ANÁLISE QUÍMICA DE FRUTOS DE CLONES DE CACAU

Karolayne Estefany Santos de Oliveira Jesus[1], Soraya Maria Moreira de Souza[2], Khétrin Silva Maciel[1]

[1]Universidade Federal do Sul da Bahia/Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Rodovia Ilhéus/Itabuna - km 22, CEP: 45604-811, CEPEC/CEPLAC, Ilhéus - BA, Brasil, karolsantos@gfe.ufsb.edu.br, khetrinmaciel@ufsb.edu.br.
[2]Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC, Rodovia Ilhéus/Itabuna - km 22, CEP: 45604-811, CEPEC/CEPLAC, Ilhéus - BA, Brasil, soraya.souza@agro.gov.br

Resumo
A fermentação do cacau é um processo no qual o pH e a acidez titulável total (ATT) são fatores importantes. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações nesses parâmetros em três clones (CCN 51, PS 1319 e BN34) durante 96 horas de fermentação. Os dados foram analisados por meio de ANOVA e análise de regressão ($p \leq 0,05$). Todos os clones apresentaram alterações significativas na acidez e no pH ao longo do tempo. O clone CCN 51 destacou-se pela maior ATT acumulada ao final do processo (94,65%). O clone PS 1319 atingiu o maior pH final (4,15), acompanhado por uma ATT de 47,82% nas 48 h. O clone BN34 apresentou maior variação na acidez (13,83% a 31,05%) e menor ajuste nos modelos de regressão. Valores de $R^2 > 0,78$ para o pH confirmaram tendências específicas para cada clone. Os resultados indicam um processo de fermentação dinâmico em relação ao pH e à ATT. Conclui-se que o perfil ácido da polpa é fortemente influenciado pela genética do clone e pelo tempo de fermentação, sendo o pH e a ATT parâmetros eficazes para monitoramento do processo e seleção de materiais com características fermentativas diferenciadas.
Palavras-chave: *Theobroma cacao*. Fermentação. Controle de qualidade. Processamento pós-colheita.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias - Engenharia Agrícola.

Introdução

O cacaueiro (*Theobroma cacao L.*) é uma planta originária das florestas quentes e úmidas do México, América Central e América do Sul, com a sociedade mesoamericana cultivando o cacau há mais de 3500 anos (John *et al*., 2016). As amêndoas são os principais constituintes dos chocolates e outros produtos de cacau por meio de um processo complexo envolvendo fermentação, secagem e torrefação (Caligioni *et al*., 2016). Após a colheita e quebra dos frutos, o cacau é submetido ao processo de fermentação que dura cerca de 5 dias. Essa etapa ocorre tradicionalmente em estruturas de madeira conhecidas como cochos.

Durante a fermentação, a quantidade de polpa aderida às sementes desempenha um papel importante, pois os microrganismos atuam na quebra dos açúcares existentes na polpa, produzindo álcool e ácido acético. Essas reações que ocorrem especialmente nas primeiras horas da fermentação, levam à inativação do embrião da semente e conferem ao chocolate seu sabor característico (Schwan; Wheals, 2004).

O cacaueiro é classificado em três variedades (Criollo, Forastero e Trinitário), com a maioria do cacau comercializado mundialmente do tipo Forastero e o tipo Trinitário resulta da hibridização entre Forastero e Criollo. A introdução de novos cultivares na cultura cacaueira pode ser uma alternativa para a problemática referente à baixa produção e alta incidência de doenças.

Visando contribuir com o programa brasileiro de melhoramento genético do cacau com clones do estado da Bahia resistentes à doença vassoura-de-bruxa, objetiva-se avaliar a caracterização química de frutos de três clones de cacau durante a fermentação visando incrementar a qualidade e aumentar a agregação de valor ao cacau brasileiro.

Metodologia

Os frutos de cacau foram obtidos de populações dos clones PS 1319, CCN 51 e BN34, cultivados na Fazenda de Produção de Sementes e Mudas da CEPLAC/CEPEC, em Ilhéus, Bahia.

Foram colhidos aleatoriamente 60 frutos por clone no ponto de maturação, em blocos, totalizando 180 frutos. Os frutos foram colhidos aleatoriamente em uma população de 100 plantas.

Após colhidos, os frutos foram separados manualmente da casca e da placenta, colocados para fermentar em cochos de madeira de 40 x 40 x 40 cm, utilizando 3 repetições para cada clone.

A fase de fermentação e secagem foi realizada na Fábrica de Chocolates da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira/Centro de Pesquisas do Cacau (CEPLAC/CEPEC), no município de Ilhéus-BA.

Durante o processo de fermentação, a temperatura da massa foi mensurada diariamente em diferentes níveis do leito (superfície, meio e fundo), sendo calculada a média dessas medidas para obter o resultado. Estas medidas foram realizadas no período da manhã (Tm- às 7h) e no período da tarde (às 15h), antes (Ta) e após o revolvimento (Td). Vale ressaltar que a Td foi mensurada apenas a partir do segundo dia de fermentação, visto que o revolvimento iniciou 48 horas após o começo do processo.

Foram caracterizadas quimicamente as amêndoas dos três clones nos tempos de fermentação: 0, 24, 48, 72 e 96 horas.

Após a fermentação, as amêndoas foram secas ao sol em um sistema de secagem natural, utilizando uma superfície de madeira denominada barcaça. O processo de secagem foi monitorado até que as amêndoas atingissem um teor de umidade de aproximadamente 10%.

As análises químicas foram conduzidas seguindo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008), adaptadas.

O pH da amostra (polpa) foi mensurado com um pHmetro em um titulador automático, após a preparação de um extrato. A acidez total titulável foi determinada por titulação com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N até um pH final de 8,10, e o resultado foi expresso em percentual de ácido cítrico.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de resíduos e à análise de variância, e quando o valor de F foi significativo em nível de 5%, realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey. Para o efeito dos tempos de fermentação, os dados foram submetidos à análise de regressão e, para o ajuste das equações ($\hat{Y}$=) foi utilizado como critério a significância dos betas ($p \leq 0,05$). Para todas as análises foi utilizado o programa estatístico R, empregando-se o pacote ExpDes (R Core Team, 2021).

Resultados

A Tabela 1 apresenta a média da temperatura da massa de três clones de cacaus durante o período de fermentação. Houve aumento da temperatura de acordo com o tempo de fermentação.

Tabela 1 - Média da temperatura (ºC) da massa de três clones de cacaus mensurada durante 0, 24, 48, 72 e 96 horas de fermentação em diferentes níveis do leito (superfície, meio e fundo).

Clones	Tempo de fermentação (horas)				
	0	**24**	**48**	**72**	**96**
CCN51	27,7	30,1	35,6	45,2	45,6
PS1319	28,0	30,3	35,8	45,8	45,2
BN34	27,5	27,8	32,3	44,6	43,3

Fonte: elaborado pelos próprios autores (2026).

A análise química da polpa durante a fermentação foi realizada em um delineamento fatorial, avaliando a interação entre os fatores clone e tempo de fermentação.

Nos dados de pH e acidez da polpa detalhados na Tabela 2, é visível que o pH aumenta gradualmente no final da fermentação. O clone CCN 51, no entanto, apresentou um aumento contínuo da acidez atingindo o pico em 96 h, indicando uma fermentação mais intensa neste período específico.

Os modelos de regressão obtidos para o pH apresentaram um elevado grau de ajuste (valores de R^2 variando de 0,78 a 0,94), demonstrando uma tendência bem definida para esse parâmetro nos três clones. Em relação à ATT, os clones CCN 51 e PS 1319 apresentaram ajustes satisfatórios (R^2 de 0,75

e 0,73, respectivamente), enquanto o clone BN34 apresentou um R^2 de 0,45, refletindo maior variabilidade e imprevisibilidade em seu perfil de acidez ao longo do tempo.

Tabela 2 - pH da polpa e acidez total da polpa de clones de cacaus em diferentes tempos de fermentação.

Clones	Tempos de fermentação (horas)					Equação de regressão	R^2
	0	24	48	72	96		
pH da polpa							
CCN51	3,49 c[(1)]	3,55 a	3,45 b	3,85 b	3,88 b	$3,48^{**} - 0,01^{**}x + 0,01^{**}x^2$	0,78
PS1319	3,84 a	3,35 c	3,36 c	3,76 c	4,15 a	$3,79^{**} - 0,02^{**}x - 0,01^{**}x^2$	0,94
BN34	3,64 b	3,43 b	3,81 a	3,93 a	4,11 a	$3,56^{**} - 0,01^{*}x + 0,01^{**}x^2$	0,83
CV(%) = 1,28							
Clones	Tempos de fermentação (horas)					Equação de regressão	R^2
	0	24	48	72	96		
Acidez total da polpa (%)							
CCN51	30,32 a	25,91 a	85,35 a	69,81 a	94,65 a	$24,34^{**} + 0,91^{**}x - 0,01^{**}x^2$	0,75
PS1319	13,48 c	22,70 b	47,82 b	28,53 c	17,49 c	$11,10^{**} + 1,07^{**}x - 0,01^{**}x^2$	0,73
BN34	25,2 b	25,25 a	13,83 c	31,05 b	31,00 b	$25,85^{**} - 0,27^{*}x + 0,01^{**}x^2$	0,45
CV(%) = 4,01							

Fonte: elaborado pelos próprios autores (2026).

Discussão

O aumento da temperatura observado durante a fermentação, atingindo valores acima de 43 °C às 96 h em todos os clones, evidencia a intensa atividade metabólica microbiana envolvida no processo. De acordo com Schwan e Wheals (2004), a temperatura é um dos fatores principais que influenciam o pH do grão e a dinâmica da fermentação. A literatura descreve que a fermentação do cacau ocorre em duas fases principais: uma primeira fase anaeróbica com temperatura ambiente até 40 °C, onde ocorre a solubilização de proteínas nos vacúolos do cotilédone, e uma segunda fase aeróbica, onde a temperatura atinge 45-50 °C e as células do grão morrem (Schwan; Wheals, 2004). Esta elevação térmica é fundamental para a inativação do embrião e para a ativação de enzimas proteolíticas que atuam na formação de compostos precursores (Schwan; Wheals, 2004).

Simultaneamente, os dados de pH e acidez total titulável (ATT) revelam comportamentos distintos entre os materiais genéticos avaliados. O clone CCN 51 destacou-se por apresentar os maiores valores de ATT durante e ao final do processo (atingindo 94,65% às 96 h). Pesquisas mostram que o clone CCN-51 apresenta altos teores de acidez (0,51%) em sua composição (Santos *et al*., 2024), corroborando os achados deste estudo. Este comportamento pode estar associado à maior disponibilidade de substratos para a fermentação ou a uma dinâmica microbiana específica que favorece a produção e acúmulo de ácidos orgânicos.

O ácido acético, originado da atividade microbiana durante a fermentação, é considerado o principal ácido livre volátil presente no grão fermentado, enquanto os ácidos cítrico, lático e fosfórico são os principais ácidos não voláteis (Jinap; Dimick, 1990). O ácido cítrico é inerente ao grão de cacau, enquanto o ácido lático e o ácido acético são produzidos pela atividade microbiana (Lopez, 1983). Esta diferenciação ajuda a compreender os perfis distintos de acidez observados entre os clones.

Por outro lado, o clone PS 1319 alcançou o maior pH final (4,15) e apresentou um perfil de acidez com pico às 48h (47,82%), seguido por uma redução significativa. Estudos com clones de cacau indicam que o pH e a acidez titulável variam significativamente durante o processo de fermentação (Torres Segura; Minchán-Velayarce; Pasapera-Campos, 2024). Pesquisadores observaram que diferentes genótipos apresentam comportamentos distintos para estes parâmetros ao longo do tempo (Silva *et al.,* 2025), sendo a genética do clone um fator determinante no perfil químico final. A literatura confirma que as características químicas do grão de cacau dependem principalmente do material genético, fatores edafoclimáticos e processos de pós-colheita, como a fermentação (Pereira *et al*., 2012).

O clone BN34 apresentou maior variabilidade e menor ajuste nos modelos de regressão para ATT (R^2 = 0,45). Estudos sobre a influência do local de cultivo nas características químicas de clones de cacau na região da Bahia demonstram que as variáveis químicas mais suscetíveis à influência ambiental são o pH e a acidez global dos grãos com mucilagem, bem como o pH, acidez global e taxa de pigmentos dos grãos fermentados (Silva *et al*., 2012). Estes fatores ambientais podem ter contribuído para a maior variabilidade observada no clone BN34.

Os elevados coeficientes de determinação obtidos para o pH (R^2 entre 0,78 e 0,94) demonstram que este parâmetro segue uma tendência bem definida. Pesquisas indicam que o pH é fundamental para direcionar a sucessão microbiana durante a fermentação: o processo começa com um pH de cerca de 6, que favorece leveduras e bactérias láticas, e depois cai para pH 4,5, que favorece as bactérias acéticas (Schwan; Wheals, 2004). Além disso, o pH ativa as proteases endógenas e as polifenoloxidases; um pH abaixo do ideal leva a uma atividade enzimática deficiente e à produção insuficiente de compostos precursores (Schwan; Wheals, 2004). "A queda lenta ou muito rápida do pH distorce o curso temporal da fermentação para a qualidade ideal do grão, resultando em superprodução de ácido acético ou lático" (Jinap; Danker, 1993, p. 140).

Os resultados confirmam que a genética clonal modula diretamente a dinâmica da fermentação e o perfil químico dos frutos. Estudos realizados no semiárido brasileiro concluíram que os clones CCN 51 e CEPEC 2005 são os mais indicados para o processo de fermentação do cacau (Maia *et al*., 2021), corroborando a aptidão do CCN 51 observada neste trabalho. A caracterização química de clones produzidos em diferentes regiões é necessária para ampliar a base de dados sobre os materiais implantados e, assim, subsidiar a seleção de genótipos com perfis fermentativos mais adequados a diferentes finalidades (Caligioni*et al.,* 2016).

Conclusão

A fermentação alterou significativamente o perfil químico da polpa dos clones CCN 51, PS 1319 e BN34, com variações marcantes de temperatura, pH e acidez total titulável ao longo de 96 horas.

O perfil ácido da polpa é fortemente influenciado tanto pelo tempo de fermentação quanto pela genética do clone. O pH e a ATT mostraram-se indicadores práticos e eficazes para o monitoramento do processo fermentativo.

A heterogeneidade no comportamento fermentativo entre os três materiais reforça a necessidade de considerar as características pós-colheita individuais dos clones nos programas de melhoramento genético do cacaueiro, visando a otimização da qualidade do produto final.

Referências

CALIGIONI, A. *et al.*Influence of fermentation conditions on the chemical composition of cacao beans. **Food Chemistry**, v. 201, p. 233-240, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JINAP, S.; DANKER, R. M. Effect of clone and temperature on acetic acid diffusion and death of cocoa beans. **ASEAN Food Journal**, v. 8, n. 4, p. 139-144, 1993.

JINAP, S.; DIMICK, P. S. Acidic Characteristics of Fermented and Dried Cocoa Beans from Different Countries of Origin. **Journalof Food Science**, v. 55, p. 547-550, 1990.

JOHN, A. *et al.* History and domestication of *Theobroma cacao* L. **Economic Botany**, v. 70, n. 2, p. 145-158, 2016.

LOPEZ, A. S. F. Factors associated with cacao bean acidity and the possibility of its reduction by improved fermentation. **Theobroma**, v. 13, p. 233-248, 1983.

MAIA, M. S. *et al.* Quality variables for technological application of cocoa clones from the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 419-426, 2021.

PEREIRA, G. V. *et al.* Microbiological and physicochemical characterization of small-scale cocoa fermentations and screening of yeast and bacterial strains to develop a defined starter culture. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 15, p. 5395-5405, 2012.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing.**R Foundation for StatisticalComputing, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: https://www.R-project.org/.

SANTOS, A. S. dos; SANTOS, F. S. dos; SOUZA, E. C. de; et al. Chemical composition and functional properties of cocoa (Theobroma cacao L.) clones. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 35, n. 5, e-20240007, 2024.

SCHWAN, R. F.; WHEALS, A. E. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 205-221, 2004.

SILVA, E. C. da; ALMEIDA, R. N. de; SANTOS, C. C. dos; et al. **Caracterização das sementes de variedades de cacau *Theobroma cacao* L. resistentes à vassoura-de-bruxa durante a fermentação e após a secagem**. Dissertação (Mestrado em Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SILVA, L. C. M. *et al.* Elite Cacao Clonal Cultivars with Diverse Genetic Structure, High Potential of Production, and Good Organoleptic Quality Are Helping to Rebuild the Cocoa Industry in Brazil. **Plants**, v. 14, n. 7, 1093, 2025.

TORRES SEGURA, D.; MINCHÁN-VELAYARCE, H. H.; PASAPERA-CAMPOS, S. E. Effect of varieties/clones and fermentation time on the sensory quality of cup chocolate. **Pakamuros**, v. 12, n. 2, p. 73-84, 2024.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa de Iniciação Científica concedida, fundamental para a execução deste trabalho. Agradecem também à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pelo suporte institucional e por ceder a infraestrutura necessária para a pesquisa, com um agradecimento especial à Sra. Soraya Scofield, funcionária da CEPLAC, pela dedicação na realização das análises químicas. Por fim, expressam sua gratidão à Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) pelo apoio e pela orientação acadêmica.