pequenos - Torra escura).



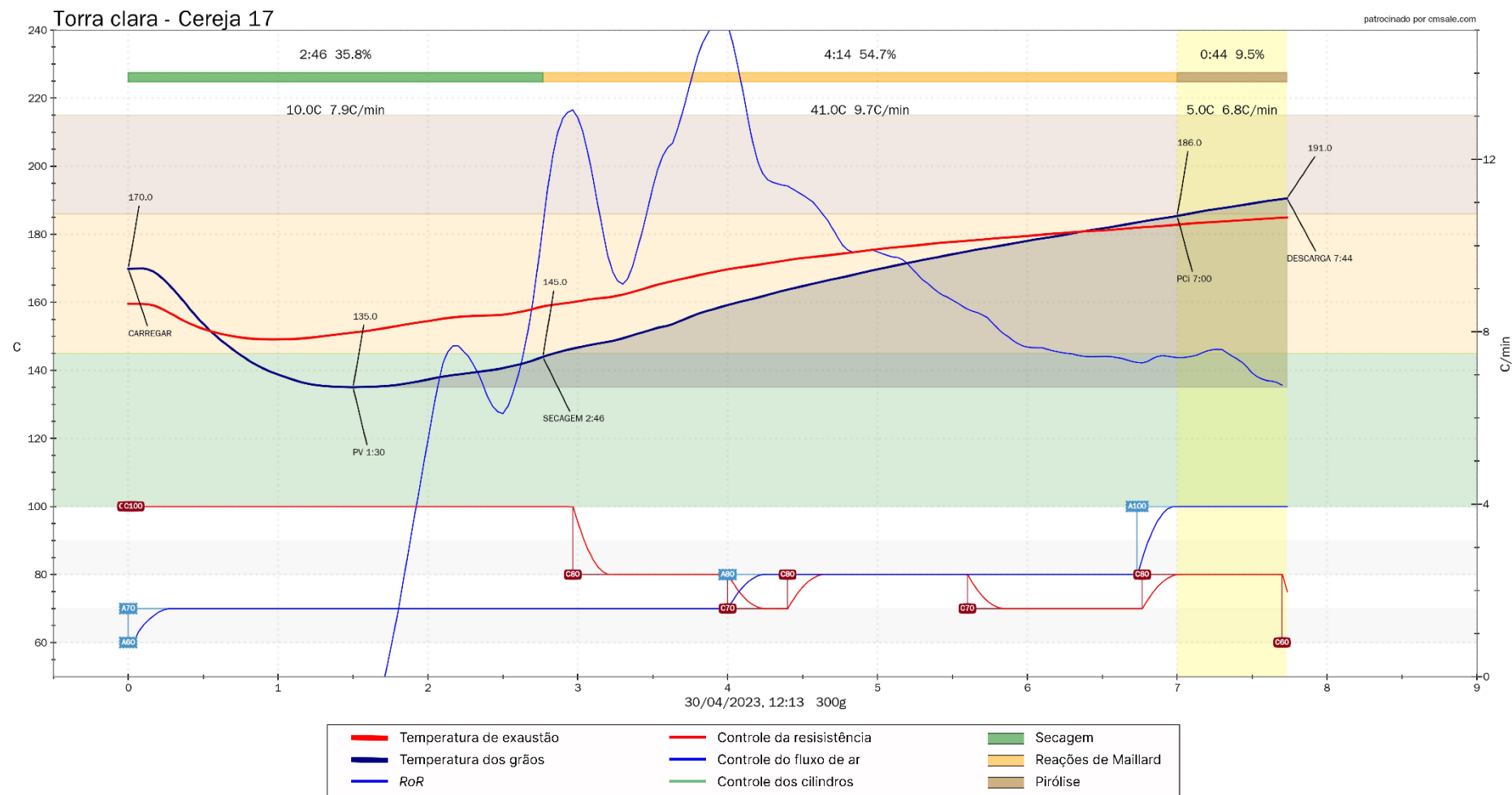
Apêndice H - Perfil de torra (Grãos médios - Torra escura).



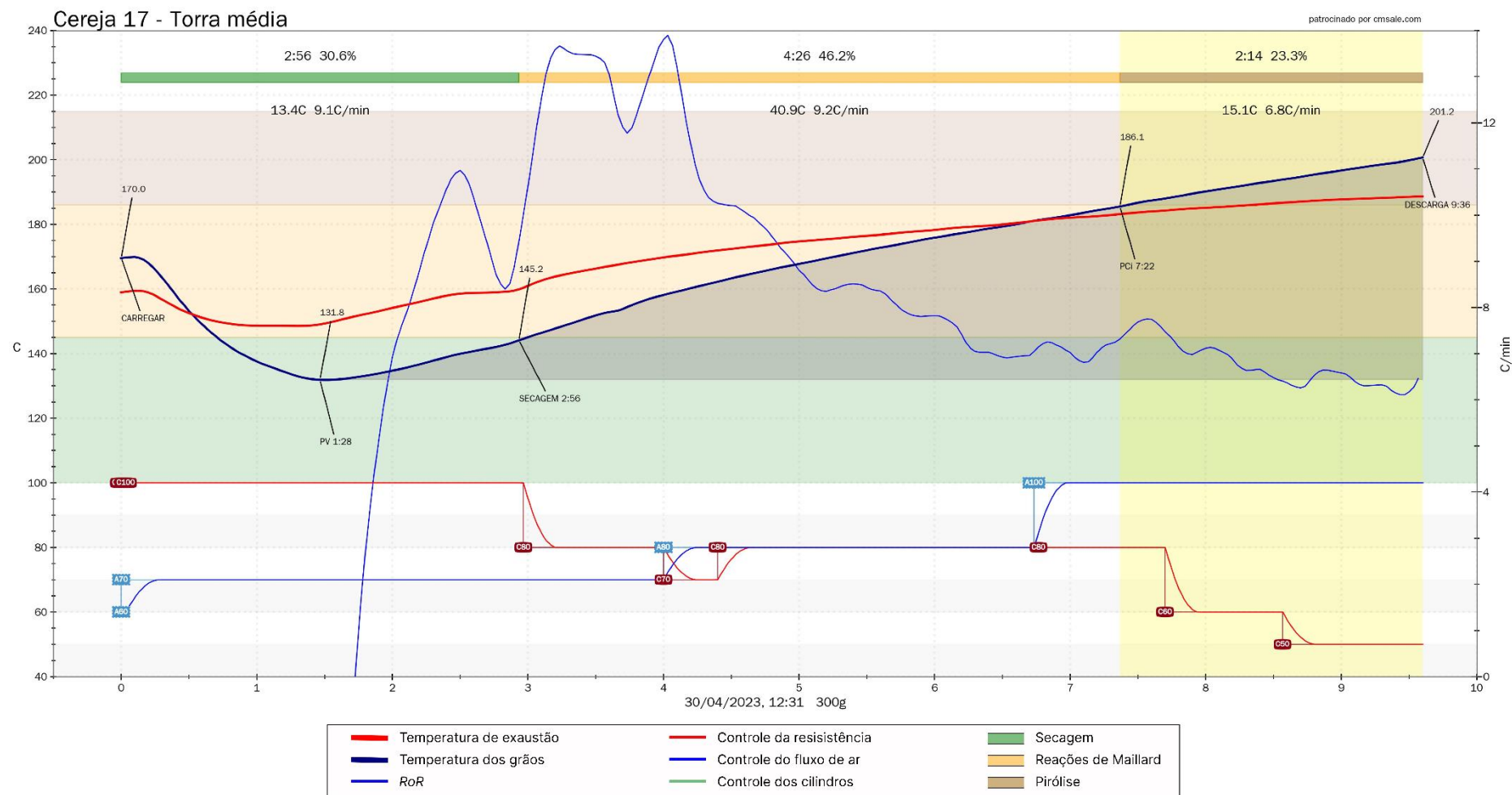
Apêndice I - Perfil de torra (Grãos grandes - Torra escura).



Apêndice J - Perfil de torra (Cereja 17 - Torra clara).



Apêndice K - Perfil de torra (Cereja 17 - Torra média).



Apêndice L - Perfil de torra (Cereja 17 - Torra escura).

