

CERRADO 4.0: CAFÉS ESPECIAIS NA ERA DIGITAL

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI
Secretaria de Políticas e Programas Estratégicos

1. Identificação da Proposta

Título do Projeto: CERRADO 4.0: CAFÉS ESPECIAIS NA ERA DIGITAL

Nome do Proponente: Matheus de Souza Gomes

CPF: 014083496-63

Nome da Instituição Executora: Universidade Federal de Uberlândia

2. Descrição do Projeto

A cadeia produtiva do café detém uma importância significativa para a economia brasileira, situando-se como uma vertente estratégica da bioeconomia do país. Esta bioeconomia, que engloba a produção sustentável e o aproveitamento econômico de recursos biológicos, está intrinsecamente ligada ao setor cafeeiro, seja através da valorização de subprodutos ou da aplicação de práticas agrícolas ecologicamente viáveis. A qualidade intrínseca do café e a sua experiência sensorial percebida pelos consumidores são moduladas tanto por fatores diretos quanto indiretos. Do espectro ambiental, parâmetros como temperatura, umidade relativa, altitude, latitude, radiação solar, disponibilidade hídrica e propriedades edáficas são determinantes. Geneticamente, a especificidade da espécie, a cultivar empregada e a microbiota associada ao solo, à planta e ao fruto influenciam decisivamente. Adicionalmente, inovações tecnológicas abrangendo métodos de manejo agrônomo, avanços nas técnicas de pós-colheita, e processos otimizados de fermentação, secagem e armazenamento são igualmente cruciais para determinar a qualidade final do café. (BASTIAN et al., 2021; MARTINEZ et al., 2021; ABIC, 2023).

A percepção sensorial do café abrange múltiplos atributos, dentre os quais se destacam a cor, o sabor e o aroma. No entanto, a qualidade intrínseca deste produto não se restringe apenas a essas características perceptíveis. Ela é profundamente influenciada por aspectos genéticos, como a espécie e a variedade da planta. Além disso, a microbiota ambiental desempenha um papel crucial na formação do perfil sensorial do café. Métodos de processamento pós-colheita, práticas de conservação e rigorosos controles de qualidade dos grãos também são fatores determinantes para a excelência do produto final (BRESSANI et al., 2021; DA SILVA VALE et al., 2023; ELHALIS; COX; ZHAO, 2023; HUCH; FRANZ, 2015; LEE et al., 2015; MARTINEZ et al., 2021; PEREIRA et al., 2021). A designação "cafés especiais", estabelecida pela Specialty Coffee Association (SCA), foi concebida para categorizar cafés que atendem a um elevado critério de qualidade. Tal qualidade é aferida através de uma degustação sistemática conduzida por um Q-Grader, profissional este que possui certificação oficial do Coffee Quality Institute (CQI).

A fermentação do café é um processo no qual leveduras e bactérias proliferam, exercendo um impacto direto na qualidade da bebida resultante. Este fenômeno microbiológico não só influencia os atributos sensoriais, como aroma e sabor, mas também tem potencial para ser um pilar estratégico na bioeconomia associada à produção cafeeira. Dentro da perspectiva da bioeconomia, a fermentação controlada pode maximizar o valor dos grãos de café, produzindo sabores únicos e diferenciados que atendam a nichos de mercado específicos. Além disso, subprodutos gerados durante a fermentação, como metabólitos e resíduos orgânicos, podem ser reaproveitados, seja como insumos para outros processos fermentativos, na geração de bioprodutos ou como adubo orgânico, minimizando desperdícios e promovendo uma economia circular. Essa abordagem eco-inovadora transforma a fermentação do café em uma ferramenta não apenas para aprimorar a qualidade da bebida, mas também para integrá-la em um modelo de produção sustentável e economicamente viável, alinhado aos princípios da bioeconomia moderna.

Uma fermentação bem conduzida pode ocorrer de forma espontânea ou mediante a inoculação controlada de microrganismos específicos. Este procedimento intencional pode gerar bebidas com perfis sensoriais distintivos, enriquecidos com nuances de sabores e aromas como os doces, cítricos e frutados, conferindo assim maior valor e excelência ao produto. Dependendo do microrganismo empregado e da abordagem de processamento adotada, podem-se observar variações na produção de ácidos orgânicos e proteínas, fatores estes que desempenham um papel crucial na configuração do sabor e aroma da bebida final. Portanto, o perfil sensorial de uma mesma variedade de café submetida a diferentes abordagens fermentativas pode apresentar variações notáveis atribuíveis ao processo. Desta forma, torna-se imperativo identificar e empregar microrganismos iniciadores adequados nas fermentações, bem como monitorar e estabelecer as condições ótimas para tal (ELHALIS; COX; ZHAO, 2023; LEE et al., 2015; PEREIRA et al., 2021).

Visando satisfazer um mercado ávido por cafés com distintos perfis sensoriais, os produtores têm se dedicado à inovação nas práticas de pós-colheita. O objetivo central é elevar as pontuações qualitativas de seus cafés, promovendo assim uma diferenciação sensorial marcante de forma sustentável. Melhorias na pontuação final, mesmo que

incrementais, são interpretadas como avanços na qualidade do produto. Importa destacar que essa pontuação, por sua vez, complementa a análise descritiva do sabor e, conseqüentemente, não deve ser avaliada de forma isolada. As técnicas pós-colheita têm sofrido refinamentos contínuos ao longo do tempo. Dentro desse contexto, a implementação de processos fermentativos controlados, sobretudo aqueles que envolvem o uso de culturas iniciadoras, tem emergido como uma estratégia promissora. Tal abordagem favorece o desenvolvimento de um perfil de sabor único, a formação de compostos voláteis desejáveis e a consecução de uma uniformidade exemplar no produto final (BRESSANI, et al, 2021; BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021; CARVALHO NETO et al., 2018; ELHALIS, COX, FRANK, et al., 2020a; EVANGELISTA, SILVA, et al., 2014; MARTINEZ et al., 2021; PEREIRA et al., 2015, 2020; PEREIRA et al., 2020; RIBEIRO, et al., 2017).

Os critérios e atributos fundamentais que definem a qualidade do café especial ainda não são completamente elucidados. Para desvendar esse enigma, é possível recorrer a tecnologias avançadas integradas à cadeia produtiva do café, como o Sequenciamento de Nova Geração (NGS), a Internet das Coisas (IoT) e o Machine Learning. Diante dessa perspectiva, torna-se essencial explorar diversas interações de fatores, com o intuito de compreender a intrincada teia de fenômenos que converge para determinar a qualidade do café.

O Cerrado Mineiro destaca-se como um proeminente produtor de cafés da espécie *Coffea arabica*, recebendo reconhecimento tanto em território nacional quanto internacional por seus cafés de qualidade excepcional. O grupo de pesquisa "Da Semente à Xícara", com presença ativa no Instagram (@dasementeaxicara), detém ampla expertise em técnicas como Sequenciamento de Nova Geração (NGS), Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial e processos fermentativos. Essas habilidades são aplicadas de forma inovadora nos procedimentos de pós-colheita dos cafés. Formado por uma equipe multidisciplinar composta por docentes doutores, pós-doutorandos, doutorandos, mestrandos e graduandos, o grupo se dedica fervorosamente ao estudo e divulgação dos cafés especiais. No âmbito desta cooperação científica, as parcerias estabelecidas com os Produtores Rurais são fundamentais. Os cafés que excedem as necessidades das pesquisas são generosamente doados à Fundação de Apoio

Universitário da UFU. Estes são, posteriormente, comercializados sob a marca Café Porandu (@cafeporandu – www.cafeporandu). O lucro obtido destina-se a financiar investigações futuras, garantindo assim a continuidade e expansão dos estudos. Desde 2019, o grupo "Da Semente à Xícara" tem intensificado suas pesquisas colaborativas com cafeicultores do Cerrado Mineiro. Esta jornada culminou, em 2022, na concepção do Café Porandu, uma materialização do esforço conjunto entre o mundo acadêmico, parceiros empresariais e a Fundação de Apoio Universitário (FAU). "Porandu", na língua Tupi, traduz a essência deste projeto: "pesquisar, questionar, investigar". Este nome encapsula anos de pesquisa rigorosa, que valoriza os perfis sensoriais dos cafés do Cerrado Mineiro. Em última análise, o Café Porandu representa uma simbiose entre ciência avançada e a rica tradição mineira, servindo como testemunho da potência da integração entre pesquisa acadêmica e prática agrícola.

3. Objetivos

O objetivo geral do projeto é avançar tecnologicamente e promover soluções inovadoras no processo de pós-colheita do café junto aos produtores de café da região do Cerrado Mineiro. Ao adotar tecnologias emergentes e disruptivas, almeja-se assegurar que a qualidade intrínseca do fruto do café seja preservada até chegar à xícara do consumidor. Esse aprimoramento visa fortalecer a competitividade dos cafés especiais do Cerrado Mineiro de maneira sustentável, garantindo a segurança alimentar e a produtividade para os cafeicultores. Nesse contexto, a abordagem se alinha com os princípios da bioeconomia, que busca integrar a sustentabilidade econômica com a preservação ambiental, promovendo a utilização eficiente dos recursos biológicos e reduzindo desperdícios ao longo da cadeia produtiva. Esta visão está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

4. Metas

As metas desse projeto são:

Realização de Pesquisas em Tecnologias de Pós-Colheita do Café

Meta 01: Coletar nas propriedades agrícolas selecionadas e no laboratório dados ambientais, microbiológicos, sensoriais, entre outros, para avaliar o impacto das diferentes condições na produção de café e na bebida na xícara.

Meta 02: Realizar experimentos de campo nas propriedades agrícolas selecionadas, coletando amostras de solo e grãos de café em diferentes estágios da produção, incluindo o processo de fermentação, para análise físico-química e microbiológica.

Meta 03: Criar e adequar espaços para pesquisa, apresentação e degustação do Café Porandu na UFU.

Divulgação Científica

Meta 04: Apresentar trabalhos em congressos científicos/tecnológicos nacionais, com o objetivo de compartilhar conhecimento, promover a visibilidade das pesquisas e estabelecer colaborações.

Meta 05: Realizar ações de divulgação e criação de novas formas de apresentação do Café para promoção do Café Porandu.

5. Relevância do Projeto e Aplicação no Setor Produtivo

O estudo das diversas interações entre os fatores ambientais e o café é crucial para compreender a complexidade envolvida na determinação da qualidade do produto final. Patos de Minas, reconhecida por sua elevada produção de cafés da espécie *Coffea arabica* e por cafés especiais premiados, ilustra a vitalidade da cafeicultura brasileira. Integrar tecnologias disruptivas e avanços científicos, como a Internet das Coisas (IoT), sequenciamento de nova geração (NGS) e Machine Learning, pode facilitar decisões mais precisas para produtores, aprimorando a qualidade final do café. O projeto está alinhado com os princípios da bioeconomia e da economia circular, buscando otimizar o uso de recursos, minimizar o desperdício e valorizar todos os componentes envolvidos na produção do café. Tais abordagens não só beneficiam o meio ambiente, mas também garantem uma cadeia produtiva mais resiliente e sustentável, proporcionando vantagens econômicas. As pesquisas em curso têm impulsionado tanto o setor econômico quanto o social no Cerrado Mineiro. Elas ajudam a harmonizar o entendimento tradicional com *insights* científicos, fornecendo soluções práticas e inovadoras para desafios antigos. Esses esforços científicos têm potencial para serem extrapolados para outras cadeias produtivas agrícolas brasileiras, tornando a aplicação deste conhecimento não apenas pertinente, mas revolucionária. A prática de levar a pesquisa diretamente às fazendas e envolver produtores, trabalhadores e alunos nesse processo é intrinsecamente valiosa. Rompe barreiras entre a academia e o campo, democratiza o conhecimento e instiga uma mentalidade de inovação contínua no setor agrícola. Essa colaboração direta transforma a maneira como a ciência é percebida e aplicada, realçando a sua importância e relevância para a melhoria contínua dos processos de produção. Finalmente, a parceria com produtores, especialmente no cenário próspero dos cafés especiais de Minas Gerais, demonstra o quão vital é a ciência no desenvolvimento e implementação de novas tecnologias para impulsionar a produtividade e a qualidade. A sensibilização da comunidade agrícola para a necessidade de uma abordagem científica é fundamental para a evolução sustentável da cadeia produtiva. Assim, este projeto é de grande valia não apenas para o ambiente acadêmico, mas também para a comunidade agrícola e, em última análise, para o Brasil como produtor de café.

6. Metodologia

Os experimentos serão realizados no Laboratório de Processos Fermentativos e Enzimáticos (LAPFE), Laboratório de Bioinformática e Análises Moleculares (LBAM), Laboratório de Internet das Coisas (IIoT), Laboratório de Tecnologias Urbanas e Rurais (LATUR) bem como nos Laboratórios Multiusuários da Universidade Federal de Uberlândia e nas propriedades rurais colaboradoras da região de Patos de Minas.

6.1 Área de cultivo e cultivares

Serão utilizados cultivares do café arábica (*Coffea arabica*) da região do Cerrado Mineiro. Serão avaliadas e selecionadas áreas para estudo em acordo com os proprietários colaboradores das propriedades rurais para cada cultivar. Um aparato para coleta de dados será instalado nas propriedades rurais selecionadas utilizando Internet das coisas para captação em tempo real de informações a respeito das condições ambientais e climáticas, posicionamento geográfico, imagens da planta e de processos, entre outros.

6.2 Caracterização do fruto e grão de cafés

No momento da colheita serão coletadas amostras de solo onde os pés de café estão plantados bem como amostra de frutos para análise da diversidade microbiana e características físico-químicas. Os frutos de café pós-colheita serão caracterizados quanto a umidade, teor de açúcares, proteínas, pectinas, fibras, compostos fenólicos e antioxidantes e minerais. A umidade, extrato seco, lipídeos, proteínas e cinzas dos grãos antes e ao final da fermentação serão determinados de acordo com a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990). A umidade e extrato seco serão determinados por secagem em estufa à 105°C até peso constante; o teor de lipídeos será determinado por extração em *soxhlet* com éter de petróleo; as proteínas serão quantificadas pelo método de *Kjeldahl*; as cinzas serão determinadas por incineração em mufla à 550°C; o teor de carboidratos será estimado pela diferença

entre o extrato seco e a soma das porcentagens de proteínas, lipídeos e cinzas. Os compostos fenólicos e antioxidantes serão determinados pelo método de *Folin ciocalteau*, após extração utilizando solução etanólica a capacidade antioxidante será determinada pelos métodos de ABTS e FRAP (BRZEZICHA et. al., 2021; MUNHOZ, et al., 2020).

6.3 Fermentação

A colheita dos grãos de café será realizada mecanicamente e os grãos serão selecionados e divididos para a realização dos processos fermentativos específicos. As fermentações serão realizadas com o café cereja em biorreatores em ambiente de temperatura controlada nas propriedades rurais selecionadas, em triplicata. No tempo zero (início do processo de fermentação) e a cada 12 horas um volume de café com aproximadamente 1000 g será retirado para análises posteriores.

Os processos fermentativos serão realizados com e sem controle de temperatura, com utilização de culturas iniciadoras e com microbiota natural do café, adicionado água ou em fermentação em estado sólido. Além disso, serão utilizados diferentes cultivares de *Coffea Arábica* nas condições de natural e cereja descascado.

O tempo e a temperatura dos processos fermentativos também serão estudados e monitorados por um dispositivo eletrônico (IoT) que permitirá relacionar todos os metabólitos encontrados no grão com as condições ambientais das fermentações.

Todos os cafés obtidos pelas fermentações serão comparados às testemunhas de mesmo café que foram do lavador direto para o processo de secagem.

Com a geração de todos os dados serão aplicadas técnicas de Inteligência Artificial para obter informações relevantes sobre qual processo de fermentação ideal para cada cultivar em cada propriedade rural. E ainda, ter um direcionamento de como proceder para obtenção dos cafés de alta qualidade, cafés especiais.

6.4 Secagem e Torra

O processo de secagem será estudado nas propriedades rurais selecionadas seguindo os procedimentos já utilizados pelos produtores, além de secadores mecânicos envolvendo técnicas inovadoras de manejo e de aquecimento de ar. Estudos da cinética de secagem serão realizados, através de medidas de umidade, as amostras serão pesadas e posteriormente encaminhadas para a determinação de umidade. A umidade das amostras será determinada por método gravimétrico em estufa de circulação de ar (Nova Ética, modelo 402-3N) na temperatura de 105°C por 24 horas.

Os perfis de torra (baixa, média e alta) serão obtidos em torrefadores comerciais para permitir que as notas sensoriais sejam percebidas, a partir dos resultados das pesquisas dos processos fermentativos e de secagem.

6.5 Determinação de açúcares, ácidos orgânicos e compostos voláteis

As amostras coletadas ao longo dos processos fermentativos, secagem e torra serão utilizadas para determinação de ácidos (málico, láctico, succínico, acético, cítrico), álcoois e açúcares (glicose, frutose e sacarose) por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), de acordo com EVANGELISTA e colaboradores (2014) e SILVA e colaboradores (2013). A detecção de compostos voláteis (ésteres, furaldeídos, piranos, pirróis, triazóis, tiofenos e compostos de enxofre) será feita por cromatografia gasosa. O preparo da amostra e as condições de análise seguirão a metodologia utilizada por RIBEIRO e colaboradores (2017).

6.6 Análise sensorial

Para as análises sensoriais de xícara, as amostras serão classificadas conforme os requisitos estabelecidos pelo Procololo de Prova de Cafés Especiais (Cupping Specialty Coffee protocols - SCA, 2020). Para a realização das análises sensoriais serão utilizados um painel de degustadores Q-Graders (Juízes treinados para julgar café) (SCA, 2021), havendo pelo menos 4 juízes. As amostras serão julgadas nos atributos sensoriais, bem como avaliadas as diferentes nuances, conforme a roda dos sabores (SCA, 2021).

Cada amostra será torrada em dois níveis de torra diferentes: baixa clara (#65) e média escura (#55) e provada cada nível de torra, de forma a aumentar a confiabilidade estatística da avaliação. As degustações serão às escuras, de forma que cada amostra possuirá um código, não havendo dicas de qual o processo foi submetido.

6.7 Análise da diversidade microbiana

Na extração do DNA metagenômico, O DNA total das amostras de solo, fruto e café fermentado nos diferentes tempos de coleta serão extraídos utilizando kit de extração comercial PowerSoil® DNA Isolation (MoBio®), de acordo com as orientações do fabricante. O processamento da amostra será individual de acordo com a natureza de cada uma e a quantidade utilizada para extração será de 0,3 g de amostra. A avaliação da integridade do DNA será realizada utilizando eletroforese em gel de agarose horizontal como descrito por SAMBROOK e colaboradores (1989). O gel de agarose com concentração de 1% será corrido em preparados com solução de TEB 0,5X em uma cuba eletroforética por uma hora a 100V. As amostras serão visualizadas sob luz ultravioleta em transiluminador ultravioleta. A quantificação do DNA será realizada utilizando medidas de absorvância na região do ultravioleta. A concentração e grau de pureza do DNA serão estimadas utilizando o aparelho espectrofotômetro NanoDrop™ 2000 (ThermoFisher Scientific, Waltham, Estados Unidos) para posterior sequenciamento. As absorvâncias serão determinadas nos comprimentos de onda 230, 260 e 280 nm e as razões de absorvância de A260/A280 e A260/A230 serão usadas para determinar a contaminação de proteína e de compostos polifenólicos.

Após a extração, o DNA metagenômico será submetido à amplificação da região V3-V4 do gene 16 S do gene ribossomal (rRNA) para identificação de bactérias e da região ITS para identificação de fungos. A amplificação será conduzida através da reação em cadeia da polimerase (PCR), utilizando os iniciadores 319F e 806R para bactérias e os iniciadores ITS1 e ITS2 para fungos (GARDES; BRUNS, 1993; SMITH; PEAY, 2014). Os fragmentos serão purificados e sequenciados usando o kit MiSeq Reagent Kit de acordo com as orientações sugeridas pelo fabricante na plataforma Illumina HiSeq.

6.8 Análise dos dados

Os dados resultantes do sequenciamento serão avaliados quanto à qualidade utilizando o software FastQC (ANDREWS, 2010). As sequencias brutas serão filtradas usando o Quantitative Insights Into Microbial Ecology QIIME (versão 1.8.0). O parâmetro erro esperado ($E_{max}= 0.5$) será utilizado para remover contigs de baixa qualidade no software USEARCH. As quimeras serão removidas usando como referência o banco de dados GOLD (Haas et al., 2011). Por meio do software R, utilizando o pacote DADA2 “Devisive Amplicon Denoising Algorithm” (versão 1.18.), as sequencias serão agrupadas em Amplicon sequence variant (ASV) (CALLAHAN et al., 2017). O banco de dados Silva versão 138 (<http://www.arb-silva.de>) será utilizado para afiliar a taxonomia. As análises de estatística e diversidade serão realizadas utilizando os programas R (version 4.0) e PAST (HAMMER et al., 2001), respectivamente. A tabela de ASV gerada será utilizada para análise de predição funcional no software FAPROTAX 1.1 (LOUCA et al., 2016). A comparação das médias dos índices de diversidade e das categorias funcionais será realizada no MiniTab® 17.1.0 (Minitab Inc., State College, Estados Unidos) por ANOVA seguida do teste de Tukey. Valores de p menores que 0,05 serão considerados estatisticamente significativos.

6.9 Sensoriamento IoT

A obtenção de dados de fatores pré e pós-colheita bem como dados climáticos serão efetuados utilizando conjunto de sensores baseados nas tecnologias IoT, para melhor integração com dispositivos de rede. Automatização e controle de diversos fatores de processamento permitem que cafés especiais sejam produzidos em grande quantidade e com reprodutibilidade em diferentes safras (Martinez et al., 2021). Assim, o uso de sensores de imagem para detecção de porcentagem de grãos verdes presentes na colheita em relação aos maduros poderá auxiliar o agricultor em tomadas de decisões como o melhor processamento pós-colheita. Caso se opte pela via de fermentação controlada, com auxílio de sensores de temperatura, imagem, pH e qualidade do ar, a finalização do processo e as condições físico-químicas e biológicas serão previsíveis na

obtenção de um café especial. No mesmo sentido, com uso de sensores de umidade, temperatura, luminosidade e imagens durante os processos de secagem em terreiro suspensos ou em diversos tipos de secadores mecânicos, propiciará segurança para a finalização do processo bem como controle e homogeneização das condições do processo. Os dados coletados pelos sensores serão diretamente enviados e armazenados em uma estrutura de computação em nuvem para depois serem processados junto com todas as outras informações geradas ao longo do trabalho.

6.10 Inteligência artificial

Uma vez que todos os dados dos processos anteriores tenham sido adquiridos e armazenados, técnicas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina serão empregadas no conjunto de dados com o intuito de desenvolvimento de modelos preditivos e de tomadas de decisões relacionadas à produção e qualidade do café.

Para isso, inicialmente, será realizada a análise e pré-processamento de dados. Nessa etapa, serão verificadas as distribuições dos dados (como o balanceamento das classes ou variáveis a serem preditas), verificado o impacto e necessidade de normalização e padronização dos dados e, para dados com alta dimensionalidade, verificado o impacto do uso de algoritmos de seleção de atributos, buscando reduzir tempo de processamento dos classificadores. Em seguida, será realizada a exploração de diversos algoritmos de classificação/regressão/clusterização, considerando as diversas abordagens da área de Aprendizado de Máquina, tais como algoritmos probabilísticos, matemáticos, neurais (biologicamente inspirados), baseados em árvores, e métodos ensembles, dentre outros. Por fim, se os dados contiverem instâncias de regiões/experimentos diferentes, as estratégias *leave one* região/experimento *out* ou *k-fold cross validation* serão utilizadas para verificar a generalização do preditor para cenários diferentes do utilizado no treinamento.

6.11 Divulgação científica

Para este projeto foram planejadas diversas ações de divulgação científica e de transferência tecnológica com público-alvo a comunidade cafeeira do Cerrado Mineiro:

- Seleção de congressos e eventos científicos/tecnológicos relevantes para submissão de trabalhos.

- Preparação e submissão de resumos e artigos para apresentações orais ou em pôsteres.

- Networking com outros pesquisadores e stakeholders no evento para promover colaborações.

- Publicação acadêmica de Artigos científicos em periódicos especializados. -

Participação/Apresentação em Congressos especializados

- Elaboração de um plano de comunicação estratégica para divulgar o Café Porandu.

- Elaboração de material promocional do Café Porandu.

- Criação e adequação de espaços para pesquisa, apresentação e degustação do Café Porandu na UFU.

7. Cronograma físico-financeiro

METAS	DESCRIÇÃO	Unidade de Medida	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total	Início	Fim
Meta 1	Coletar nas propriedades agrícolas selecionadas e no laboratório dados ambientais, microbiológicos, sensoriais, entre outros, para avaliar o impacto das diferentes condições na produção de café e na bebida na xícara.	Diárias	124	R\$ 320,00	R\$ 39.680,00	Mês 01	Mês 12
Meta 2	Realizar experimentos de campo nas propriedades agrícolas selecionadas, coletando amostras de solo e grãos de café em diferentes estágios da produção, incluindo o processo de fermentação, para análise físico-química e microbiológica.	Diárias	124	R\$ 320,00	R\$ 39.680,00	Mês 01	Mês 12
Meta 3	Criar e adequar espaços para pesquisa, apresentação e degustação do Café Porandu na UFU.	Espaços a serem adequados - Serviço terceiro - Móveis planejados	3	R\$ 12.000,00	R\$ 36.000,00	Mês 01	Mês 12
Meta 4	Apresentar trabalhos em congressos científicos/tecnológicos nacionais, com o objetivo de compartilhar conhecimento, promover a visibilidade das	Trabalhos apresentados	10	R\$ 960,00	R\$ 9.600,00	Mês 01	Mês 12

	pesquisas e estabelecer colaborações.						
Meta 5	Realizar ações de divulgação e criação de novas formas de apresentação do Café para promoção do Café Porandu.	Ações de divulgação e criação de novas formas de apresentação do Café	4	R\$ 11.887,40	R\$ 47.549,60	Mês 01	Mês 12
CUSTOS INDIRETOS	Serviços de terceiro pessoa Jurídica				R\$ 23.970,40		
VALOR TOTAL					R\$ 196.480,00		

8. Cronograma de desembolso

Dezembro de 2023 liberação de R\$ 196.480,00

9. Inovação Tecnológica

A tendência mundial atual prioriza a bioeconomia, que busca utilizar recursos biológicos de forma sustentável, otimizando a produção e minimizando o impacto ambiental. Nesse contexto, o presente projeto alinha-se perfeitamente ao impulsionar inovações na cadeia produtiva do café. O foco em pesquisas voltadas para a cafeicultura de especialidade, que tem uma demanda crescente, se enquadra no conceito de bioeconomia, onde cada etapa do processo é otimizada para maximizar a qualidade e minimizar o desperdício. Desenvolvimento para uma fermentação e secagem mais eficiente, ou a identificação de microrganismos selecionados, apontam para uma produção mais eficaz e eco-friendly. Com a análise de uma vasta quantidade de dados gerados, a implementação de métodos de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina possibilita a predição e otimização dos processos, ao prever resultados e ajustar métodos para melhor eficiência. Além de potencializar a produção, o projeto abre portas para novas frentes empreendedoras. A possibilidade de desenvolver processos direcionados para produtores, exportadores e consumidores transforma dados em ferramentas práticas, agregando valor a toda a cadeia produtiva. O estudo da microbiota durante a fermentação, aliado à Inteligência Artificial, pode revelar conexões inexploradas entre microrganismos e características sensoriais desejáveis do café. A identificação desses microrganismos como potenciais iniciadores fermentativos representa uma inovação com alto potencial comercial. Potenciais microrganismos, no futuro, ao serem comercializados como culturas iniciadoras, podem revolucionar a forma como o café é produzido, permitindo que os produtores atinjam perfis sensoriais específicos e consistentes, atendendo nichos de mercado específicos.

10. Conclusão

Este projeto não apenas aborda a necessidade imediata de inovações na produção de café, mas também se alinha às tendências globais de bioeconomia e empreendedorismo inovador. Ao aliar ciência, tecnologia e negócios, cria-se uma abordagem holística que beneficia produtores, consumidores e o meio ambiente, consolidando o Cerrado Mineiro como referência global na produção de cafés de alta qualidade.

11. Referências

ABIC. Exportação Brasileira de Café em Grãos. Disponível em: <<https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/exportacao-brasileira-de-cafe-em-graos-2/>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

BASTIAN, F., HUTABARAT, O. S., DIRPAN, A., NAINU, F., HARAPAN, H., EMRAN, T. BIN, & SIMAL-GANDARA, J. (2021). From Plantation to Cup: Changes in Bioactive Compounds during Coffee Processing. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 2827, 10(11), 2827. <https://doi.org/10.3390/foods10112827>

BRESSANI, A. P. P. et al. Co-inoculation of yeasts starters: A strategy to improve quality of low altitude Arabica coffee. *Food Chemistry*, v. 361, 2021.

BRIOSCHI JUNIOR, D., GUARÇONI, R. C., DA SILVA, M. DE C. S., VELOSO, T. G. R., KASUYA, M. C. M., OLIVEIRA, E. C. DA S., DA LUZ, J. M. R., MOREIRA, T. R., DEBONA, D. G., & PEREIRA, L. L. (2021). Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, 342(October 2020), 128296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296>

CARVALHO NETO, D. P. DE, PEREIRA, G. V. DE M., FINCO, A. M. O., LETTI, L. A. J., DA SILVA, B. J. G., VANDENBERGHE, L. P. S., & SOCCOL, C. R. (2018). Efficient coffee beans mucilage layer removal using lactic acid fermentation in a stirred-tank bioreactor: Kinetic, metabolic and sensorial studies. *Food Bioscience*, 26, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.10.005>

DA SILVA VALE, A. et al. Understanding the Effects of Self-Induced Anaerobic Fermentation on Coffee Beans Quality: Microbiological, Metabolic, and Sensory Studies. *Foods*, v. 12, n. 1, 1 jan. 2023.

EVANGELISTA, S. R., MIGUEL, M. G. DA C. P., CORDEIRO, C. DE S., SILVA, C. F., PINHEIRO, A. C. M., & SCHWAN, R. F. (2014). Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. *Food Microbiology*, 44, 87–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.013>

ELHALIS, H.; COX, J.; ZHAO, J. Coffee fermentation: Expedition from traditional to controlled process and perspectives for industrialization. *Applied Food Research Elsevier B.V.*, , 1 jun. 2023.

HUCH, M.; FRANZ, C. M. A. P. Coffee: Fermentation and microbiota. Em: Advances in Fermented Foods and Beverages: Improving Quality, Technologies and Health Benefits. Germany: Elsevier Ltd, 2015. p. 501–513.

LEE, L. W. et al. Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. Food Chemistry, v. 185, p. 182–191, 2015.

MARTINEZ, S. J. et al. Novel stainless steel tanks enhances coffee fermentation quality. Food Research International, v. 139, n. April 2020, p. 109921, 1 jan. 2021.

PEREIRA, G. V. DE M., VALE, A. DA S., CARVALHO NETO, D. P. DE, MUYNARSK, E. S., SOCCOL, V. T., & SOCCOL, C. R. (2020). Lactic acid bacteria: what coffee industry should know? Current Opinion in Food Science, 31, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.07.004>

PEREIRA, L. L. et al. Relationship Between Coffee Processing and Fermentation. Em: PEREIRA, L. L.; MOREIRA, T. R. (Eds.). Quality Determinants In Coffee Production. 1. ed. Venda Nova do Imigrante: Springer, Cham, 2021. p. 255–301.

RIBEIRO, L. S., RIBEIRO, D. E., EVANGELISTA, S. R., MIGUEL, M. G. DA C. P., PINHEIRO, A. C. M., BORÉM, F. M., & SCHWAN, R. F. (2017). Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. LWT - Food Science and Technology, 82, 32–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>