

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E TECNOLOGIA
CURSO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



SARA CAROLINE PACHECO DE OLIVEIRA
THALIA DE OLIVEIRA FERREIRA

**PREDIÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE TUCUPI AMARELO
UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO
(NIRS).**

BELÉM
2020

SARA CAROLINE PACHECO DE OLIVEIRA

THALIA DE OLIVEIRA FERREIRA

Predição de parâmetros físico-químicos de tucupi amarelo utilizando espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção de grau de Tecnóloga em Alimentos da Universidade do Estado do Pará.

Orientador: Prof^o. *M. Sc.* Darly Rodrigues Pompeu.

Data de aprovação: ___/___/ 2020.

Banca examinadora:

_____ Orientador

Prof^o. *M. Sc.* Darly Rodrigues Pompeu

M. Sc. em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade do Estado do Pará

_____ - Membro

Prof^o. Dr. Tonye Gil Matos Waughon

Dr. em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade do Estado do Pará

_____ - Membro

Dra. Mayara Galvão Martins

Dra. em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade Federal do Pará

BELÉM

2020

“Grandes coisas não se fazem por impulso, mas
pela junção de uma série de pequenas coisas.”
(Vincent Van Gogh).

AGRADECIMENTOS SARA

Agradeço a Deus por me iluminar e permitir concluir mais uma etapa em minha vida. Agradeço a minha família, base fundamental, em especial meus pais Edinalva Pacheco e Benedito Oliveira, minha irmã Mirian Kelly e minhas irmãs de alma Ana Livia e Dara Brito pela força, confiança, apoio e incentivo em mim depositados para a conclusão desta etapa e por estarem presente em todos os momentos, eu amo vocês.

Agradeço ao meu orientador Prof^o. *M. Sc.* Darly Pompeu por ter me apresentado essa temática e me proporcionado estruturas para realização deste projeto. Agradeço pela paciência, pela orientação científica e incentivo, além da oportunidade de aprendizado.

Agradeço ao Prof^o. Dr. Rosinelson Pena que proporcionou estágio no Laboratório de Fontes Amiláceas (LAFAMI) na Universidade Federal do Pará (UFPA) que permitiu com que as análises fossem realizadas. Agradeço ao Carlos Henrique que foi voluntário da pesquisa realizada e auxiliou em algumas análises.

Agradeço a minha dupla Thalia Ferreira pela amizade, ajuda em laboratório e toda paciência durante as etapas dessa pesquisa. Agradeço em especial minha voluntária e amiga Vitória Carvalho que auxiliou nas análises de forma assídua, pela ajuda, disponibilidade e por todo companheirismo. Agradeço também a todos os feirantes que de forma indireta contribuíram para a execução deste projeto.

Agradeço à Universidade do Estado do Pará (UEPA) que me permitiu ter acesso a portas fundamentais para o meu trajeto acadêmico, e agradeço especialmente minha Prof. Dra. Alessandra Eluan pela amizade, apoio e todo o suporte fornecido durante a graduação, principalmente por todo incentivo e paciência nas instruções para publicações de artigos acadêmicos desde o início do curso até as etapas finais, sou muito grata pela sua vida e espero ser uma profissional tão dedicada quanto você.

Por fim, agradeço a todos que convivi durante esses anos, em especial minhas amigas de graduação Amanda Lima, Ester de Freitas, Clara Pimentel, Marcelly Monteiro e Regiane Ramos. E minhas amigas Aline Castro, Camila Luz, Thaís Sousa, Jordana Santos e Ynara Fonseca que sempre me apoiaram. Todos estão guardados em minha memória, sou eternamente grata a vocês. Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS THALIA

Gostaria de agradecer a Deus por me ajudar a reerguer todas as vezes que fracassei durante esta graduação, fazendo com que ultrapassasse as dificuldades até aqui.

Aos meus pais, Lídia Ferreira e Francisco Ferreira por todo apoio dado. Vocês são incríveis e os amo demais.

Aos meus amigos da vida André Lucas, Alexa Mamédio, Tayane Caroline e Allec Mendonça pelo acolhimento, pelas palavras e por sempre me encorajarem nos momentos difíceis. A vida foi muito boa quando colocou cada um em meu caminho.

As minhas meninas tóxicas e companheiras de trabalho Ester Freitas, Vitória Carvalho, Regiane Ramos, Clara Pimentel, Marcelly Monteiro e Amanda Lima por terem feito esta trajetória um fardo mais leve. Iluminaram essa fase da minha vida de forma ímpar.

A minha dupla, Sara Caroline, por tanto. Foi a pessoa que esteve comigo desde o primeiro momento dentro da UEPA e hoje chegamos ao fim desse ciclo juntas também. Muito obrigada pela tua paciência, por não desistir de mim e me apoiar tanto, tu mereces o mundo.

A todos os professores, mesmo os que me reprovaram, por todo ensinamento e conhecimento atribuído. Mirla, você foi meu maior trauma, mas hoje sei operações unitárias de uma forma que consigo até ensinar, então muito obrigada, eu acho.

Ao laboratório de Engenharia de Alimentos – UFPA, em especial o Laboratório de Fontes Amiláceas (LAFAMI), por abrir as portas do seu espaço fazendo com que fosse possível a realização desse projeto.

E por fim, mas não menos importante, ao nosso orientador Prof^o. *M. Sc.* Darly Pompeu, por ter nos acolhido e orientado fazendo com que aprendêssemos tanto.

RESUMO

OLIVEIRA, S.C.P.; FERREIRA, T.O. **Predição de parâmetros físico-químicos de tucupi amarelo utilizando espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS)**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2020.

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma raiz tuberosa da família das euforbiáceas, com originalidade da América do Sul e de fácil adaptação sobretudo em clima das regiões tropicais. A partir dela é obtido os mais diversos produtos, dentre estes: o tucupi. O tucupi é utilizado como principal ingrediente de inúmeras preparações na culinária paraense. Por não haver uma preocupação referente à procedência, neste trabalho fez-se a análise de amostras de tucupi amarelo a fim de avaliar sua qualidade e a possibilidade de predição de seus parâmetros físico-químicos utilizando-se a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS). Para isso, analisou-se 65 amostras em 10 bairros diferentes da região metropolitana de Belém – PA, obtendo valores médios de acidez titulável expressa em ácido láctico ($0,64 \pm 0,23$ g/100 mL), açúcares totais ($0,44 \pm 0,46$ g/100 g), amido total ($1,41 \pm 0,81$ g/100 g), peso específico ($0,92 \pm 0,01$ g/100 g), pH ($3,80 \pm 0,30$), SST ($3,82 \pm 0,77$ °Brix) e parâmetros cromáticos de L^* ($49,06 \pm 7,33$), a^* ($-5,24 \pm 2,77$), b^* ($33,69 \pm 14,89$), h° ($99,43 \pm 4,38$) e C^* ($34,39 \pm 14,99$). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguido de teste de comparação de Tukey. Verificou-se também possíveis correlações entre os parâmetros investigados através da determinação do coeficiente de Pearson (r), o que resultou na comparação dos resultados entre Feiras \times Supermercados (F \times S), Feiras \times Feiras (F \times F) e Supermercados \times Supermercados (S \times S). Logo, de modo geral as amostras pouco se diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) principalmente para os parâmetros de acidez, pH, SST e peso específico, assim como para os parâmetros colorimétricos a^* , b^* e H° . Todavia apesar de ambos estabelecimentos apresentarem irregularidades, as amostras obtidas em feiras se destacaram nos parâmetros de açúcares totais e amido total e nos parâmetros cromáticos L^* e C^* . Utilizou-se o espectro NIR para predições dos parâmetros físico-químicos, utilizando-se a técnica dos mínimos quadrados parciais (PLS), onde os resultados obtidos para calibração e validação cruzada preditivos foram considerados insatisfatórios para obter os valores predição em amostras de tucupi ($R^2 > 0,800$) e ($RPD > 2,0$).

Palavra Chave: *Manihot esculenta*; Tucupi; Espectroscopia no Infravermelho Próximo; Análise de Variância; Correlação; Predição.

ABSTRACT

OLIVEIRA, S.C.P.; FERREIRA, T.O. **Prediction of physicochemical parameters of yellow tucupi using near infrared spectroscopy (NIRS)**. 2020. Course Conclusion Paper (Graduation in Food Technology) – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2020.

Cassava (*Manihot esculenta*) is a tuberous root of the euphorbia family, with originality from South America and easy to adapt mainly in tropical regions. From it the most diverse products are obtained, among them: the tucupi. Tucupi is used as a main ingredient in the preparations of paraense cuisine. As there is no concern about the provenance, in this work an analysis of the yellow tucupi was carried out to assess its quality and the possibility of predicting its physical-chemical parameters by means of near infrared spectroscopy (NIRS). For this purpose, 65 were analyzed in 10 different neighborhoods in the metropolitan region of Belém – PA, obtaining average values of titratable acidity expressed in lactic acid (0.64 ± 0.23 g / 100 mL), total sugars (0.44 ± 0.46 g / 100 g), total starch (1.41 ± 0.81 g / 100 g), specific weight (0.92 ± 0.01 g / 100 g), pH (3.80 ± 0.30), SST (3.82 ± 0.77 ° Brix) and chromatic parameters of L* (49.06 ± 7.33), a* (-5.24 ± 2.77), b* (33.69 ± 14.89), h° (99.43 ± 4.38) and C* (34.39 ± 14.99). The results obtained were submitted to variation analysis (ANOVA) followed by Tukey's comparative test. It was also possible to make correlations between the investigated parameters by determining the Pearson coefficient (r), which resulted in the comparison of results between Fairs × Supermarkets (F × S), Fairs × Fairs (F × F) and Supermarkets × Supermarkets (S × S). Therefore, in general the samples differed little statistically ($P < 0.05$) mainly for the parameters of acidity, pH, SST and specific weight, as well as for the colorimetric parameters a *, b * and H°. However, despite both establishments presenting irregularities, the samples obtained at fairs stood out in the parameters of total sugars and total starch and in the chromatic parameters L * and C *. The NIR spectrum was used for predictions of physical-chemical parameters, using the technique of partial least squares (PLS), where the results obtained for predictive calibration and cross-validation were considered unsatisfactory for obtaining the prediction values in tucupi samples ($R^2 > 0.800$) and ($RPD > 2.0$).

Keywords: Tucupi; Near Infrared Spectroscopy; Analysis of Variance; Correlation; Prediction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Belém com a localização das feiras e supermercados visitados. ...	26
Figura 2. Acondicionamento de amostras em recipiente plástico (a) e armazenamento em DBO (b).....	26
Figura 3. Espectro NIR para as (n=65) amostras de tucupi.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos espectroscópicos utilizados com base na radiação eletromagnética.	20
Tabela 2. Codificação de feiras e supermercados.....	26
Tabela 3. Características físico-químicas das amostras de tucupi.....	30
Tabela 4. Análise colorimétrica das amostras de tucupi.....	32
Tabela 5. Comparação das propriedades físico-químicas e colorimétricas entre as amostras obtidas em feiras e supermercados (F × S).	34
Tabela 6. Comparação das propriedades físico-químicas e colorimétricas entre as amostras obtidas em feiras (F × F).	36
Tabela 7. Comparação das propriedades físico-químicas e colorimétricas entre as amostras obtidas em supermercados (S × S).	40
Tabela 8. Predição dos parâmetros de acidez titulável, açúcares totais, amido total, peso específico, pH, SST e parâmetros cromáticos (L*, a*, b*, h° e C*) por PLS-NIR em tucupi amarelo.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEPARÁ	- Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará
ANOVA	- Análise de Variância
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	- Association of Official Analytical Chemists
CCNT	- Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
CIE	- Comissão Internacional de “L’Eclairage”
CLS	- Calibração Multivariada por Mínimos Quadrados Clássicos
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DP	- Desvio Padrão
FAO	- Organização das Nações Unidas
FIR	- Infravermelho distante
IAL	- Instituto Adolfo Lutz
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILS	- Quadrados mínimos inverso
IUPAC	- União Internacional de Química Pura e Aplicada.
IV	- Infravermelho
LD	- Limite de detecção
LQ	- Limite de quantificação
MIR	- Infravermelho médio

MLR	- Regressão linear múltipla
MSC	- Correção de Espalhamento Multiplicativo
NIR	- Infravermelho próximo
NIRS	- Espectroscopia no infravermelho próximo
PCR	- Regressão por componentes principais
PLS	- Regressão por quadrados mínimos parciais
RBC	- Rede Brasileira de Calibração
RMSE	- Erro de raiz quadrada média
RMSEC	- Raiz quadrada do erro quadrático médio de calibração
RMSECV	- Raiz quadrada do erro quadrático médio de validação cruzada
RPD	- Desvio padrão relativo
SNV	- Padronização Normal de Sinal
SST	- Sólidos Solúveis Totais
UEPA	- Universidade do Estado do Pará

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 MANDIOCA	17
3.2 TUCUPI.....	18
3.3 ESPECTROSCOPIA	19
3.3.1 Espectroscopia no infravermelho	20
3.3.2 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS)	21
3.4 QUIMIOMETRIA	22
3.4.1 Regressões por mínimos quadrados parciais (PLS)	23
3.4.2 Utilização da NIRS para predição de alimentos.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. COLETAS DE AMOSTRAS	25
4.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	27
4.3. AQUISIÇÃO DOS ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.....	27
4.5. CALIBRAÇÃO MULTIVARIADA NA CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO DE VALIDAÇÃO.....	28

4.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA	29
5.1.1 Análise colorimétrica.....	32
5.1.2 Comparação entre proveniências.....	34
5.2 PREDIÇÃO DOS FÍSICO-QUÍMICOS DO TUCUPI AMARELO ATRAVÉS DOS ESPECTROS NIRS	41
6. CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma raiz tuberosa da família das euforbiáceas, com originalidade da América do Sul. É utilizada na fabricação de diversos produtos, como a farinha de mandioca, por exemplo, e apresenta fácil adaptação principalmente em clima das regiões tropicais (XAVIER, 2020). Ela é seu principal produto na Região Norte do Brasil, cada 408 g de mandioca apresenta em sua composição carboidratos (155,28 g), elevado teor de amido (6,94 g), fibras (7,3 g) e alguns minerais como o potássio (1106 mg), sódio (57mg), ferro (1,1 mg) e cálcio (65 mg) (DÓSEA et al., 2010; PONTES, 2012; TABNUT, 2020).

No Pará, existe uma variedade de pequenas agroindústrias de beneficiamento da mandioca que exercem um papel primordial no desenvolvimento do estado através da produção de farinha e demais derivados da mandioca, entre eles o tucupi (PARANÁ, 2016).

A Instrução Normativa da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará (ADEPARA) nº1 de 24 de junho de 2008, define o tucupi como “um produto e/ou subproduto obtido a partir da raiz da mandioca e suas variedades por processo tecnológico adequado, utilizado na culinária” (ADEPARA, 2008). O tucupi é utilizado como principal ingrediente de inúmeras preparações no Estado do Pará.

São inúmeras as casas artesanais responsáveis pela produção de tucupi na região Norte e cada uma delas apresenta suas particularidades no que tange a produção do tucupi. Algumas apresentam modo de preparo baseado em conhecimentos familiares – que apesar de atribuírem características peculiares ao produto – podem oferecer riscos à saúde do consumidor quando não realizada de acordo com as normas estabelecidas pela ADEPARÁ (ABREU e MATTIETTO, 2016; SENA, 2019).

O tucupi comercializado na região metropolitana de Belém é oriundo das casas de farinha do interior do estado que apesar de apresentarem especificidades no seu modo de produção, necessitam seguir o padrão estabelecido pela legislação vigente que garante a qualidade do produto, onde são determinadas características voltadas às suas propriedades organolépticas, sensoriais e de qualidade, o que favorece o consumidor no momento da compra. Contudo, apesar de toda inspeção, o tucupi ainda sofre alterações por adição de componentes que alteram sua qualidade final, tornando-o por vezes mais

ácido do que se deve ser, o que muda a aparência e sabor do produto (ABREU e MATTIETTO, 2016).

Desta forma, fez-se necessário o uso de técnicas eficazes para a determinação de qualidade, assim como predição dos parâmetros físico-químicos do tucupi amarelo. Nesse contexto, a espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS), técnica não destrutiva, infere vantagens pois além de ter um baixo custo relativo, através dela pode-se realizar a determinação de vários parâmetros sem necessidade de tratamento da amostra e com rapidez na obtenção de resultados.

A quimiometria é um método que permite atender a necessidade de extrair informações transparentes de forma rápida, eficiente e vasta dentro de uma única medida. Para o monitoramento da qualidade dos alimentos entre os modelos mais utilizados pode-se citar a regressão por quadrados mínimos parciais (PLS). A partir de então os coeficientes obtidos para o modelo devem ser validados por meio da análise dos resultados de predição do modelo para as amostras do conjunto de validação, dessa forma a diferença entre os valores referências e predominados no conjunto de validação podem ser avaliados pelo índice de erro ou figura de mérito que considera os intervalos de confiança dos dados para estabelecer a precisão, exatidão, robustez e os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) do método (ALANDER et al., 2013; SOARES, 2020).

O tucupi tem sido objeto de estudo em diversos parâmetros e aplicações como: comportamento reológico (COSTA et al., 2019), condimento de tucupi em pó (COSTA et al., 2018) e pasta cremosa de tucupi (PENA et al., 2017), porém pouco se encontra literaturas atuais a respeito da composição físico-química do tucupi e nenhuma ligada à predição através da utilização da espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS).

Sabendo-se da importância da qualidade alimentar, o presente trabalho realizou análises físico-químicas, colorimétricas e de espectroscopia no infravermelho próximo em amostras de tucupis amarelo para avaliar sua qualidade bem como tentar fazer predições destes parâmetros.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Quantificar os parâmetros físico-químicos em amostras de tucupi amarelo produzidas e comercializadas na Região Metropolitana de Belém-PA bem como a predição destes parâmetros através da utilização da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo e análises multivariadas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Coletar amostras de tucupi amarelo em dez diferentes bairros da Área Metropolitana de Belém;
- 2) Quantificar os parâmetros físico-químicos de: acidez titulável, açúcares totais, amido total, parâmetros cromáticos de L*, a*, b*, h° e C*, peso específico, pH e sólidos solúveis totais (°Brix);
- 3) Verificar possíveis correlações entre os parâmetros físico-químicos investigados;
- 4) Verificar possíveis diferenças em amostras coletas em feiras e supermercados;
- 5) Realizar leituras na região espectral do infravermelho próximo;
- 6) Correlacionar os parâmetros físico-químicos com as medidas NIRS.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 MANDIOCA

A mandioca (*M. esculenta*) é uma das culturas mais imprescindíveis do cenário agrícola brasileiro de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (SIDRA, 2019) e se destaca dentre as plantas cultivadas, por se tratar de uma fonte significativa de polissacarídeo e apresenta base alimentar para mais de 800 milhões de pessoas (CLÉMENT et al., 2010).

A planta é um tubérculo que contém em sua composição carboidratos que são definidos como fécula, além disso é importante na agricultura familiar, por ser rústica e ter uma boa capacidade de produção em diferentes culturas, diferentemente de outras espécies (AFONSO et al., 2014; FUHRMANN et al., 2016).

Por ser uma fonte de carboidratos amiláceos assume grande importância para o agronegócio mundial, pois gera renda e emprego em muitas áreas rurais de diversos países. Sua produção mundial é de aproximadamente 292 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2019). Ela se destaca como importante produto da agricultura familiar, em especial nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (CHISTÉ e COHEN, 2011).

No Brasil, segundo o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a safra de mandioca de setembro de 2020 produziu 19.087.363 toneladas, enquanto que o Estado do Pará (região Norte) produziu 3.817.734 toneladas e assume liderança na produção brasileira de mandioca (IBGE, 2020).

3.2 TUCUPI

O tucupi é um produto fermentado, cuja obtenção deriva das raízes de mandioca (*M. esculenta*). Ele é produzido e amplamente consumido na região Norte do Brasil, em especial no Estado do Pará. Ele é bastante utilizado no preparo de vários alimentos da culinária paraense assim como em molhos de pimenta (COSTA, 2019).

Ele se apresenta como um extrato de cor amarelada, retirado da raiz de mandioca-brava, especialmente aquelas que apresentam coloração da polpa amarela, que passa por processos de descascamento, lavagem, trituração, adição de água e prensagem da massa, em seguida é colocado em repouso por um determinado tempo, para que ocorra a decantação que irá separar a manipueira do amido. Esta manipueira é fermentada e em seguida fervida e assim obtém-se o tucupi. Durante a fervura geralmente são adicionados condimentos para conferir sabor e odor ao tucupi (ALVES, 2019).

Apesar de se enquadrar no “Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos” da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de nº 276 de 22 de setembro de 2005, que define molhos como “produtos em forma líquida, pastosa, emulsão ou suspensão à base de especiaria(s) e ou tempero(s) e ou outro(s) ingrediente(s), fermentados ou não, utilizados para preparar e ou agregar sabor ou aroma aos alimentos e bebidas” (ANVISA, 2005), no Pará o órgão responsável pela inspeção da qualidade do tucupi é a Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará (ADEPARÁ). Foi a ADEPARA a responsável pela Instrução Normativa nº 1 de 24/06/2008 que define e caracteriza o tucupi de forma a manter seus atributos culturais.

Segundo a Instrução Normativa, o tucupi é definido como um produto e/ou subproduto obtido da raiz de mandioca e suas variedades através de processo tecnológico adequado, com uso predominante na culinária paraense e deve apresentar as seguintes características:

- i) Apresentar duas fases distintas, uma sólida e outra líquida, cujas características são perceptíveis quando o produto está em repouso;
- ii) Coloração variando de amarelo-claro ao amarelo-intenso;
- iii) Sabor levemente ácido e aroma próprio.

CHISTÉ et al. (2007) afirmam que, por se tratar de um alimento líquido, o macronutriente de maior proporção é a água, a qual representa valores que variam de 94,6 a 97,5%. Esta característica torna o produto potencialmente propenso a transformações bioquímicas e altamente susceptível à deterioração microbológica. Os sólidos solúveis totais do tucupi variam de 2,55 a 5,36%. O teor de cinzas varia entre 0,18 e 1,12%, a acidez total de 3,91 a 11 meq NaOH/100mL, enquanto que o pH varia de 2,99 a 4,35. Desta forma, o tucupi pode ser classificado como um alimento de alta acidez.

Ele é considerado um dos alimentos destaque na cultura amazônica e traz consigo um conjunto de avanços em volta da sua produção, dado que por meio dela são mantidas muitas tradições de famílias locais, o que torna o produto original (LIRA, 2019). O tucupi é um alimento que além de satisfazer o consumidor paraense, reforça as relações sociais, a convivialidade e a sociabilidade (BOER e REJOWSKI, 2016).

Por ser um produto consumido em grande escala no estado do Pará, o tucupi por vezes fica vulnerável em relação as suas propriedades, já que o vendedor em grande parte dos casos, não se preocupa com a qualidade final do produto e sim com a quantidade de tucupis produzidos. Dessa forma, isso implica em irregularidades nos tucupis quanto as suas características físico-químicas que afetam de forma direta o sabor e a cor do produto.

3.3 ESPECTROSCOPIA

A NIRS consiste na interação de qualquer tipo de radiação eletromagnética com a matéria (SKOOG et al., 2002), onde se desenvolvem por meio de diferentes métodos, diferindo-se por seu comprimento de onda e tipo de transição, conforme apresentado na Tabela 1. A técnica da espectroscopia é considerada ideal para redução da quantidade de

análises realizadas pelos métodos tradicionais de laboratório, já que esta apresenta as vantagens de realizar um grande número de medições em um intervalo de tempo menor, pouca ou nenhuma preparação de amostra e não é destrutiva (TSUCHIKAWA e KOBORI; LANG *et al.*, 2015).

Tabela 1. Métodos espectroscópicos utilizados com base na radiação eletromagnética.

Método espectroscópico	Comprimento de onda (m)	Tipo de transição
Raios – X	$5 \times 10^{-13} - 1,4 \times 10^{-10}$	Nuclear
Raios gama – Y	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$	Eletrônica interna
Ultravioleta	$1 \times 10^{-8} - 1,8 \times 10^{-7}$	Eletrônica de ligação
Ultravioleta-visível (UV)	$1,8 \times 10^{-7} - 7,8 \times 10^{-7}$	Eletrônica de ligação
Infravermelho (IV)	$7,8 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-4}$	Rotacional/Vibracional
Micro-ondas	$7,5 \times 10^{-4} - 0,375$	Rotacional
Ressonância de spin eletrônico	3×10^{-2}	Orientação de spin
Ressonância magnética nuclear	0,6 – 10	Orientação de spin

Fonte: Adaptado de SKOOG *et al.* (2002).

3.3.1 Espectroscopia no infravermelho

A espectroscopia no infravermelho compreende a região espectral de número de onda entre 12800 a 10 cm^{-1} , onde pode ser subdividida em três partes denominadas: infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared*), infravermelho médio (MIR – *Mid Infrared*) e infravermelho distante (FIR – *Far Infrared*) (FORCHETTI, 2017).

Essas subdivisões da espectroscopia no infravermelho podem ser caracterizadas e diferenciadas entre si a partir do seu intervalo de número de onda (cm^{-1}), região do comprimento de onda (nm) e região de frequência (Hz). De maneira que o infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared*) apresenta intervalo de onda 12800-4000 cm^{-1} , comprimento de onda 780-2500 nm e frequência $3,8 \times 10^{14} - 1,2 \times 10^{14}$ Hz; enquanto o infravermelho médio (MIR – *Mid Infrared*) intervalo de onda de 400-200 cm^{-1} , comprimento de onda 2500-50000 nm e frequência de $1,2 \times 10^{14} - 6,0 \times 10^{12}$ Hz; ainda infravermelho distante (FIR – *Far Infrared*) com 200-10 cm^{-1} intervalo de onda, 5000-100.000 nm de comprimento de onda e frequência de $6,0 \times 10^{14} - 3,0 \times 10^{11}$ Hz (VILAR, 2018).

Segundo HOLLER *et al.* (2009) a absorção da radiação no infravermelho ocorre quando há um deslocamento dos átomos ao receber a radiação incidente do campo elétrico, produzindo alteração no momento de dipolo da molécula.

3.3.2 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS)

O NIR integra o campo de estudo da espectroscopia molecular, que inspeciona a interação da radiação eletromagnética com a matéria (REIS et al., 2013). A espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) é uma ferramenta química analítica útil (CHAUCHARDA, 2004) e possui vantagens por tratar os dados de forma precisa, rápida e não destrutiva (JIANQIANG et al., 2019).

O NIR pode ser realizado de três modos: transmitância, reflectância difusa e transreflectância (COSTA, 2014). A transmitância é o modo de medida frequentemente utilizado em espectroscopia ultravioleta/visível, onde amostras líquidas transparentes são analisadas em cubetas de vidro ou quartzo, com caminhos ópticos de 1 a 50 mm. A reflectância difusa é normalmente utilizada para análise de materiais sólidos, o espalhamento e a absorção da radiação pelas partículas são fenômenos que auxiliam de forma significativa para a variação da intensidade do sinal registrado pelo detector. Já na transreflectância a radiação atravessa a amostra através de um caminho óptico definido e, posteriormente, é refletida por um espelho em direção ao detector. A principal diferença em relação à transmitância deve-se ao caminho óptico efetivamente percorrido pela radiação, já que esta atravessa duas vezes a amostra (MARQUES et al., 2017).

Além disso, esta técnica tem a finalidade de analisar as alterações recorrentes no movimento das ligações presente na molécula quando há interação com a radiação (FIGUEIRA, 2012), atua principalmente na região de 750 a 2.500 cm^{-1} ou 13.000 a 4.000 cm^{-1} , que abrange fótons com energia contida entre $2,65 \times 10^{-19}$ a $7,96 \times 10^{-20}$ J (TREADO et al., 2006).

Na região do NIR, as moléculas sofrem transições vibracionais e rotacionais o que leva a mudança de um nível energético estabelecido para dois ou mais níveis de energia superior. As bandas de absorção de maior destaque que se detectam na região do NIR estão associadas a sobretons e combinações de vibrações fundamentais de grupos funcionais – CH, – NH, – OH e – SH. No geral, a assinatura espectral pode ser utilizada para avaliar qualitativamente e quantitativamente a composição química de um determinado composto presente em uma amostra ou mesmo para estimar as propriedades físico-químicas de um material (SANDAK et al., 2016).

Esta técnica é construída através de uma calibração multivariada que envolve uma matriz “X” formada pelos valores de absorvância do espectro NIR de cada amostra, enquanto a matriz “Y” é formada, na maioria dos casos, pelas concentrações de compostos de interesse nas amostras. Esse é o modelo mais utilizado na espectroscopia tendo como objetivo prever os valores de Y a partir de valores de X e também descrever a relação que existe entre os dois conjuntos de dados. Ela é utilizada para analisar informações fortemente correlacionados e ruidosos, bem como é capaz de trabalhar com um grande número de variáveis na matriz X e relacioná-las com diversas variáveis resposta presentes na matriz Y (WOLD et al., 2001).

Por ser sensível a uma variedade de grupos químicos e interações moleculares, possui grande aplicação na agricultura, indústrias farmacêuticas e petróleo e já tem sido utilizada para o setor de alimentos. Até então a técnica é considerada uma boa opção para análises quantitativas (JAMRÓGIEWICZ, 2012; SHI e YU, 2017).

A utilização da NIR em métodos analíticos no setor alimentício ganhou destaque e espaço nos últimos anos graças a sua versatilidade (PASQUINI, 2003). De acordo com AMORIM (2018) esta apresenta inúmeras vantagens como: medidas espectrais rápidas em menos de um minuto; baixo custo das análises; não necessita de reagente químico; não necessita de preparação de amostra ou tratamento mínimo, como secagem; facilmente aplicável em diferentes ambientes; além disso, é possível a detecção de vários constituintes de uma mesma amostra em uma mesma análise.

3.4 QUIMIOMETRIA

A definição mais atual, recomendada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), define a quimiometria como a ciência que relaciona medidas feitas em um sistema químico ou processo com o estado do sistema por meio da aplicação de métodos matemáticos ou estatísticos (HIBBERT, 2016).

A quimiometria planeja e/ou seleciona condições otimizadas de medidas e experimentos para extrair o máximo de informação de dados químicos. Ela é muito utilizada por se tratar de uma técnica de planejamento que realiza ensaios, reduz custos e tempo de análises, mostrando-se efetiva em seu processo de validação e otimização (FERREIRA, 2015).

Esta ferramenta não está relacionada apenas com a análise dos dados que geram informações, mas também do processamento e tratamento desses dados, onde as etapas iniciais às análises são de suma importância para a obtenção de dados químicos pertinentes. Como exemplo, os dados obtidos de cromatografias e espectros normalmente requerem suavização da linha da base, alinhamento, normalização e outras técnicas de tratamento, a fim de adequar os dados químicos à posteriores análises e gerar informação (SANTOS, 2014).

Atualmente há uma série de ferramentas analíticas quimiométricas disponíveis para os mais distintos conjunto de dados e com as mais diferentes finalidades (MILANI, 2020). Os principais âmbitos da quimiometria são: planejamento e otimização de experimentos, reconhecimento de padrões e calibração multivariada (SOUZA e POPPI, 2012).

No planejamento e otimização de experimentos as ferramentas estatísticas permitem a identificação de variáveis mais influentes em um processo, assim como a influência de suas interações, o que possibilita a extração do máximo de informação do sistema com um número mínimo de ensaios. Já no reconhecimento de padrões verifica-se a existência de similaridade ou diferenças entre as respostas obtidas sobre uma série de amostras.

Quanto à calibração multivariada, medidas experimentais, como as espectrais são associadas, por meio de modelos matemáticos, a alguma propriedade da amostra, como a concentração, por exemplo (OLIVEIRA, 2018). Entre os métodos de regressão utilizados em NIRS, pode-se citar o método dos mínimos quadrados parciais.

3.4.1 Regressões por mínimos quadrados parciais (PLS)

O modelo PLS é considerado o método de regressão mais utilizado em quimiometria devido à sua popularização principalmente com o auxílio da aplicação com espectroscopia no infravermelho próximo. Foi concebido no intuito de substituir a calibração multivariada por mínimos quadrados clássicos (CLS) na análise de dados com variáveis de alta correlação, pois ele modela a propriedade de interesse (Y) de forma mais satisfatória. Dependendo do número de propriedades de interesse que se deseja a modelar, o PLS é citado na literatura como PLS1 ou PLS2. No caso do PLS1, apenas uma

propriedade de interesse é estimada, enquanto que no PLS2, mais de uma propriedade de interesse são modeladas (FERREIRA, 2015; MOREIRA, 2018).

No algoritmo PLS é efetuada uma regressão por mínimos quadrados parciais em cada intervalo equidistante ao longo de todo o espectro. Dessa forma, um modelo de PLS é construído para cada intervalo, bem como um para o espectro global, apresentando os resultados na forma de gráfico que contém a raiz quadrada dos erros médios (RMSE, do inglês, “Root Mean Square Error”) obtido para cada modelo (intervalo), o que facilita a comparação com toda a faixa espectral (RECH, 2018).

O PLS é recomendado para análises onde se busca menores valores quanto aos erros de predição (KIRALJ e FERREIRA, 2009). Para a determinação dos valores de erros de predição nos modelos PLS, aplica-se testes de validação cruzada, onde há a exclusão de N compostos (*leave-N-out*). Durante a validação são removidas em cada etapa N compostos do conjunto de calibração, os quais terão seus valores detectados por meio do modelo. Esta técnica se repete até o momento em que todas as amostras sejam retiradas para a realização da predição (SANTOS, 2017).

3.4.2 Utilização da NIRS para predição de alimentos

- i) ALMEIDA et al., 2012 – Utilizaram a NIRS para predição de ácidos graxos em sementes intactas de gergelim. Os modelos quimiométricos desenvolvidos para predição da composição de ácidos graxos forneceram as seguintes características: ácido palmítico ($R^2 > 0,800$; Faixa de concentração dos ácidos graxos: $> 8,90\%$).
- ii) ROSSATO et al., 2013 – Utilizaram NIRS para predição de teor de óleo em sementes de canola. A precisão da equação foi verificada por coeficiente de determinação (R^2 : 0,92; SEC: 0,78 e SEP: 1,22).
- iii) LAZZAROTTO et al., 2014 – Utilizaram NIRS para predição da concentração de etanol em fermentados (R^2 : 0,99; RMSE: 1,45 g/L⁻¹ e SE: 1,86 g/L⁻¹).
- iv) ASSIS et al., 2015 – Utilizaram NIR para prever o Brix de caldo de sorgo sacarino (RMSECV: 0,50%; RMSEC: 0,48% e RPD: 7,2).
- v) FOLADOR, et al., 2018 – Utilizaram a espectroscopia NIR e MIR para previsão de características de qualidade de polpa de maracujá. Os modelos de previsão em NIR foram melhores para sólidos solúveis totais ($R^2_v = 0,91$ e

RMSEP: 4,28%), acidez total ($R^2_v = 0,36$ e RMSEP: 8,63%), glicose ($R^2_v = 0,78$ e RMSEP:18,80%), frutose ($R^2_v = 0,79$ e RMSEP: 17,7%) e sacarose ($R^2_v = 0,72$ e RMSEP: 17,17%).

- vi) BARRETO et al., 2019 – Utilizaram VIS/NIR para determinar os parâmetros físico-químicos de vinho tinto. Os valores obtidos para validação foram (R^2 : 0,87, SMECV: 3,03 e RMSECR: 24,1% – para acidez volátil); (R^2 : 0,71, SMECV: 0,37 e RMSECR: 15,8% – para açúcares redutores); (R^2 : 0,82, SMECV: 0,0007 e RMSECR: 0,07% – para densidade).
- vii) MARQUES et al., 2019 – Utilizaram NIR portáteis para a determinação da qualidade de manga “palmer”. Os resultados obtidos na validação cruzada: (R^2 : 0,84; RMSECV: 0,9%) para matéria seca; (R^2 : 0,87; RMSECV: 1,3%) para sólidos solúveis; (R^2 : 0,84; RMSECV: 3,05%) para cor de polpa, nos espectros na região 750 a 1100 nm.
- viii) ABU-KHALAF e HMIDAT, 2020 – Utilizaram a NIRS/VIS como sensor óptico para avaliar a qualidade do azeite. Os resultados para validação (R^2 : 0,88; RMSE: 0,35 e RPD: 3,08 – para acidez); (R^2 : 0,86; RMSE:1,6 e RPD: 2,2 – para peróxido).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. COLETAS DE AMOSTRAS

Foram coletadas sessenta e cinco (65) amostras de tucupi amarelo em feiras livres e supermercados com a finalidade de verificar a qualidade dos tucupis da região metropolitana de Belém – PA, provenientes dos bairros: Benguí (7 amostras), Campinas (10 amostras), Guamá (11 amostras), Jurunas (2 amostras), Marco (11 amostras), Marambaia (2 amostras), Pedreira (8 amostras), São Brás (5 amostras), Tapanã (2 amostras) e Telégrafo (7 amostras), conforme apresentados na (Figura 1).

Figura 1. Mapa de Belém com a localização das feiras e supermercados visitados.



Fonte: Adaptado da Prefeitura Municipal de Belém, 2020.

As amostras acondicionadas em recipiente plástico (Figura 2.a) e armazenadas em Incubadora DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) à 5 °C (Figura 2.b).

Figura 2. Acondicionamento de amostras em recipiente plástico (a) e armazenamento em DBO (b).



As feiras foram codificadas de F1 a F8, e os supermercados de S1 a S4, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Codificação de feiras e supermercados.

FEIRAS	CÓDIGO	SUPERMERCADOS	CÓDIGO
25 de setembro	F1	Assaí	S1
Guamá	F2	Meio a Meio do Jurunas	S2
Pedreira	F3	Armazém	S3
São Brás	F4	Formosa	S4
Benguí	F5		
Tapanã	F6		
Telégrafo	F7		
Ver-O-Peso	F8		

4.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Foram realizadas as seguintes análises físico-químicas nas amostras:

Acidez titulável expressa em ácido láctico, de acordo com o descrito no método 942.15 (AOAC, 1997); Açúcares totais de acordo com o descrito no método 903.09 (AOAC, 1997); Amido total de acordo com o descrito no método 996.11 (AOAC, 1995); A quantificação do peso específico (densidade) foi realizada utilizando-se o método oficial descrito no Instituto Adolfo Lutz (011/IV) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985); Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados por medição direta em um aparelho digital refratômetro (Q767B0, Quimis, Brasil), e os valores foram expressos em °Brix; O pH foi medido por método potenciométrico, de acordo com o descrito no método 981.12 (AOAC, 1997).

Os parâmetros de cor foram analisados por meio de leitura direta em colorímetro digital (KONICA MINOLTA CR-400, Osaka, Japan), com fonte de iluminação CIE D65 e ângulo do observador a 0°. Os resultados foram expressos nas coordenadas cromáticas L*, a* e b*, onde L* representa a luminosidade; a*, a variação da cor verde (-a*) à vermelha (+a*); b*, a variação da cor azul (-b*) à amarela (+b*); Chroma (C*), que define a intensidade de cor e o ângulo Hue (h°), que é um indicativo da tonalidade da cor (0° = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde e 270° = azul) (CIE, 1986);

AQUISIÇÃO DOS ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Os espectros de reflectância na região do infravermelho próximo foram coletados em espectrômetro no infravermelho próximo com transformada de Fourier (marca Thermo Scientific, modelo Nicolet Antaris II MDS) com auxílio de uma sonda de fibra ótica, na faixa espectral de 10.000–4.000 cm⁻¹, com resolução espectral de 8 cm⁻¹ e média de 64 varreduras.

4.4. CALIBRAÇÃO MULTIVARIADA NA CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO DE VALIDAÇÃO.

Para a predição dos parâmetros físico-químicos determinados ajustou-se modelos de regressão pelo método PLS. Para isso, utilizou-se a faixa espectral de 10.000–5.350 cm^{-1} e de 5100–4.000 cm^{-1} com auxílio do programa/referência The Unscrambler® X 10.2 da CAMO.

Os modelos matemáticos para predição de acidez titulável, açúcares totais, amido total, parâmetros cromáticos de L^* , a^* , b^* , h° e C^* , peso específico, pH e sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) a partir dos dados espectrais, também denominados de modelos de calibração, foram obtidos através de comparações entre os valores desses parâmetros e os espectros NIR. Cada modelo de calibração foi gerado de um modelo de validação correspondente, pela comparação entre os valores de cada parâmetro físico-químico que foram preditos pelo modelo de calibração, e os valores dos parâmetros obtidos pelo método laboratorial de referência.

A Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio de Calibração (RMSEC) descreve o grau de concordância entre os valores verdadeiros usados nas construções do modelo e os valores previstos pelo modelo de calibração, enquanto a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio de Validação Cruzada (RMSECV) está relacionada com a descrição do grau de concordância entre os valores verdadeiros usados e valores previstos pelo modelo de validação cruzada. O Coeficiente de determinação (R^2) representa a porcentagem de variância reproduzida pelo modelo, e o Desvio Padrão Relativo (RPD) que está diretamente relacionado ao R^2 é a taxa de desvio de performance definida como a relação existente entre o desvio padrão (DP) da variável resposta e o erro padrão da validação cruzada (MARQUES; KAUVA, 2019).

4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os resultados obtidos para as análises físico-químicos foram expressos em média \pm desvio padrão ($x\pm\text{DP}$). Testes de correlação foram realizados e expressos em termos do coeficiente de correlação de Pearson (r). Os valores encontrados nas análises físico-químicas e colorimétricas foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) e ao teste de Tukey ($P<0,05$), utilizando o programa/referência STATISTICA 13.0 para

investigar e comparar entre estes, dividindo-os em grupos, quanto: Feiras × Supermercados (F×S), Feiras × Feiras (F×F) e Supermercados × Supermercados (S×S).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA

A segurança alimentar é um fator imprescindível e a condição de maior destaque é a qualidade do produto obtido. A qualidade se sobressai por estar ligada a saúde pública, uma vez que alimentos contaminados ou adulterados geram riscos à sociedade, devido a isso, existem as normas, leis e instruções que estão diretamente ligadas aos alimentos (BRIDI, 2014; SOUZA et al., 2020). Em relação ao tucupi, a ADEPARÁ se encarrega de regimentar quanto aos parâmetros físico-químicos, a fim de garantir a higiene e qualidade do produto.

Segundo a ADEPARÁ, o tucupi deve apresentar pH (3,5–4,3); sólidos solúveis totais (2,5–6,5 g/100g); acidez total (0,1–0,8 g/100mL ácido láctico) e açúcares totais (máx. 15 g/L) (ADEPARÁ, 2008). Os valores encontrados para os parâmetros físico-químicos das amostras, quanto acidez titulável expressa em ácido láctico, peso específico, pH, sólidos solúveis totais, açúcares totais e amido total estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Características físico-químicas das amostras de tucupi.

Valores	Parâmetros					
	Acidez titulável (g/100 mL ácido láctico)	Peso específico (g/100 mL)	pH	SST (°Brix)	Açúcares totais (g/100 g)	Amido total (g/100 g)
Valor <i>mínimo</i>	0,23	0,90	3,10	2,60	0,04	0,27
Valor <i>máximo</i>	1,27	0,94	4,39	6,80	2,39	4,55
Média Aritmética	0,64	0,92	3,80	3,82	0,44	1,41
DP	0,23	0,01	0,30	0,77	0,46	0,81
CV (%)	0,35	0,01	0,08	0,20	1,04	0,57

DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; SST: Sólidos solúveis totais.

A acidez é um fator valioso para garantir a conservação de um produto alimentício (CARVALHO et al., 2020). As amostras apresentaram valores de acidez titulável expressa em ácido láctico variando de 0,23 a 1,27 g/100 mL, com média de $0,64 \pm 0,23$ g/100 mL. Todavia, 12 amostras de feiras e 3 de supermercados apresentaram-se acima do limite máximo estabelecido pela ADEPARÁ que é de 0,8 g/100 mL. Contudo, diferente do resultado obtido por DUARTE (2019) onde o valor máximo de acidez foi de 0,73 g/100 mL de ácido láctico, BRITO et al. (2019) também encontraram média elevada de $1,27 \pm 0,42$ g/100 mL de ácido láctico para acidez, valor este igual ao valor máximo obtido nesse estudo, também em amostras coletadas na região metropolitana de Belém – PA, o que indica que os tucupis comercializados têm se mantido sem padronização quanto a sua acidez o que indica irregularidades na hora da produção desse produto.

As amostras apresentaram peso específico variando de 0,90 a 0,94 g/100 mL, com média de $0,92 \pm 0,01$ g/100 mL. Para esse parâmetro não há limite na legislação vigente, contudo sua determinação é importante, pois complementa os resultados obtidos para amido total. Visto que por meio dele é possível identificar a qualidade da etapa de filtração do tucupi. SOUZA et al. (2020) encontraram valores para suco de pêsego fermentado sendo estes de 1,05 e 1,03 g/100 ml para dois tipos de suco. Dessa forma, é possível verificar que as amostras de tucupi que passam pelo processo de filtração apresentaram valores próximos a densidade da água, assim comprovando a eficácia da etapa de filtração, diferente dos valores encontrados pelo autor citado visto que o suco concentrado não passou pelo processo de filtração.

O pH, parâmetro de extrema importância, contribui para o crescimento bacteriano, dessa maneira interfere de forma direta na qualidade do tucupi. Os valores para pH encontrados nas amostras variaram de 3,10 a 4,39, com média de $3,80 \pm 0,30$, onde 3 amostras apresentaram-se acima do limite máximo de 4,3 permitido pela ADEPARÁ, todas provenientes de feiras, o que tem influência direta da alta acidez encontrada nas amostras. Alguns estudos realizados em tucupis amarelo encontraram valores semelhantes para pH. BRITO et al. (2019) obtiveram valor médio de $4,10 \pm 0,30$ enquanto que CAMPOS et al. (2016): 3,48 a 4,26; POLO (2014): $3,08 \pm 0,01$ e $4,26 \pm 0,03$ e CHISTÉ et al. (2007): 3,00 a 4,35.

O teor de SST variou de 2,60 a 6,80 °Brix e obteve média de $3,82 \pm 0,77$ °Brix, valores próximos aos do estudo de CARMO et al. (2016) que ao analisarem 10 amostras comerciais de tucupi amarelo, encontraram valor de 1,79 a 6,77 °Brix. Valores semelhantes também foram encontrados por CHISTÉ et al. (2007) variando de 2,55 a 5,36 °Brix. Todavia, apesar de quase integralmente as amostras estarem dentro do limite indicado pela ADEPARÁ, que é de 6,5 g/100g (°Brix), uma (1) amostra adquirida em feira apresentou valor acima da legislação, indicando irregularidades na produção do tucupi artesanal.

Os valores de açúcares totais encontrados foram de 0,04 a 2,39 g/100 g, com média de $0,44 \pm 0,46$ g/100 g, valores dentro do padrão exigido pela legislação (máximo de 15 g). O valor encontrado por BRITO et al. (2019) de $1,23 \pm 0,55$ g/100 g se encontra dentro do intervalo de açúcares totais encontrado neste estudo.

O teor de amido total presente no tucupi representa os grânulos de amido de menor tamanho, que não se separam na etapa de decantação e filtração da manipueira e, que não foram utilizados como substrato na fermentação do produto (PIRES, 2015). Os valores para amido total variaram de 0,27 a 4,55 g/100 g e obtiveram média de $1,41 \pm 0,81$ g/100 g. Não existe limite para amido total estabelecido na legislação, porém quanto aos valores obtidos, observa-se que resultado semelhante foi encontrado por PIRES (2015) que foi de $1,65 \pm 0,08$ g/100 g, e valores superior foi encontrado no estudo de BRITO et al. (2019) que acharam valor médio de $3,97 \pm 1,88$ g/100 g para amido total em amostras de tucupi amarelo, assim como COSTA (2016) que identificou valores de 6,64 a 7,76 % (g/100 g).

De forma geral, observa-se que os valores de SST, açúcares totais e amido total apresentam grande variação, o que pode ser justificado pela possível diferença entre o processo de fermentação das amostras, já que não há um padrão definido, com isso o tucupi sofre influência de fatores climáticos.

Quanto aos parâmetros de açúcares totais e amido total, durante as análises verificou-se que o teor desses dois parâmetros se encontra abaixo do limite de detecção da técnica. Por esse motivo, obteve-se resultados para apenas 58 amostras de tucupi e para amido total apenas 48 amostras, uma vez que devido ao grande número de repetições as amostras acabaram, interrompendo a execução integral de ambas análises.

5.1.1 Análise colorimétrica

A cor é uma percepção visual que resulta da detecção da luz quando esta interage com um objeto. O sistema CIE (Comissão Internacional de “L’Eclairage”) L^* a^* b^* e o sistema Hunter, são os mais relevantes para a medida instrumental (CIE, 2020). Além disso, a cor é considerada um parâmetro de qualidade que é utilizado tanto para avaliação sensorial voltada a aceitabilidade do produto, assim como intenção de compra e até mesmo uma possibilidade para a detecção de fraude por adição de corantes no tucupi.

Segundo a Rede Brasileira de Calibração (RBC, 2001) os parâmetros de luminosidade e tonalidade apresentam escala de cor (0 até 100) para L^* , (-100 até 100) para a^* com (verde (-) ao vermelho (+)) e b^* (azul (-) ao amarelo (+)). O ângulo Hue (0° : vermelha, 90° : amarelo, 180° : verde, 270° : azul e 360° : negro) e o C^* que é a cromaticidade/saturação (0 até 60) (VIEIRA et al., 2020).

Os resultados da análise colorimétrica estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise colorimétrica das amostras de tucupi.

Valores	Parâmetros cromáticos				
	L^*	a^*	b^*	h°	C^*
Valor mínimo	37,14	-12,01	7,43	84,80	7,67
Valor máximo	69,33	1,36	75,49	108,82	75,49
Média Aritmética	49,06	-5,24	33,69	99,43	34,39
Desvio Padrão	7,33	2,77	14,89	4,38	14,99
CV (%)	0,15	-0,53	0,44	0,04	0,44

Quanto maior for o valor de L^* mais clara é a amostra. Diante disso, os valores de L^* encontrados de 37,14 a 69,33, com média de $49,06 \pm 7,33$ representam que a maioria das amostras analisadas apresentaram coloração com pouca intensidade BRITO et al. (2019) em seu estudo com tucupis amarelo, encontraram valor médio de $30,37 \pm 0,73$ para L^* , resultado inferior ao encontrado neste estudo, o que indica que as amostras possuem coloração mais vibrante em relação as amostras analisadas por BRITO et al. (2019).

Os parâmetros a^* e b^* revelam sobre as influências externas que as amostras sofrem. Neste trabalho foi observado para o parâmetro a^* valores de -12,01 a 1,36, com média de $-5,24 \pm 2,77$. Os valores de b^* variaram de 7,43 a 75,49, com valor médio de $33,69 \pm 14,89$ o que intensifica a coloração amarela presente no tucupi. BRITO et al. (2019) encontraram valores de a^* : $-2,80 \pm 0,55$ e b^* $15,81 \pm 0,23$ enquanto que PIRES (2015): a^* $-2,68 \pm 0,12$ e b^* $45,87 \pm 0,09$, ambos em tucupis amarelo. Os valores encontrados nesse presente estudo, além de próximos, estão dentro dos valores encontrados nos estudos de BRITO et al. (2019) e PIRES (2015) porém, destaca-se que o parâmetro a^* é superior aos dois estudos em questão, indicando a presença da coloração verde nas amostras, o que pode ter sido ocasionado devido a fatores como mudanças de temperaturas ou armazenamento inadequado que contribuem para o crescimento microbiano, o que gera a mudança na coloração do alimento.

O ângulo Hue (h°) está diretamente relacionado ao ângulo da cor e para este parâmetro foram encontrados valores de $84,80^\circ$ a $108,82^\circ$, com média de $99,43^\circ \pm 4,38$ o que indica que, em sua maioria, os tucupis estão dentro do quadrante ideal de sua cor predominante, que é o amarelo, contudo, identificou-se que algumas amostras se apresentaram fora do quadrante, abaixo de 90° , o que tende a uma coloração avermelhada o que pode ser justificado pela presença de carotenoides no tucupi. No geral, a média obtida de $99,43^\circ \pm 4,38$ foi muito próxima do valor encontrado por BRITO et al. (2019) que foi de $98,37 \pm 3,15$ para h° , mostrando-se um pouco superior a esta.

A partir da saturação (C^*) é possível detectar a intensidade da cor. Os valores de C^* variaram de 7,57 a 75,49 com média de $34,39 \pm 14,99$, estes valores quando comparados ao encontrado por PIRES (2015) que ao analisar tucupis obteve valor médio de $45,94 \pm 0,08$ para C^* , representam alta intensidade da coloração da amostra indicando possível fraude por adição de corantes nos tucupis analisados.

5.1.2 Comparação entre proveniências

As 65 amostras de tucupi amarelo foram divididas em 3 grupos diferentes em relação ao seu lugar de aquisição e submetidos à ANOVA, para detectar possíveis diferenças entre os parâmetros físico-químicos e cromáticos determinados. Onde:

Grupo 1: Feiras × Supermercados (F × S);

Grupo 2: Feiras × Feiras (F × F);

Grupo 3: Supermercados × Supermercados (S × S).

Os resultados para ANOVA entre Feiras e Supermercados estão representados na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação das propriedades físico-químicas e colorimétricas entre as amostras obtidas em feiras e supermercados (F × S).

Propriedades	(F)	(S)
Acidez titulável (g/100 mL ácido láctico)	0,64±0,21 ^a	0,61±0,35 ^a
pH	3,79±0,30 ^a	3,82±0,21 ^a
SST (° Brix)	3,95±0,75 ^a	3,75±0,93 ^a
Peso específico (g/mL)	0,93±0,01 ^a	0,93±0,01 ^a
Açúcares totais (g/100 g)	0,90±0,35 ^a	0,17±0,04 ^b
Amido total (g/100 g)	1,34±0,26 ^a	2,42±0,04 ^b
Propriedades Colorimétricas		
L*	48,44±6,69 ^a	53,23±6,95 ^b
a*	-5,31±2,77 ^a	-5,45±1,72 ^a
b*	34,09±14,71 ^a	39,70±12,56 ^a
h°	100,90±5,48 ^a	98,51±3,05 ^a
C*	31,68±14,78 ^a	40,15±12,45 ^b

Médias seguidas de mesma letra (linha) não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Na Tabela 5, observa-se que nos parâmetros de acidez titulável, pH, SST e peso específico as amostras obtiveram valores próximos, o que demonstra uma homogeneidade entre as amostras dos dois estabelecimentos. Os valores de peso específico apresentaram homogeneidade e altas médias para os dois tipos de

estabelecimentos. Já em relação aos valores de açúcares totais e amido total, as amostras se diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) e, em ambos parâmetros as feiras livres apresentaram valores superior aos valores de açúcares totais e amido total encontrados nas amostras de supermercados, sendo os valores de feiras $0,90 \pm 0,35$ e $1,34 \pm 0,26$ g/100 g, respectivamente. Mesmo assim em relação aos parâmetros de qualidade estabelecidos pela ADEPARÁ (2008) para características físico-químicas, as amostras analisadas estão dentro do limite estabelecido.

Quanto aos parâmetros cromáticos, os valores de a^* , b^* e h° se mantiveram iguais para as feiras e supermercados, o que denota uma presença intensa da coloração amarela nas amostras. Detectou-se diferença significativa ($P < 0,05$) apenas nos parâmetros L^* e C^* , onde novamente as amostras de feiras livres se mostraram superiores, com médias de $48,44 \pm 6,69$ para L^* e $31,68 \pm 14,78$ para C^* , o que implica dizer que as amostras obtidas em feiras livres obtiveram coloração mais saturada, em enquanto que as amostras de supermercados apresentaram coloração mais preservada sendo amarelo claro (suave). Na legislação da ADEPARÁ (2008) a cor deve apresentar aparência variando de amarelo claro ao amarelo intenso quando homogeneizado, com base nisso apesar das amostras apresentarem diferenças quanto a sua obtenção, todas se encontram dentro do parâmetro estabelecido.

Os resultados da ANOVA entre os diferentes tipos de feiras estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Comparação das propriedades físico-químicas e colorimétricas entre as amostras obtidas em feiras (F × F).

Propriedades	Feiras × Feiras							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Acidez titulável (g/100 mL ácido láctico)	0,79±0,18 ^d	0,66±0,24 ^{ad}	0,75±0,14 ^{ad}	0,68±0,19 ^{acd}	0,50±0,13 ^{bc}	0,54±0,00 ^{abc}	0,60±0,20 ^{abc}	0,48±0,12 ^b
pH	3,45±0,23 ^c	3,78±0,27 ^a	3,80±0,21 ^a	3,77±0,17 ^a	3,62±0,10 ^{ac}	3,82±0,00 ^{ab}	4,03±0,21 ^b	4,10±0,19 ^b
SST (° Brix)	3,77±0,55 ^{ab}	4,13±0,51 ^{ab}	4,08±1,29 ^{ab}	4,43±0,93 ^b	3,52±0,55 ^a	3,48±0,00 ^{ab}	3,79±0,24 ^{ab}	3,83±0,44 ^{ab}
Peso específico (g/mL)	0,92±0,01 ^{ac}	0,92±0,71 ^b	0,92±0,01 ^{abc}	0,91±0,01 ^d	0,91±0,01 ^{ad}	0,93±0,00 ^{bc}	0,92±0,00 ^b	0,92±0,00 ^a
Açúcares totais (g/100 g)	0,38±0,22 ^{ab}	0,66±0,39 ^a	0,56±0,88 ^{ab}	0,26±0,93 ^{ab}	0,12±0,02 ^b	0,17±0,00 ^{ab}	0,25±0,07 ^{ab}	0,68±0,55 ^a
Amido total (g/100 g)	0,83±0,49 ^a	1,54±0,71 ^c	0,49±0,11 ^{ab}	0,00±0,00 ^b	0,49±0,55 ^{ab}	1,24±0,04 ^{ac}	0,92±0,45 ^a	0,89±0,58 ^a
Propriedades Colorimétricas								
L*	53,33±9,77 ^b	43,96±2,96 ^a	44,20±2,21 ^a	53,19±5,96 ^{bc}	44,81±3,99 ^a	56,00±1,12 ^b	52,22±3,51 ^{bc}	47,92±3,04 ^{ac}
a*	-4,17±1,39 ^a	-4,48±3,38 ^a	-4,05±1,99 ^a	-5,60±1,89 ^a	-5,16±2,56 ^a	-9,27±0,40 ^b	-8,24±2,15 ^b	-5,65±2,14 ^a

b*	39,73±19,85 ^{bc}	29,82±6,99 ^{ab}	26,02±7,61 ^a	31,80±12,05 ^{ab}	24,87±14,72 ^a	54,09±2,65 ^c	38,95±6,79 ^{bc}	21,82±8,47 ^a
h°	98,30±4,81 ^a	97,57±5,54 ^a	98,58±3,55 ^{ab}	100,49±2,46 ^{abc}	102,96±3,29 ^c	100,37±0,58 ^{abc}	102,56±2,29 ^{bc}	107,23±5,05 ^d
C*	40,39±19,78 ^{cd}	30,37±7,35 ^{ab}	26,37±7,72 ^a	32,32±12,48 ^{abc}	25,44±15,13 ^a	54,91±2,58 ^d	39,95±6,89 ^{bcd}	22,70±8,30 ^a

Médias seguidas de mesma letra (linha) não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05)

Dentre a região metropolitana de Belém – PA, 8 feiras foram selecionadas para obtenção das amostras, codificadas de F1 a F8. Dentre as feiras analisadas, houve diferença significativa quanto aos parâmetros de acidez titulável, pH, SST, peso específico, açúcares totais e amido total, o que expressa a heterogeneidade entre os parâmetros físico-químicos das amostras. Isso pode ser explicado devido ao modo de armazenamento e processo de obtenção.

Para acidez titulável, observa-se que as feiras analisadas se encontram dentro do padrão das normas técnicas, ressaltando a F1 que apresentou média de $0,79 \pm 0,18$ g/100 mL de ácido láctico, valor muito próximo ao limite máximo estabelecido pela ADEPARÁ, que é de 0,8 g/100mL de ácido láctico.

As feiras F2, F3 e F4 apresentaram valores semelhantemente altos para o parâmetro pH com valores de $3,78 \pm 0,27$; $3,80 \pm 0,21$ e $3,77 \pm 0,17$, respectivamente. Enquanto para SST apenas a F5 se destacou entre as outras feiras com média de $3,52 \pm 0,55$. Os valores do peso específico apresentaram heterogeneidade apresentando média maior em F8 sendo $0,92 \pm 0,00$ g/mL.

Para açúcares totais as feiras F2 e F8 apresentaram as maiores médias com $0,66 \pm 0,39$ e $0,68 \pm 0,55$ g/100 g, respectivamente. Enquanto que para amido total as feiras F1, F7 e F8 apresentaram homogeneidade com resultados de $0,83 \pm 0,49$ (F1); $0,92 \pm 0,45$ (F2) e $0,89 \pm 0,58$ (F3) g/100 g.

Nos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e h° e C^* foi possível detectar diferença ($P < 0,05$) entre as amostras, onde as feiras F2 e F5 apresentaram as maiores médias. Apesar disso, as amostras, de forma geral, apresentaram coloração amarelo claro, dentro da faixa de coloração permitida pela ADEPARÁ, que deve variar entre amarelo claro e amarelo intenso (ADEPARÁ, 2008).

De forma geral, nota-se na Tabela 6 que os parâmetros apresentaram mais diferenças do que semelhanças estatisticamente ($P < 0,05$). Apesar de se tratarem de amostras somente de feiras, durante a coleta dos tucupis notou-se que o armazenamento varia de feira para feira, onde algumas feiras armazenavam os tucupis em garrafas pet, enquanto que outras armazenavam em baldes ou até mesmo em sacolas plásticas.

Nesse sentido, outro fator que também pode ter influenciado na grande diferença entre as amostras é o modo de processamento, visto que alguns vendedores relataram produzir o próprio tucupi, de forma artesanal e sem inspeção, ao mesmo tempo que outros vendedores compravam tucupis de outros produtores para fazer a revenda do produto.

Os resultados da ANOVA entre os diferentes tipos de feiras estão representados na Tabela 7.

Tabela 7. Comparação das propriedades físico-químicas e colorimétricas entre as amostras obtidas em supermercados (S × S).

Propriedades	Supermercados × Supermercados			
	S1	S2	S3	S4
Acidez titulável (g/ 100 mL ácido láctico)	0,26 ± 0,02 ^b	1,02 ± 0,01 ^a	1,12 ± 0,02 ^a	0,50 ± 0,14 ^c
pH	4,02 ± 0,11 ^c	3,52 ± 0,01 ^a	3,70 ± 0,01 ^{ab}	3,85 ± 0,16 ^{bc}
SST (°Brix)	3,30 ± 0,25 ^a	5,57 ± 0,09 ^b	3,37 ± 0,09 ^a	3,03 ± 0,15 ^a
Peso específico (g/mL)	0,91 ± 0,01 ^a	0,93 ± 0,00 ^c	0,92 ± 0,00 ^{ab}	0,93 ± 0,00 ^{bc}
Açúcares totais (g/100 g)	0,03 ± 0,08 ^a	0,27 ± 0,00 ^b	0,08 ± 0,00 ^a	0,07 ± 0,08 ^a
Amido total (g/100 g)	0,00 ± 0,00 ^a	2,57 ± 1,82 ^{ab}	2,87 ± 2,04 ^b	0,50 ± 0,36 ^{ab}
Propriedades colorimétricas				
L*	44,07 ± 2,94 ^b	59,75 ± 0,46 ^a	56,68 ± 1,10 ^a	57,40 ± 2,65 ^a
a*	-5,96 ± 2,02 ^a	-4,27 ± 0,12 ^a	-7,18 ± 0,04 ^a	-4,62 ± 1,28 ^a
b*	34,62 ± 4,46 ^{ab}	22,63 ± 1,39 ^a	37,44 ± 2,67 ^b	54,44 ± 7,60 ^c
h°	99,58 ± 2,28 ^a	100,70 ± 0,87 ^a	100,92 ± 0,85 ^a	95,13 ± 2,02 ^b
C*	35,16 ± 4,70 ^{ab}	23,10 ± 1,35 ^a	38,13 ± 2,61 ^b	54,67 ± 7,46 ^c

Médias seguidas de mesma letra (linha) não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Foram coletadas amostras em 4 supermercados diferentes, as amostras foram codificadas de S1 a S4. Detectou-se diferença (P<0,05) em relação a acidez titulável dos supermercados S1 e S4, enquanto que os supermercados S2 e S3 apresentaram médias superiores, sendo 1,02±0,01 e 1,12±0,02, respectivamente. Os supermercados S2 e S3 apresentaram valores acima do aceitável pela ADEPARÁ, que varia de 0,1 a 0,8 g/100 mL. Quanto ao pH, observou-se a presença de dois grupos apresentando médias estatisticamente iguais (P<0,05), sendo S1 e S4 um grupo, e S2 e S3 outro grupo, diferenciando-se entre si.

Os valores para SST e açúcares totais foram semelhantes (P<0,05) nas amostras do S1, S3 e S4, sendo estes as maiores médias diferente do S2 que apontou parâmetro de 5,57±0,09 °Brix e açúcares totais de 0,27±0,00 g/100 g.

Quanto aos parâmetros de peso específico e amido total quando comparados apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) para S2. Contudo os resultados das amostras pouco se diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) quando comparados entre os supermercados.

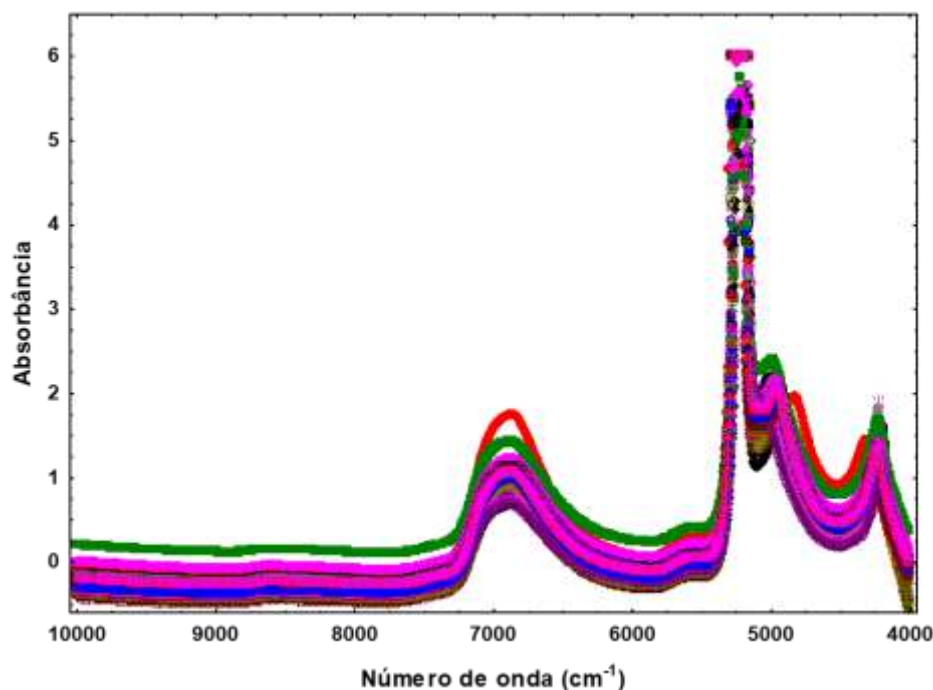
Para os parâmetros cromáticos, os valores de a^* demonstraram homogeneidade, já que não se diferiram ($P < 0,05$), enquanto que os valores de L^* , b^* , h° e C^* se destacaram por apresentarem diferença ($P < 0,05$), onde para L^* o S1 se diferenciou dos demais supermercados com média de $44,07 \pm 2,94$, para b^* o S2 se destacou com maior média, sendo $22,63 \pm 1,39$, já para h° o S4 foi o único diferente, apresentando média inferior aos outros supermercados. Para C^* o S2 apresentou maior média, sendo $23,10 \pm 1,35$. Logo, nota-se que o S2 apresentou maior média em todos os parâmetros analisados.

5.2 PREDIÇÃO DOS FÍSICO-QUÍMICOS DO TUCUPI AMARELO ATRAVÉS DOS ESPECTROS NIRS

O modelo de calibração multivariada inicialmente foi desenvolvido utilizando faixa espectral total de $(4.000 - 10.000 \text{ cm}^{-1})$, onde foi possível notar a presença de muitas saturações, o que tornou a leitura insatisfatória já que apresentou resultados muito inferiores ao esperado. Com isso, a fim de melhorar a leitura, o espectro foi recortado na faixa $(5350 - 5100 \text{ cm}^{-1})$ utilizando apenas as faixas espectrais $10000 - 5350$ e $5100 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ para a obtenção dos valores de calibração.

O gráfico da região espectral NIR utilizada para a predição dos dados é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Espectro NIR para as ($n=65$) amostras de tucupi.



No gráfico acima, observa-se um pico na faixa de (6.500 – 7.250 cm^{-1}). Segundo XU et al. (2015) faixas espectrais de (6.000 – 7.000 cm^{-1}) apresentam nitrogênio ligado a hidrogênios, o que indica a presença de amônia nas amostras de tucupi, que pode ser justificada pelo modo de armazenamento dessas amostras, que por sua vez se diferenciavam de acordo com o estabelecimento obtido.

No intervalo (4.500 – 4.000 cm^{-1}), RAMBO et al. (2015) expressam que valores na faixa de 4.293 cm^{-1} têm relação com C-H, onde há a banda de combinação de polissacarídeos, podendo representar a presença do açúcar total. Para as regiões de (5.000 – 5.250 cm^{-1}), RAMBO et al. (2015) afirmam que acima de 5.000 cm^{-1} existe banda de combinação de O-H de carboidratos, que pode ser expresso através do amido total.

A região de maior destaque no gráfico está no intervalo de (5.500 – 5.250 cm^{-1}) onde ocorreu uma supersaturação, o que geralmente ocorre em amostras líquidas, já que possuem a água como componente em maior quantidade, o que permite a grande absorção no infravermelho próximo.

A predição foi realizada a partir da construção de um modelo de regressão por meio dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS), assim como as estimativas de erros que podem ser aplicadas aos dados de calibração e validação cruzada. Dessa forma, obteve-se resultados para calibração e validação cruzada, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8. Predição dos parâmetros de acidez titulável, açúcares totais, amido total, peso específico, pH, SST e parâmetros cromáticos (L^* , a^* , b^* , h° e C^*) por PLS-NIR em tucupi amarelo.

Parâmetros físico-químicos	Calibração			Validação Cruzada		
	N	R ²	RMSEC	R ²	RMSECV	RPD
Acidez titulável (g/100 g ácido lático)	65	0,513	0,16	0,289	0,19	1,16
Açúcares totais (g/100g)	58	0,060	0,43	-	0,46	0,96
Amido total (g/100g)	48	0,094	0,79	0,048	0,83	0,99
Peso específico (g/100mL)	65	0,026	0,01	-	0,01	61,94
Ph	65	0,089	0,29	0,029	0,30	0,99
SST (°Brix)	65	0,350	0,62	0,216	0,69	1,10
Parâmetros cromáticos						
L^*	65	0,345	5,42	0,205	6,07	1,10
a^*	65	0,084	2,49	0,051	2,58	1,00
b^*	65	0,181	13,20	0,115	13,94	1,04
h°	65	0,040	5,15	-	5,42	0,97
C^*	65	0,181	13,25	0,114	14,00	1,04

Para os valores de calibração para acidez titulável, o coeficiente de determinação (R^2) apresentou resultado de 0,026, com RMSEC de 0,01g/100 g de ácido lático. Para validação cruzada foram obtidos valores RMSECV de 0,019 g/100 g de ácido lático, com R^2 de 0,2089 e RPD de 1,16. KHALAF e HMIDAT (2020) encontraram RMSEC e R^2 de 0,36% e 0,88 respectivamente, enquanto que RMSECV foi de 0,34% e R^2 obteve valor de 0,88 para azeite de oliva. Os valores de R^2 no trabalho citado são considerados satisfatórios, assim como os resultados de RPD que foram de 2,78 para calibração e 3,0 para validação. Quando comparados com os resultados deste trabalho, observa-se que há uma variação significativa, o que torna os resultados obtidos na acidez titulável do tucupi irrelevantes para predição.

A calibração de açúcares totais encontrou 0,060 para R^2 e RMSEC de 0,43 g/100 g. Na validação cruzada ele apresenta RMSECV de 0,46 g/100 g, sem coeficiente de determinação e RPD de 0,96. Em XU et al. (2012) foram encontrados valores de

calibração para teor de açúcar total em peras apresentando resultados para R^2 de 0,872 e RMSEC de 0,428 %. Os resultados RMSEC do presente trabalho se encontra próximo ao citado, diferentemente do R^2 que apresenta diferença significativa. No estudo realizado em peras os resultados foram positivos, contudo, os valores presentes neste trabalho são insatisfatórios.

Os resultados para calibração de amido total foram de R^2 igual a 0,094 e RMSEC de 0,79 g/100 g. Os valores de validação cruzada foram de 0,048 para R^2 , 0,83 g/100 g para RMSECV e 0,99 para RPD. THANGAVEL e DHIVYA (2018) prescreveram valores de amido em açafraão-da-terra apresentando valor mínimo de RMSECV com 0,076 % e R^2 máximo de 0,968 o que permite notar que o RMSECV é inferior, enquanto que R^2 é superior ao obtido neste estudo, e mesmo assim os valores encontrados não são suficientes para prever amido total.

A calibração de peso específico apresentou valor de 0,026 para R^2 e RMSEC de 0,01 g/100 ml. Para validação os valores encontrados foram de RMSECV de 0,01 g /100 mL, RPD de 61,94, sem coeficiente de determinação (R^2). No estudo de BARRETO et al. (2019) os valores de peso específico encontrados para vinho tinto onde R^2 e RMSECV foram de 0,82 e 0,0007 g/cm⁻³, respectivamente, sendo estes valores preditivos considerados satisfatórios, diferente dos resultados presentes neste trabalho por terem apresentados valores muito inferiores.

Já nos resultados de pH, o modelo de calibração obteve R^2 igual a 0,089 e RMSEC de 0,29. Para validação cruzada foram obtidos R^2 de 0,029, RMSECV de 0,30 e RPD de 0,99. BAHRAMI et al. (2019) apresentaram valores de calibração de pH para suco de beterraba, onde o R^2 teve média de 0,697 e RMSEC de 0,36, apesar dos valores citados serem superiores aos presentes neste trabalho, ambos foram considerados exíguos, uma vez que não são suficientes para predição do parâmetro em questão.

O resultado da calibração de SST apresentou RMSEC de 0,62 °Brix enquanto que o R^2 foi de 0,350. Já os valores de RMSECV foram de 0,69 Brix°, R^2 de 0,216 e RPD de 1,10. RODRIGUES (2016) encontrou valores de 0,649 para R^2 (calibração) e RMSEC de 1,27 °Brix; 0,445 para R^2 (validação cruzada) e 1,54 °Brix para RMSECV em bebidas comerciais, valores estes que, em comparação a este estudo constituem valores

superiores. Desse modo, os dados citados no trabalho se encontram insatisfatório por apresentarem valores abaixo do estipulado.

Os parâmetros de cor para (n=65) amostras expressaram valores médios para L* (49,06±7,33); a* (-5,24±2,77); b* (33,69±14,89); h° (99,43±38) e C* (34,39±14,99) por meio do método de leitura direta por colorímetro. Para L* o valor de R² (calibração) foi de 0,345 e RMSEC de 5,42, enquanto para RMSECV foi de 6,07, R² (validação) de 0,205 e RPD de 1,10. Para a* os valores obtidos foram de 2,49 quanto a RMSEC e 0,084 para R² (calibração), já para RMSECV foi de 2,58 e R² (validação) de 0,051 e RPD de 1,00. O b* apresentou R² (calibração) no valor de 0,181 e RMSEC de 13,20, ao mesmo tempo que, na validação cruzada foi de 0,115 para R² (validação) e 13,94 para RMSECV com RPD de 1,04. Em h° foi de 0,040 para R² (calibração) e 5,15 para RMSEC, enquanto o R² (validação) apresentou valor nulo e RMSECV de 5,42 com RPD de 0,97. Os valores encontrados em C* apontaram 0,181 para R² (calibração) e 13,25 de RMSEC. Na validação cruzada apresentou R² igual a 0,114 e RMSECV de 14,00 com RPD de 1,04.

Na literatura não foram identificados estudos utilizando NIRS para determinação de cor em amostras líquidas, todavia ROY et al. (2017) em um estudo em tomates, utilizaram imagens espectrais através do NIR/VIS para determinar parâmetros de cor (L*, a*, b*, h°, C*), onde encontraram valores de R² (calibração): 0,256 e RMSEC: 10,44 para (L*); R² (calibração): 0,743 e RMSEC: 13,07 para (a*); R² (calibração): 0,072 e RMSEC: 11,34 para (b*); R² (calibração): 0,908 e RMSEC: 9,78 para (h°) e R² (calibração): 0,147 e RMSEC: 16,92 para (C*). Para L* e C* os valores de R² foram próximos aos encontrados por ROY et al. (2017), enquanto que os valores RMSEC foram muito inferiores. Para a*, b* e h° os valores foram expressivamente diferentes.

FENG e MAKINO (2019) também utilizaram imagem espectral para expressarem os valores cromáticos (L*, a* e b*) em salsichas, contudo utilizaram o modelo R-PLSR (reflectância) com o tratamento MSC, onde encontraram valores de R² (calibração): 0,88, RMSEC: 2,08, R² (validação): 0,92 e RMSECV: 1,55 para (L*); R² (calibração): 0,98, RMSEC: 0,36, R² (validação): 0,92 e RMSECV: 0,61 para (a*) e R² (calibração): 0,99, RMSEC: 0,29, R² (validação): 0,58 e RMSECV: 2,20 para (b*). Com isso, observa-se que os valores de calibração foram superiores aos valores encontrados no presente estudo, ao mesmo tempo que os valores para validação cruzada foram superiores, essa divergência pode ter sido ocasionada pela diferença de textura das amostras, que variam

de líquida (tucupi) e sólidas (salsichas), assim como o modelo utilizado, uma vez que FENG e MAKINO (2019) utilizaram reflectância, enquanto que as leituras espectrais no tucupi foram feitas por transflectância.

Ressalta-se que embora o espectro tenha sido recortado no intuito de obter melhores resultados para predição dos resultados de calibração e validação, isso ainda não tornou os dados suficientes para realizar uma predição significativa dos parâmetros físico-químicos e colorimétricos realizados neste estudo, uma vez que os preditivos foram inferiores ao estipulado para este tipo de análise sendo estes ($R^2 > 0,800$) e ($RPD > 2,0$).

6. CONCLUSÃO

As análises físico-químicas e colorimétricas permitiram a quantificação das amostras, assim como a percepção de irregularidades, tanto nas amostras obtidas em feiras quanto as de supermercados, podendo-se afirmar que é necessária uma melhor inspeção dos parâmetros de qualidade do tucupi no estado do Pará.

A relação entre Feira \times Feira (F \times F), Feiras \times Supermercados (F \times S) e Supermercado \times Supermercado (S \times S) demonstraram que a diferença entre as amostras, de modo geral, não está concentrada no tipo de localização, já que a relação entre os estabelecimentos mostrou diferença significativa apenas em relação aos açúcares totais e teor de amido total, onde as feiras apresentaram resultados superiores, que pode ser explicado pela adição desses componentes, indicando a perda na qualidade dos tucupis. Quanto aos supermercados, dois estabelecimentos apresentaram acidez titulável acima do limite estabelecido pela legislação, além da diferença da intensidade de cor das amostras.

A leitura espectral utilizando NIR, expressa que apesar de apresentar baixo custo e menor tempo de análise, a sua utilização não foi eficaz para prever parâmetros de acidez titulável, açúcares totais, amido total, peso específico, pH, SST e parâmetros cromáticos (L^* , a^* , b^* , h° e C^*), devido a super saturação observada no espectro NIR e os valores obtidos na validação cruzada que são muito inferiores à muitos estudos realizados em amostras líquidas, assim como o tucupi. Considera-se que devido ao uso de um número reduzido de amostras a resposta espectral não foi satisfatória, o que provavelmente pode ser melhorado com o aumento do número amostral.

7. REFERÊNCIAS

ABREU, L.F.; MATTIETTO, R.A. Procedimentos de fabricação dos derivados de mandioca: Recomendações para obtenção de produtos seguros e de qualidade. **Cultura da mandioca**, p.224-225. 2016.

ABU-KHALAF, N.; HMIDAT, M. Espectroscopia Visível/Infravermelho Próximo (VIS/NIR) como um sensor óptico para avaliação da qualidade do azeite de oliva. **Computadores e eletrônicos na agricultura**, v.173. 2020.

ADEPARÁ. Instrução Normativa ADEPARÁ nº1 de 24 de junho de 2008. Padrão de Identidade e Qualidade do Tucupi. **Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará**, Belém, PA, 24 jun. 2008.

AFONSO, S. D. J.; LEDO, C.A.S.; MOREIRA, R.F.C.; SILVA, S.O.V.; LEAL, D.J.; CONCEIÇÃO, A.L.S. Seleção de descritores em umas características morfológicas consideradas em acessos de mandioca por meio de técnicas de análise multivariada. **Journal of Agricultura e Veterinária**, v.7, p.13-20. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos**. Brasília, DF, 22 set. 2005.

ALANDER, J.T., BOCHKO, V., MARTINKAUPPI, B., SARANWONG, S., MANTERE, T. A review of optical nondestructive visual and near-infrared methods for food quality and safety. **International Journal of Spectroscopy**, v.3. 2013.

ALMEIDA, P.B.; ARRIEL, N.H.C.; MEDEIROS, E.P.; MENDONÇA, S. **Utilização da espectroscopia NIR para predição de ácidos graxos em sementes intactas de gergelim**. V Congresso Brasileiro de Mamona / II Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas & I Fórum Capixaba de Pinhão Manso, 2012.

ALVES, N.B.; JÚNIOR, M.S.M.; CARDOSO, A.S. **Mandioca: agregação de valor e rentabilidade de negócios**. Embrapa Amazônia Oriental, p.223. 2019.

AMORIM, M.V.P. **Aplicação do infravermelho próximo aliada à calibração multivariada para construção da tecnologia analítica em processo na produção da**

olanzapina comprimidos revestidos. Natal, UFRN – PPGDITM. 2018.30p. (Tese Mestrado).

ASSIS, C.; GUIMARÃES, C.C.; SIMEONE, M.L.F.; SENA, M.M. **Previsão de BRIX em caldo de sorgo sacarino utilizando NIR, PLS e seleção de variáveis por OPS.** VI Workshop de Quimiometria, 2015.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis.** 16th ed. Washington, DC, 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of AOAC international.** 16th.ed. Rockville, MD, 1997.

BAHRAMI, M.E.; HONARVAR, M.; ANSARI, K.; JAMSHIDI, B.; Measurement of quality parameters of sugar beet juices using near-infrared spectroscopy and chemometrics. **Journal of Food Engineering**, v.271. 2019.

BARRETO, N.S.; MARQUES, E.J.N.; CARVALHO, E.S.S.; FREITAS, S.T.; MARQUES, A.B. **Determinação rápida de parâmetros físico-químicos em vinho tinto utilizando espectrômetro Vis/NIR portátil.** XXVI Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2019.

BAYE, T.M.; PEARSON, T.C.; SETTLES, A.M. Desenvolvimento de uma calibração para prever a composição de sementes de milho usando espectroscopia de infravermelho próximo de grão único. **J. Cereal Sci**, v.43, p.236. 2006.

BERRUETA, L.A.; ALONSO, R.M.S.; HÉBERGER, K. Supervised pattern recognition in food analysis. **Journal of Chromatography**, v. 1158, p.196-214. 2007.

BOER, L.; REJOWSKI, M. Dimensões da Hospitalidade em um Restaurante Comercial. **Turismo e Sociedade.** v.9, n.1, p.1-23. 2016.

BOTELHO, B.G.; MENDES, B.A.P.; SENA, M.M. Implementação de um método robusto para o controle fiscal de umidade em queijo minas artesanal. Abordagem metrológica multivariada. **Química Nova**, v.36, p.1–7. 2013.

BRIDI, A.M. (2014). **Consumo de carne bovina e saúde humana: convergências e divergências**. In: OLIVEIRA, R.C.; BARBOSA, M.A.A.F. **Bovinocultura de corte**. Salvador: Editora UFBA, 2014.

BRITO, B.N.C.; CHISTÉ, R.C.; LOPES, A.S.; GLÓRIA, M.B.A.; PENA, R.S. Influence of spontaneous fermentation of manipueira on bioactive amine and carotenoid profiles during tucupi production. **Food Research International**, v.120, p.209–216. 2019.

CABRAL, A.M. **Construção de modelos multivariados para determinação de lipídios totais e umidade em leite em pó comercial utilizando espectroscopia no infravermelho próximo**. Natal, UFRN - PPGQ. 2011.104p. (Tese Mestrado).

CAMPOS, A.P.R. **Estudo do processo de conservação do tucupi**. Belém, UFPA - PPGCTA. 2016.87p. (Tese Mestrado).

CARMO, J.R.; CAMPOS, A.P.R.; CARVALHO, A.V.; MATTIETTO, R.A. Avaliação das características físico-químicas e microbiológicas de tucupi comercial. **Embrapa Amazônia Oriental**, p.25. 2016.

CARVALHO, V.M.T.; SANTOS, E.F.; OLIVEIRA, S.C.P.; RAMOS, R.S.; FERREIRA, T.O.; SILVA, A.E. Caracterização física e físico-química do fruto sapoti oriundo de Santa Isabel do Pará. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.6, p.35185-35192. 2020.

CEN, H.; HE, Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. **Trends Food Sci. Technol**, v.18, p.72-83. 2007.

CHAUCHARDA, F.; COGDILL, R.; ROUSSEL, S.; ROGER, J.M.; BELLON-MAUREL, V. Least-squares support vector machines modelization for time-resolved spectroscopy. **Chemom. Intell. Lab. Syst**, v.71, p.141. 2004.

CHEEWAPRAMONG, P. **Use of Near-Infrared Spectroscopy for Qualitative and Quantitative Analyses of Grains and Cereal Products**. Lincoln, UNO - FSTD. 2007.169p. (Tese Mestrado).

CHISTÉ, R.C.; COHEN, K.O. Influência da fermentação na qualidade da farinha de mandioca do grupo d'água. **Revista Acta Amazônica**, v.41, n.2, p.279-284. 2011.

CHISTÉ, R.C.; COHEN, K.O.; OLIVEIRA, S.S. Estudo das propriedades físico-químicas do tucupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.3, p.437-440. 2007.

CHOUNG, M.G.; BAEK, I.Y.; KANG, S.T.; HAN, W.Y.; SHIN, D.C.; MOON, H.P.; KANG, K.H. Determination of protein and oil contents in soybean seed by near infrared reflectance spectroscopy. **Korean J. Crop Sci**, v.46, p.106. 2001.

CLÉMENT, R.C.; CRISTO, M.A.; D'EECKENBRUGGE, G.C.; PEREIRA, A.A.; PICANÇO, D.R. **Origin and domestication of native Amazonian crops. Diversity**, v.2, n.1, p.72-106, 2010.

COMISSION INTERNACIONAL DE L'ECLAIRAGE (CIE). Technical report: the spectroradiometric measurement of light sources. **Photocopy edition 1999**, p.63. 1984

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE): Spatial Distribution of Daylight. **CIE Stand General Sky**. 2020.

COSTA, F.S.L. **Cartas de controle multivariadas para o monitoramento simultâneo do teor de isoniazida e rifampicina em uma formulação farmacêutica empregando a espectroscopia no infravermelho próximo**. Natal, UFRN - PPGQ. 2014. (Tese Mestrado).

COSTA, T.S. Estudo do processo de concentração do tucupi e da elaboração de produtos à base de tucupi concentrado. Belém, UFPA - PPGCTA. 2016. (Tese Doutorado).

COSTA, T.S.; RODRIGUES, A.M.C.; PENA, R.S. Comportamento reológico de tucupi concentrado. **Food Sci. Technol**, v.39, n.3, p.684-690. 2019.

COSTA, T.S.; CARMO, J.R.; PENA, R.S. Powdered tucupi condiment: sensory and hygroscopic evaluation. **Food Sci. Technol**, v.38, p.33-40. 2018.

DÓSEA, R. R.; MARCELLINI, P. S.; SANTOS, A. A.; RAMOS, A. L. D.; LIMA, Á. S. Qualidade microbiológica na obtenção de farinha e fécula de mandioca em unidades tradicionais e modelo. **Ciência Rural**, v.40, n.2, p.441-446. 2010.

DUARTE, E.M.B. Elaboração, análises físico-químicas e degustação do queijo minas frescal adicionado de tucupi. Belém, UFRA. 2019. (Trabalho de Conclusão de Curso).

ESBENSEN, K.H.; GELADI, P. Principles of Proper Validation: use and abuse of resampling for validation. **Journal of Chemometrics**, v.24, p.168. 2010.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **El estado de la seguridad alimentaria y nutrición en el mundo – Fomentando la resiliencia climática em aras de la seguridad alimentaria y la nutrición**. Roma, 2018.

FENG, C-H.; MAKINO, Y. Colour analysis in sausages stuffed in modified casing with diferente storage days using hyperspectral imaging – A feasibility study. **Food Control**, v.111, p.107047. 2019.

FERREIRA, M.M.C. **Quimiometria: Conceitos, Métodos e Aplicações**. Campinas: Editora da Unicamp, 2015.

FIGUEIRA, L.C. **Espectroscopia Vibracional (no Infravermelho e Raman) e Espectrofotometria de absorção UV-VI dos óleos de buriti (Mauritia flexuosa) e de pataú (Oenocarpus batau)**. Santarém, UFOPA - PGRNA. 2012.72p. (Tese Mestrado)

FOLADOR, G. O.; BICUDO, M.O.; ANDRADE, E.F.; RENARD, C.M.G.C.; BUREAU, S. CASTILHOS, F. Previsão de características de qualidade de polpa de maracujá utilizando espectroscopia NIR e MIR. **LWT**, v.95, p.172-178. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAOSTAT). **Production, crops**. 2019.

FORCHETTI, D. A. P. **Avaliação de adulteração em alimentos por espectroscopia de imagem na região do infravermelho próximo e tratamentos quimiométricos**. Campinas, UNICAMP - IQ. 2017.105p. (Tese Doutorado).

FUHRMANN, E.; VIEIRA, E.A.; GELAPE, F.F.; FIALHO, J.F.; CARVALHO, L.J.C.B. **Caracterização morfológica de clones elite de mandioca de mesa amarelos biofortificados**. *Magistra*, v.28, n.3, p.427-438, 2016.

GALLO, L.V. **Determinação de parâmetros de qualidade em bananas utilizando espectroscopia no infravermelho e calibração multivariada**. Campinas, UNICAMP - DQA. 2008.63p. (Tese Mestrado).

GORI, A.; MAGGIO, R.M.; CERRETANI, L.; NOCETTI, M.; CABONI, M.F. Discrimination of grated cheeses by Fourier transform infrared spectroscopy coupled with chemometric techniques. **International Dairy Journal**, v.23, p.115-120. 2012.

GUO, J. Simultaneous variable selection and class fusion for high-dimensional linear discriminant analysis. **Biostatistics**, v.11, p.599–608. 2010.

HELGERUD, T.; WOLD, J.P.; PEDERSEN, M.B.; LILAND, K.H.; BALLANCE, S.; KNUTSEN, S.H.; RUKKE, E.O.; AFSETH, N.K. Towards on-line prediction of dry matter content in whole unpeeled potatoes using near-infrared spectroscopy. **Europe PMC**, v.143, p.138. 2015.

HIBBERT, D. B. Vocabulary of concepts and terms in chemometrics (IUPAC Recommendations). **Pure and Applied Chemistry**, v.88, n.4, p.407-443. 2016.

HOLLER, F.J. SKOOG, D.A. CROUCH, S.R. **Princípios de análise instrumental**, 5. ed. São Paulo, Bookman, 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p.21.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - Setembro 2020**. 2020.

JAMRÓGIEWICZ, M. Application of the near-infrared spectroscopy in the pharmaceutical technology. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v.66, p.1-10. 2012.

JIANQIANG, Z.; PANPAN, Y.; WEIJUAN, L.; YANMEI, Y.; TIAJUN, Y.; YING, H.; CHANGYU, L. Classificação rápida e automática de folhas de tabaco usando um dispositivo de espectroscopia portátil NIR baseado em DLP. **J. Braz. Chem. Soc.**, v.30, n.9, p.1927-1932. 2019.

KHALAFA, N.A.; HMIDAT, M. Visible/Near Infrared (VIS/NIR) spectroscopy as an optical sensor for evaluating olive oil quality. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.173. 2020.

KIRALJ, R.; FERREIRA, M.M.C. Basic validation procedures for regression models in QSAR and QSPR studies: theory and application. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.20, n.4, p.700-787. 2009.

LANG, C.; COSTA, C.; CAMARGO, C.; DURGANTE, M.; VICENTINI, A. A espectroscopia no infravermelho próximo facilita a identificação rápida de espécies arbóreas jovens e maduras da Amazônia. **PloS one**, v.10, p.1-15. 2015.

LAZZAROTTO, M.; SILVA, P.R.; PUGSLEY, B.; HANSEL, F.A.; MAGALHÃES, W.L.E. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição rápida de concentração de etanol em fermentados. (Comunicado Técnico). **Embrapa Florestas**, p.1-7. 2014.

LIRA, A.C.X.; COUTINHO, H.R.M.; FERST, M.C. Gastronomia do Amazonas: percepção dos permissionários da Praia do Tupé, Manaus, AM. **Turismo e Sociedade**, v.12, n.3, p.77-97. 2019.

MARQUES, E.J.N.; FREITAS, S.T.; NETO, A.F.; CAVALCANTE, I.H.L. Espectroscopia na região no infravermelho próximo (NIR): técnica analítica não destrutiva para determinação da qualidade de manga. **Embrapa Semiárido**, p.72-73. 2017.

MARQUES, E.J.N.; SILVA, B.O.S.; GUIMARÃES, I.T. FREITAS, S.T. **Avaliação do desempenho de espectrômetros NIR portáteis para a determinação não destrutiva da qualidade de manga “palmer”**. XXVI Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2019.

MILANI, M.I. **Desenvolvimento de metodologias analíticas para autenticação de café torrado e óleo de café verde**. Araraquara, UNESP - IQ. 2020. (Tese de Doutorado).

MOREIRA, A.C.O. **Espectroscopia NIR, CG-EM e Quimiometria para o Controle de Qualidade do Óleo de Copaíba (Copaifera spp.)**. Brasília, UnB – IQ. 2018 (Tese Doutorado).

NETO, F.F.G.; MARINO, G.; ARAUJO, M.C.U.; GALVÃO, R.K.H.; PONTES, M.J.C.; MEDEIROS, E.P. Classification of edible vegetable oils using square wave voltammetry with multivariate data analysis. **Talanta**, v.77, p.1660–1666. 2009.

OLIVEIRA, V.S. **Análise da autenticidade de cédulas de real utilizando espectroscopia NIR portátil e quimiometria.** Recife, UFPE - DQF. 2018. (Tese Mestrado).

PARANÁ. **Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Mandioca: análise da conjuntura agropecuária.** Curitiba, 2016.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.14, n.2. 2003.

PENA, R. S; COSTA, T. S; CARMO, J. R; BRAGA, A. C. C. Tucupi creamy paste: development, sensory evaluation and rheological characterization. **Food Sci. Technol.**, v.37, p.115-124. 2017.

PIRES, F.C.S. **Otimização do processo de obtenção do tucupi em pó em Spray Dryer.** Belém, UFPA - PPGCTA. 2015. (Tese Mestrado).

POLO, E.S.S. Características físico-químicas de amostras de molho de tucupi com pimenta comercializadas no município de Coari-AM. Coari, UFAM. 2014. (Relatório Final – PIBIC/FAPEAM).

PONTES, C.G.C. **Identificação de Fungos Contaminantes em Farinha de Mandioca (Manihot esculenta CRANTZ).** João Pessoa, UFPB - CCBSA. 2012 (Trabalho de Conclusão de Curso).

RAMBO, M.K.D.; FERREIRA, M.M.C. Análise de Resíduos Lignocelulósicos por Espectroscopia NIR Associada a Pré-tratamentos Multivariados Dentro do Contexto de Química Verde. **Rev. Virtual Quim.**, v.10, p.421-431. 2018.

RAMBO, M.K.D.; FERREIRA, M.M.C.; AMORIM, E.P. Multi-product calibration models using NIR spectroscopy. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.151, p.108-114. 2015.

RAMOS, E.M; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias.** 2. ed. Viçosa, UFV Minas Gerais, p.599, 2007.

RBC. **Rede Brasileira de Calibração**. SENAI/CETIQT - Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil. Rio de Janeiro, 2001.

RECH, A.F.; WERNER, S.S. Utilização da tecnologia NIRS para predição dos valores nutricionais de forrageiras. **Agropecuária Catarinense**, v.33, n.1, p.11-14. 2020.

RECH, A.M. **Caracterização de bebidas à base de soja empregando espectroscopia no infravermelho médio com transformada de Fourier por reflexão total atenuada e quimiometria**. Porto Alegre, UFRS - PPGQ. 2018. (Tese Mestrado).

REIS, F.M.; LÍVIO, J.; MAGATON, A.; FANTUZZI, H. Influência da geração de modelos de espectroscopia NIR, para previsão de Eucalyptus spp. **Árvore Magazine**, v.37, p.1165-1173. 2013.

RINNAN, Å.; BERG, F. VAN DEN; ENGELSEN, S. B.; Revisão das técnicas de pré-processamento mais comuns para espectros e infravermelho próximo. **Trends Anal. Chem.**, v.28, p.1201. 2019.

RODRIGUES, D.P. **Desenvolvimento e aplicação de modelo de calibração multivariada para determinação de açúcares e ácidos orgânicos em bebidas comerciais utilizando espectroscopia no infravermelho**. Pato Branco, UFTPR – PPGTP. 2016. 91p. (Tese Mestrado)

ROSSATO, R.; PRETE, C.E.C.; CASTRO, C.; TOMM, G.O.; LEITE, R.S.; MANDARINO, J.M.G.; ARAÚJO, P.M.; CARVALHO, C.G.P. Predição do teor de óleo em sementes de canola por espectroscopia de infravermelho próximo. **Pesq. Agropec. bras.**, v.48, n.12, p.1601-1604. 2013.

ROY, J.V.; KERESZTES, J.C.; WOUTERS, N.; KETELAERE, B.; SAYES, W. Measuring colour of vine tomatoes using hyperspectral imaging. **Postharvest Biology and Technology**, v.129, p.79-89. 2017.

SANDAK, J.; SANDAK, A.; MEDER, R. Avaliando árvores, madeira e produtos derivados com espectroscopia no infravermelho próximo: dicas e sugestões. **J. Near Spectrosc Infravermelho**, v.24, p.485-505. 2016.

SANTOS, F.A. **Quimiometria aplicada à metabolômica de Aldama La Llave: Contribuições quimiotaxonômicas e fitoquímica direcionada baseada em inibição de cicloxigease-1 e 5-lipoxegease.** Ribeirão Preto, USP - FCF. 2014.143p. (Tese Mestrado).

SANTOS, G.R. **Um estudo de QSAR sobre a interação de compostos arilpiperazínicos com o receptor 5-HT_{2a} utilizando os métodos PLS e ANN.** São Carlos, USP - IQ. 2017. (Tese Mestrado).

SAVITZKY, A.; GOLAY, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures **Anal. Chem.**, v.36, p.1627. 1964.

SENA, R.R. **Sistema de produção em casas de farinha: Uma contribuição ao processo de consiliação da indicação geográfica da farinha Uarini.** Belo Horizonte, UFMG – CEPEAD. 2019. 23-25p. (Tese Mestrado).

SHI, H.; YU, P. Comparison of grating-based near-infrared (NIR) and Fourier transform mid-infrared (ATR-FT/MIR) spectroscopy based on spectral preprocessing and wavelength selection for the determination of crude protein and moisture content in wheat. **Food Control**, v.82, p.57–65. 2017.

SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola.** Rio de Janeiro, 2019.

SINELLI, N.; CERRETANI, L.; DI EGIDIO, V.; BENDINI, A.; CASIRAGHI, E. Application of near (NIR) Infrared and mid (MIR) Infrared Spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity. **Food Research International**, v.43, p.369–375. 2010.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A.; **Princípios de Análise Instrumental.** 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

SOARES, F.T. **Espectroscopia do infravermelho médio e predição da concentração de macronutrientes em soluções concentradas de fertilizantes.** Campinas, Unicamp. 2020. (Tese mestrado).

SOUSA, L.C.; GOMIDE, J.L.; MILAGRES, F.R.; ALMEIDA, D.P. Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeiras de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v.21, p.591-599. 2011.

SOUZA, A.C.F.; VIANA, D.C.; SOUZA, J.F.; COSTA, A. L. P. Análises físico-químicas e microbiológicas da carne moída comercializada em açougues de três bairros da Zona Sul de Macapá – Amapá. **Research, Society and Development**, v.9, n.3, p.182932708. 2020.

SOUZA, A.M.; POPPI, R.J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: Um tutorial, parte I. **Química Nova**, v.35, n.1, p.223–229. 2012.

SOUZA, T.G.; SOUSA, N.C.G.; ROLIM, M. K. Q.; MELO, P.R.S.; ARAÚJO, M. R.L.; SOUZA, E.C.; SILVA, A.S. Análise físico-química, quimiométrica e sensorial de néctares de pêssego comercializadas em Belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.6, p.41555. 2020.

SUN, X.; SUBEDI, P.; WALKER, R.; WALSH, K.B. Previsão NIRS do teor de matéria seca de uma única azeitona com consideração de classificação variável para pré-tratamento de normalização. **Biologia e tecnologia pós colheita**, v.163. 2020.

TABELA DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ALIMENTOS (TABNUT). Departamento de informática em saúde. Escola Paulista de Medicina – Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). 2020.

THANGAVEL, K.; DHIVYA, K.; Determination of curcumin, starch and moisture content in turmeric by Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR). **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.12, p.264-269. 2018.

TREADO, P.J.; PRIORE, R.J.; NELSON, M.P. Handbook of Vibrational Spectroscopy. **John Wiley & Sons**. 2006.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. Uma revisão da aplicação recente da espectroscopia no infravermelho próximo à ciência e tecnologia da madeira. **Journal of Wood Science**, v.61, p.213-220. 2015.

VIEIRA, M.I.C.; TAVARES, F.J.C.; PINHEIRO, L.F.; SAMPAIO, V.S.; LUCENA, E.M.P. Variações físicas durante o crescimento dos frutos da ubaia- azeda. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.8, p.61042-61051. 2020.

VILAR, W.T.S. Desenvolvimento de metodologias analíticas baseadas em HPLC-DAD, espectroscopia no infravermelho e quimiometria para o controle de qualidade de repelentes de insetos. João Pessoa, UFPB - PPGQ. 2018. (Tese Doutorado).

WOLD, S.; SJOSTROM, M. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.58, p.109–130. 2001.

XAVIER, A.R.; LIMA, L.A. Saberes tradicionais do cultivo da mandioca (*Manihot esculenta*) e a produção de farinha: Estudo em Beberibe, Ceará. **Revista Cocar**, v.14, p.781-801. 2020.

XU, H.; QI, B.; SUN, T.; FU, X.; YING, Y. Seleção de variável no espectro visível e infravermelho próximo: Aplicação à determinação on-line do teor de açúcar em peras. **Journal of Food Engineering**, v.109, p.142-147. 2012.

XU, L.; SHI, W. CAI, C.; ZHONG, W. TU, K. Rapid and nondestructive detection of multiple adulterants in kudzu starch by near infrared (NIR) spectroscopy and chemometrics. **LWT - Food Science and Technology**, v.65, p.590-595. 2015.



Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Curso de Tecnologia de Alimentos
Travessa Enéas Pinheiro, 2626 – Marco
66095-490. Belém – PA
www.uepa.br