



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS
MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIAS NATURAIS**

NATHÁLIA UCHÔA DE CASTRO BESSA

EXTRAÇÃO E POTENCIAL PREBIÓTICO DE PECTINA DE CASCA DE PEQUI

**FORTALEZA - CEARÁ
2024**

NATHÁLIA UCHÔA DE CASTRO BESSA

EXTRAÇÃO E POTENCIAL PREBIÓTICO DE PECTINA DE CASCA DE PEQUI

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Naturais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para à obtenção do título de mestre em Ciências Naturais. Área de Concentração: Recursos Naturais

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Roselayne Ferro Furtado
Co-Orientadora: Dr^ª Laura Maria Bruno

FORTALEZA - CEARÁ
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo SidUECE, mediante os dados fornecidos pelo(a)

Bessa, Nathalia Uchoa de Castro.

Extração e potencial prebiótico de pectina de casca de pequi
[recurso eletrônico] / Nathalia Uchoa de Castro Bessa. - 2024.
58 f. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do
Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Mestrado
Acadêmico - Programa de Pós-graduação Em Ciências Naturais,
Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof.^a Dra. Roselayne Ferro Furtado.

Coorientação: Prof.^a. Dra. Laura Maria Bruno.

1. Caryocar coriaceum. 2. Mesocarpo externo. 3. Pectinas.
 4. Prebióticos . I. Título.
-

NATHÁLIA UCHÔA DE CASTRO BESSA

EXTRAÇÃO DE PECTINA DE CASCA DE PEQUI E POTENCIAL PREBIÓTICO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Naturais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para à obtenção do título de mestre em Ciências Naturais. Área de Concentração: Recursos Naturais

Aprovada em: 19/12/2024

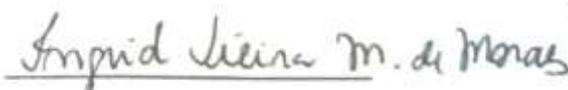
BANCA EXAMINADORA



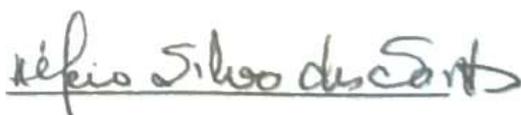
Profa. Dra. Roselayne Ferro Furtado



Profa. Dra. Laura Maria Bruno



Profa. Dra. Ingrid Vieira Machado de Moraes



Prof. Dr. Hécio Silva dos Santos

RESUMO

Embora existam estudos sobre as características e aplicações de materiais derivados do pequi, o grande volume de resíduos gerado pelo consumo deste fruto ainda é subaproveitado. Esses resíduos podem ser usados para novas aplicações, especialmente na agregação de valor ao fruto e seus subprodutos. O objetivo geral deste estudo foi identificar melhores parâmetros para a extração de pectinas a partir do mesocarpo externo de pequi com ácido cítrico e avaliar o potencial prebiótico das pectinas obtidas. O impacto de três variáveis: pH, temperatura e tempo foi avaliado sobre o rendimento e as propriedades químicas (teor de ácido galacturônico e grau de esterificação) e físico-química (índice de escurecimento) das pectinas extraídas pela utilização de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). O ácido cítrico foi empregado como alternativa aos ácidos minerais comumente usados nesse tipo de extração. As amostras de pectina que apresentaram valores iguais ou superiores a 65% de ácido galacturônico foram selecionadas para avaliação do potencial prebiótico para o crescimento da bactéria *Lactobacillus rhamnosus* GG, além da avaliação da toxicidade usando modelos de *zebrafish*. Com base nos resultados de DCCR de teor de ácido galacturônico e percentual de rendimento foi encontrada a seguinte melhor condição de extração: pH de 2,5, temperatura de 73°C e tempo de cerca de 70 minutos. Para as respostas de grau de esterificação e índice de escurecimento nas condições indicadas obteve-se pectina de alto grau de esterificação e com índice de escurecimento mediano referente a 60%. O aumento do pH de extração tendeu a gerar pectinas de baixo grau de esterificação. As amostras quando comparadas ao controle apresentaram um potencial prebiótico exceto a condição de extração de 84°C, 60 minutos e pH 1,91. Nenhuma das pectinas extraídas mostraram toxicidade nos testes realizados com *zebrafish*, sugerindo um certo nível de segurança, sendo necessário mais análises para possíveis aplicações futuras. A principal contribuição deste estudo é a proposta de uma nova aplicabilidade para a casca do pequi, ao demonstrar o potencial prebiótico das pectinas extraídas, o que pode agregar valor a esse resíduo e oferecer uma solução sustentável para o aproveitamento deste subproduto desse fruto.

Palavras-chave: *Caryocar coriaceum*. Mesocarpo externo. Pectinas. Prebióticos.

ABSTRACT

Although there are studies on the characteristics and applications of materials derived from pequi, the large volume of waste generated by the consumption of this fruit is still underutilized. This waste can be used for new applications, especially in adding value to the fruit and its byproducts. The general objective of this study was to identify the best parameters for the extraction of pectins from external mesocarp of pequi with citric acid and to evaluate the prebiotic potential of the pectins obtained. The impact of three variables, pH, temperature, and time, was evaluated on the yield and chemical properties (galacturonic acid content and degree of esterification) and physicochemical properties (browning index) of the pectins extracted using a Central Composite Rotational Design (CCRD). Citric acid was used as an alternative to the mineral acids commonly used in this type of extraction. Pectin samples that presented values equal to or greater than 65% galacturonic acid were selected to evaluate the prebiotic potential for the growth of the bacteria *Lactobacillus rhamnosus* GG and toxicity evaluation using zebrafish models. Based on the DCCR results of galacturonic acid content and percentage yield, the best extraction conditions were found: pH of 2.5, temperature of 73°C, and approximately 70 minutes. For the responses of esterification degree and browning index under the indicated conditions, pectins with a high degree of esterification and a median browning index of 60% were obtained in the assays. Increasing the extraction pH tended to generate pectins with low esterification. Compared to the control, the samples presented prebiotic potential except for the extraction condition of 84°C, 60 minutes, and pH 1.91. None of the extracted pectins showed toxicity in the tests performed with zebrafish, suggesting a certain level of safety, requiring further analysis for possible future applications. The main contribution of this study is the proposal of a new applicability for the pequi peel by demonstrating the prebiotic potential of the extracted pectins, which can add value to this residue and offer a sustainable solution for the use of this byproduct.

Keywords: *Caryocar coriaceum*. External mesocarp. Pectins. Prebiotic.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a*	Coordenadas de Cromaticidade
AGE	Alto grau de esterificação
AGCC	Ácidos graxos de cadeias curtas
AE	Área dos picos carboxílicos esterificados
AL	Área dos picos dos grupos carboxílicos não esterificados.
b*	Coordenadas de Cromaticidade b
BGE	Baixo grau de esterificação
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FOS	Frutooligossacarídeos
FTIR	Transformada de Fourier
GE	Grau de Esterificação
GOS	Galactooligossacarídeos
GRAS	<i>Generally Recognized As Safe</i>
h	Ângulo Hue
HG	Homogalacturonano
KBr	Brometo de Potássio
L*	Luminosidade
R ²	Coefficiente de Determinação
RG-I	Ramnogalacturonano-I
RG-II	Ramnogalacturonano-II
T	Temperatura
V	Viscosidade
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Eespecíficos.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	Pequi.....	13
3.2	Pectina.....	16
3.2.1	Fontes de Pectinas.....	13
3.2.2	Aspectos fisiológicos da pectina.....	17
3.2.3	Classificação das pectinas.....	18
3.2.3.1	<i>Pectinas de alto grau de esterificação (AGE)</i>.....	18
3.2.3.2	<i>Pectinas de baixo grau de esterificação (BGE)</i>.....	19
3.2.3.3	<i>Pectinas amidadas</i>.....	20
3.2.4	Tipos de extração.....	20
3.2.4.1	<i>Método químico</i>.....	20
3.2.4.2	<i>Método físico</i>.....	21
3.2.4.3	<i>Método enzimático</i>.....	22
3.2.5	Aplicações.....	22
3.2.6	Regulamentação.....	23
3.3	PREBIÓTICOS.....	25
3.3.1	Propriedades.....	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1	Obtenção e preparo da matéria prima.....	27
4.2	Delineamento experimental e análise estatística.....	28
4.3	Extração da pectina.....	28
4.4	Rendimento.....	29
4.5	Análise de FTIR.....	30
4.6	Ácido Galacturônico.....	30

4.7	Reologia.....	30
4.8	Colorimetria.....	31
4.9	Análise Toxicidade.....	31
4.10	Potencial Prebiótico.....	32
5	Resultados.....	32
5.1	Extração das pectinas por DCCR.....	32
5.2	Rendimento.....	33
5.3	FTIR.....	35
5.4	Grau de esterificação	36
5.5	Teor de ácido galacturônico.....	38
5.6	Análise colorimétrica.....	40
5.7	Potencial Prebiótico.....	40
5.8	Teste de Toxicidade.....	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
7	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	APÊNDICE A – TABELA COLORIMETRIA.....	58

1 INTRODUÇÃO

A pectina é um polissacarídeo estrutural presente nas paredes celulares das plantas, amplamente utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética devido às suas propriedades gelificantes, estabilizantes e espessantes. A crescente demanda por produtos naturais e saudáveis tem impulsionado a pesquisa e o uso de métodos eficientes de extração de pectina. Além das aplicações habituais e comumente conhecidas novas pesquisas mostram as pectinas como potenciais prebióticos, agentes sequestradores de íons, agentes antiglicêmicos, agente ansiolítico dentre outros.

O aumento de pesquisas que buscam soluções sustentáveis e viáveis para materiais orgânicos descartados surgiram com o intuito de utilizar resíduos como matéria-prima para produção e extração de materiais. Um grande número de estudos atuais trabalha com subprodutos de frutos com o intuito de obter pectinas, como o pequi que apesar de ser promissor existem poucas pesquisas utilizando esse fruto.

O pequi é um fruto encontrado no cerrado brasileiro e é principal fonte de renda para diversas famílias. A sua casca constituída pelo epicarpo e mesocarpo externo correspondem a cerca de 80% da massa do fruto, porém esse resíduo acaba não sendo aproveitado mesmo com estudos mostrando possuir mais antioxidantes do que a porção comestível (Silva et al., 2016). Trabalhos como de Siqueira et al. (2022) e Leão et al. (2018) trazem novas possibilidades de aplicação para esse subproduto ao realizarem a extração de pectinas.

A extração de pectina é realizada, principalmente, por processos químicos, físicos e enzimáticos (Guadalini, Rodrigues, Marczak, 2019, Jong et al., 2024). O método químico é o mais tradicional e amplamente utilizado, envolvendo a utilização de ácidos minerais como ácido clorídrico ou ácido sulfúrico para hidrolisar as paredes celulares e liberar a pectina (Adentuji et al., 2017). Trabalhos como o de Lee e Choo (2020) destacam a importância ao uso de ácidos alternativos aos minerais e apresentam uma comparação entre a utilização e benefícios da troca de ácido minerais por ácidos orgânicos no processo de extração de pectinas.

Reconhecida como uma fibra dietética de grande relevância, a pectina tem sido objeto de estudos que destacam o seu potencial prebiótico, sugerindo aplicações benéficas nos processos metabólicos (Guo et al., 2023; Huang et al., 2024). O consumo de prebióticos pode promover o crescimento de bactérias benéficas, ao mesmo tempo que previne o desenvolvimento de bactérias patogênicas, contribuindo para a manutenção da saúde intestinal (Slavin, 2013). Além disso, os prebióticos podem melhorar a absorção de minerais como cálcio e magnésio, favorecendo a saúde óssea (Carvalho, 2019). Há também indícios de que esses

compostos podem ajudar no controle da glicemia em pessoas com diabetes tipo 2, uma vez que a modulação da microbiota intestinal pode aumentar a sensibilidade à insulina (Gibson et al., 2017).

Este trabalho tem como objetivo explorar a extração de pectina utilizando o método químico a partir do ácido cítrico explorando variações de pH, tempo e temperatura com intuito de identificar como esses parâmetros interferem no produto final obtido, bem como avaliar o potencial prebiótico das pectinas extraídas do mesocarpo externo (casca) de pequi.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Identificar melhores parâmetros para a extração de pectinas utilizando o mesocarpo externo de pequi com ácido cítrico e avaliar o potencial prebiótico das pectinas obtidas.

2.2 ESPECÍFICOS

- Extrair pectinas com ácido cítrico a partir de um delineamento experimental DCCR utilizando como variáveis independentes pH, tempo e temperatura.
- Caracterizar as pectinas quanto ao grau de esterificação, porcentagem de ácido galacturônico, rendimento, cor e viscosidade.
- Avaliar o potencial prebiótico das pectinas de pequi por meio de testes in vitro de densidade ótica.
- Avaliar a toxicidade das pectinas extraídas frente a *zebrafish*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

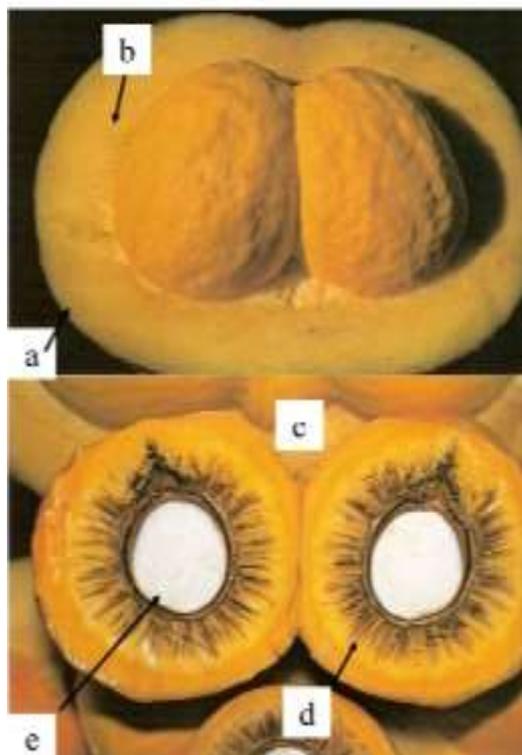
3.1 PEQUI

O pequi, um fruto nativo da região do cerrado brasileiro, é amplamente conhecido por suas características nutricionais e bioativas. Duas espécies são mais conhecidas: *Caryocar brasiliense* e *Caryocar coriaceum*, sendo a segunda a mais comumente presente na região do cerrado do Ceará. O fruto, de coloração amarela intensa e aroma característico, é tradicionalmente consumido em diversas regiões do Brasil, sendo utilizado tanto na culinária quanto na medicina popular (Silva, Lima e Cavalli, 2019).

O pequi é composto por uma polpa rica em lipídios, proteínas, carboidratos, fibras e minerais, além de conter substâncias bioativas, como carotenoides e compostos fenólicos, que lhe conferem propriedades antioxidantes (Leão et al., 2017).

A figura 1 mostra como as partes do fruto: exocarpo ou epicarpo, mesocarpo externo, mesocarpo interno ou polpa porção comestível do fruto(c), endocarpo(d) amêndoa (e).

Figura 1 – Corte transversal para melhor visualização da estrutura do fruto do pequi, exocarpo (a), mesocarpo externo (b), mesocarpo interno ou polpa porção comestível do fruto(c), endocarpo(d) amêndoa (e).



Fonte: Belo, 2009

A polpa do pequi destaca-se por seu elevado teor de lipídios, com ácidos graxos monoinsaturados (principalmente o ácido oleico) representando uma grande proporção do seu conteúdo de gordura (Leal, 2017). Estes ácidos graxos são amplamente conhecidos por seus benefícios à saúde cardiovascular. Além disso, o fruto é uma boa fonte de fibras dietéticas, vitaminas (particularmente vitamina A) e minerais como potássio, magnésio e fósforo (Leal, 2017).

A casca do pequi composta pelo epicarpo e mesocarpo externo é rica em carboidratos (Tabela 1) e corresponde a cerca de 80% da massa total do fruto (Silva et al., 2016, Vera et al., 2005). Esse subproduto pode ser utilizado para a fabricação de sabão, ração animal e tintas, além disso a farinha processada deste material por conter alto teor de fibras alimentares sugere uma possível aplicação para uso como alimento funcional (Silva et al., 2016).

Tabela 1 – Composição média da farinha de Pequi obtida do mesocarpo externo do pequi reportada por diferentes autores.

Componente	Quantidade	Referências
Proteína	2,69%	Leal, 2017
Lipídeos	0,85-1,32%	Soares júnior et al., 2010; Siqueira et al., 2013
Teor de água	2,95%	Leal, 2017
Carboidratos	93%	Soares júnior et al., 2010; Siqueira et al., 2013
Cinzas	2,43%	Leal, 2017
Pectina	3,33%	Boas et al., 2013

Fonte: próprio autor

Os carotenoides presentes no pequi, especialmente o beta-caroteno, são responsáveis por suas propriedades antioxidantes, ajudando a neutralizar os radicais livres e prevenindo o estresse oxidativo. Estudos demonstram que o consumo de alimentos ricos em carotenoides pode estar associado à redução do risco de doenças crônicas, como câncer, diabetes e doenças cardiovasculares (Gomes, 2007; Viana, Adorno e Santos, 2022)

Além da sua ação antioxidante, o pequi também apresenta propriedades anti-inflamatórias (Oliveira et al., 2010). Pesquisas indicam que os compostos bioativos do fruto, incluindo os ácidos graxos e compostos fenólicos, podem modular processos inflamatórios no organismo, o que pode ser benéfico no tratamento e prevenção de condições como artrite, doenças metabólicas e inflamações crônicas (Mozaffarian e Wu, 2011; Kromhout et al., 2012).

No setor alimentício, a polpa do fruto é utilizada na preparação de pratos típicos e produtos derivados, como óleos e conservas (Cândido et al., 2012). Porém, recentemente, o interesse industrial pelo pequi tem crescido devido ao seu potencial como fonte de ingredientes funcionais para o desenvolvimento de alimentos saudáveis e cosméticos. Na medicina tradicional, o óleo extraído do pequi é utilizado como emoliente e cicatrizante, sendo aplicado em tratamentos tópicos para queimaduras e feridas (Bailão et al., 2015).

Pesquisas têm investigado o potencial do fruto como fonte de pectina, um polissacarídeo utilizado na indústria alimentícia para a formação de géis e como espessante. A extração de pectina a partir das cascas do pequi por métodos como a extração assistida por micro-ondas revelou rendimentos promissores, ampliando as perspectivas de aproveitamento de subprodutos do fruto na economia circular (GFI Brasil, 2021).

Essas propriedades tornam o pequi uma espécie com grande potencial econômico e biotecnológico, especialmente em regiões do cerrado, onde ele já desempenha um papel importante na cultura local e na sustentabilidade (Ribeiro et al., 2012).

3.2 PECTINAS

3.2.1 Fontes de Pectinas

A pectina está presente no tecido vegetal com uma concentração média que varia entre 2 a 10% (nas paredes celulares primárias de gramíneas e secundárias) e até 35% (em dicotiledôneas e monocotiledôneas, excluindo gramíneas). Esta substância está amplamente distribuída nas lamelas internas das células e representa cerca de um terço das suas paredes (Reichembach e Petkowicz, 2021; Dryshya e Wani, 2024). Apesar de ser encontrada em vários tecidos vegetais, apenas um número limitado de materiais é utilizado na produção comercial de pectina, sendo as principais fontes a casca de laranja, o bagaço de maçã, a polpa de beterraba sacarina e o limão (Ripoll e Hincapié-Llanos, 2023).

O elevado teor de pectina em diversos materiais vegetais oferece oportunidades para reaproveitar resíduos não utilizados da agricultura, agroindústria e indústria alimentar,

promovendo assim a expansão da produção de pectina e o fortalecimento da economia circular (Roman-Benn et al., 2023). No entanto, o uso de fontes alternativas para a extração de pectina depende de vários fatores, tanto da matéria-prima quanto da própria pectina. Entre os fatores ligados à matéria-prima estão a sua disponibilidade, sazonalidade, logística e teor de pectina. No que diz respeito a pectina, destacam-se a sua composição química, estrutura, características moleculares e capacidade de formar gel (Reichembach e Petkowicz, 2021).

Pesquisas recentes têm explorado novas fontes potenciais de pectina, avaliando as suas propriedades físico-químicas e de qualidade com vista a otimizar o seu uso em diferentes indústrias. Leão et al. (2018) confirmaram o potencial das cascas de pequi para obtenção de pectina através de extração assistida por micro-ondas. O rendimento variou entre 9,91 e 20,79%, sendo a temperatura o principal fator que influenciou os resultados, com maiores rendimentos observados em cascas com exocarpo e mesocarpo. No entanto, amostras contendo apenas mesocarpo externo apresentaram alto grau de esterificação (>50%), uma característica que afeta o mecanismo de formação de gel da pectina e, conseqüentemente, as suas aplicações.

Ahsan et al. (2024) investigaram a extração ácida de pectina das cascas de banana maduras e verdes como possíveis substitutos de gordura em produtos de panificação, com um rendimento de 16,46% em pH de 1,5 e 250 minutos. Ribeiro et al. (2021) estudaram o potencial da pectina extraída do bagaço de caju, alcançando um rendimento de 62,6%. Outras matérias-primas exploradas para a obtenção de pectina foram bagaço de caju (Yapo e Koffi, 2013), casca de romã (Abid et al., 2017), resíduos de berinjela (Kazemi, Khodaiyan e Hosseini, 2019) e casca de manga (Gemechu, Emire e Zewdie, 2024).

3.2.2 Aspectos fisiológicos da pectina

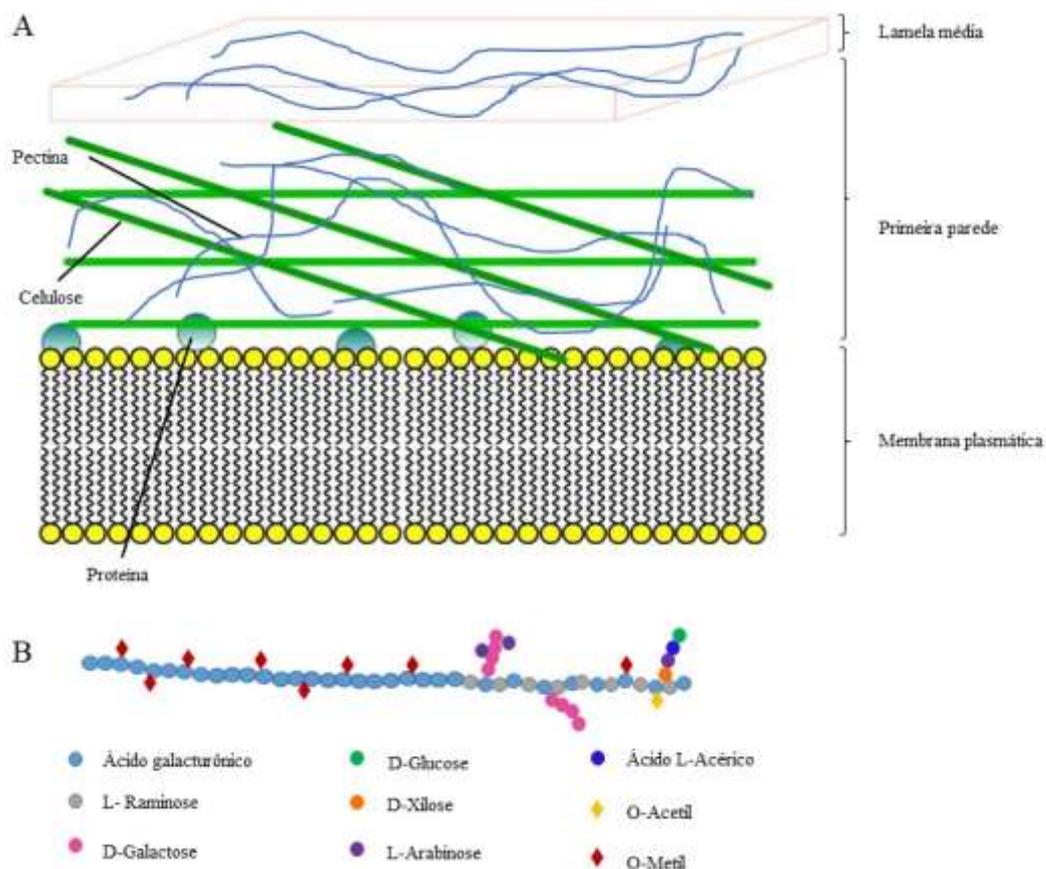
A pectina é um componente essencial das paredes celulares primárias e da lamela média das plantas, representando até 30% da massa seca dessas estruturas (Figura 2. A). Do ponto de vista fisiológico, a pectina desempenha um papel essencial na regulação da plasticidade da parede celular, facilitando processos como crescimento celular, maturação dos frutos e respostas de defesa das plantas a estresses bióticos e abióticos (Mohnen, 2008). Apresentam estruturas muito complexas e geralmente variam significativamente dependendo das matérias-primas e dos métodos de extração empregados (Cui et al., 2021; De Laet et al., 2024).

A pectina é composta por três principais domínios estruturais (Figura 2. B), Homogalacturonano (HG), Ramnogalacturonano-I (RG-I) e Ramnogalacturonano-II (RG-II).

O HG é formado por resíduos de ácido galacturônico ligados por ligações glicosídicas α -(1→4), com grupos carboxila que podem ser metilados na posição C-6 e/ou O-acetilados nas posições C2 e C3, dependendo da planta. A degradação controlada dessa estrutura por enzimas pectinolíticas permite processos de abscisão e desdiferenciação celular, fenômenos fisiológicos importantes em várias fases do desenvolvimento vegetal (Taiz et al., 2017).

RG-I são unidades dissacarídicas repetidas de ramnose e ácido galacturônico, com ramificações de açúcares neutros como galactose, xilose, frutose e arabinose, e a RG-II trata-se da forma mais complexa que existe como um dímero ligado por ponte de borato, com a cadeia principal de ácido galacturônico que pode ser metilado. Devido às várias modificações estruturais naturais, a pectina não apresenta peso molecular definido, o que contribui para sua versatilidade e aplicações (De Laet et al., 2024; Liu et al., 2024; Yang et al., 2024).

Figura 2 – A) Localização da pectina na parede celular. B) Representação da estrutura da pectina



Fonte: Próprio autor

A pectina participa ativamente no processo de expansão celular. Durante o crescimento, a modificação na esterificação do ácido galacturônico afeta a rigidez e plasticidade da parede celular, facilitando a expansão sob a pressão de turgor (Cosgrove, 2005). Além de sua função no crescimento, a pectina tem papel fundamental na maturação e senescência de frutos. A despolimerização e solubilização das pectinas são processos fisiológicos de suma importância no amolecimento de frutos durante a fase de maturação, processo mediado por enzimas como a poligalacturonase e a pectinmetilesterase (Brummell, 2006). Estes eventos promovem alterações na textura, tornando os frutos mais macios, um atributo importante na palatabilidade e qualidade de produtos hortícolas (Canteri et al., 2012).

As pectinas também estão envolvidas na resposta das plantas a estresses abióticos e bióticos. Em situações de estresse mecânico ou ataque patogênico, a degradação controlada das pectinas na lamela média pode induzir o fortalecimento de barreiras físicas, como a formação de calose, ou desencadear a liberação de oligogalacturonídeos, que atuam como moléculas sinalizadoras no sistema imune das plantas (Torrezan e Labate, 2023). Estes oligossacarídeos servem como elicitores, estimulando respostas de defesa, incluindo a produção de espécies reativas de oxigênio e a ativação de genes de defesa (Vale, Santos e Silva, 2018).

3.2.3 Classificação das pectinas

A pectina é um heteropolissacarídeo que desempenha um papel fundamental na estrutura das paredes celulares das plantas. Sua classificação baseia-se principalmente no grau de esterificação, que afeta diretamente suas propriedades físico-químicas e suas aplicações industriais. A partir do grau de esterificação, as pectinas podem ser classificadas em dois grandes grupos: pectinas de alto grau de esterificação (AGE) e pectinas de baixo grau de esterificação (BGE) (Mohnen, 2008). A desesterificação enzimática ou química pode ser usada para ajustar o grau de esterificação e melhorar as propriedades gelificantes, enquanto a modificação através de radiação ou processos térmicos pode aumentar sua estabilidade e funcionalidade em diferentes condições de processamento (Jong et al., 2023).

3.2.3.1 Pectinas de alto grau de esterificação (AGE)

As pectinas de alto teor de esterificação são aquelas que apresentam um grau superior a 50%. Este tipo de pectina requer condições ácidas e altas concentrações de açúcar para formar géis, sendo amplamente utilizada na indústria alimentícia para a produção de

geleias, marmeladas e produtos de confeitaria (Willats et al., 2001). A formação de gel em pectinas AGE ocorre por meio de interações hidrofóbicas entre as cadeias de pectina parcialmente esterificadas e moléculas de água, promovidas pela adição de açúcares que desidratam o sistema e favorecem a reticulação (Schols; Voragen, 2002).

3.2.3.2 Pectinas de baixo grau de esterificação (BGE)

Por outro lado, as pectinas de baixo teor de metoxilas possuem um grau de esterificação inferior a 50%. Diferentemente das AGE, as BGE não requerem grandes concentrações de açúcar ou condições ácidas para formar géis. Em vez disso, a formação de gel ocorre em presença de íons bivalentes, como o cálcio, que promovem a reticulação entre as cadeias de ácido galacturônico desesterificadas, similar a uma "caixa de ovo" (egg-box model) de estabilização (Jong et al., 2024). As BGE são amplamente aplicadas em produtos de baixo teor de açúcar e em alimentos funcionais, devido às suas propriedades gelificantes sob condições moderadas e à sua versatilidade no desenvolvimento de texturas (Ripoll et al., 2015).

3.2.3.3 Pectinas amidadas

Além das classificações tradicionais baseadas no grau de esterificação as pectinas também podem ser modificadas por processos de amidificação, resultando nas chamadas pectinas amidadas. Nestas, uma porção dos grupos carboxílicos livres do ácido galacturônico é convertida em amida, o que altera suas propriedades de gelificação.

As pectinas amidadas apresentam maior resistência a variações de pH e concentração de cálcio, sendo amplamente usadas na indústria alimentícia para aplicações específicas, como produtos que exigem texturas estáveis (Picot-Allain, Ramasawmy e Emmambux, 2020).

3.2.4 Tipos de Extração de pectinas

3.2.4.1 Método Químico

Os métodos químicos de extração de pectinas são os mais amplamente utilizados na indústria. Geralmente, as pectinas são extraídas usando soluções ácidas, como ácido clorídrico, ácido cítrico ou ácido sulfúrico, em temperaturas elevadas (entre 60°C e 90°C). Esse

processo rompe as ligações entre as pectinas e as outras macromoléculas da parede celular, como celulose e hemicelulose, promovendo a solubilização do ácido poligalacturônico (Albano; Nogueira, 2014).

A eficácia da extração química depende de vários fatores, como o tipo de ácido, a concentração, a temperatura e o tempo de extração. Segundo Oliveira et al. (2016), a extração ácida de pectinas de cascas de laranja com ácido clorídrico a pH 2,0 e temperatura de 80°C durante 2 horas resultou em um rendimento de 12% de pectina, com características desejáveis para a indústria de geleias e compotas. No entanto, a extração ácida pode degradar parcialmente as cadeias de pectina, o que afeta suas propriedades de gelificação.

Alternativamente, soluções alcalinas podem ser usadas, embora menos comuns. A extração alcalina, realizada com hidróxido de sódio, por exemplo, pode ser vantajosa para a obtenção de pectinas com diferentes características estruturais, como um menor grau de metoxilação. Isso pode aumentar a funcionalidade das pectinas em formulações alimentares que requerem géis formados com íons cálcio (Canteri et al., 2012).

Adequando as condições de extração é possível observar vantagens para o rendimento apenas alterando o tipo de ácido utilizado. Lee e Choo (2020) apresentaram uma comparação entre a utilização de ácido cítrico e ácido clorídrico para a extração de pectinas presentes na casca da melancia, obtendo como resultado rendimentos melhores quando utilizado ácido cítrico.

Na literatura foram relatados apenas três trabalhos que utilizam os resíduos de pequi como fonte de extração de pectinas, em todos os trabalhos foi utilizado ácido cítrico para ter um processo mais limpo. Siqueira et al., 2012 trabalharam com a variação na concentração de ácido cítrico de 1 a 9% (m/v), além da variação de tempo (60 a 180 min) e de temperatura (68 a 98°C) e obtiveram rendimentos entre 14,89% e 55,86%, mas apenas pectinas baixo grau de esterificação. Siqueira et al., 2022 trabalharam com três concentrações de ácido cítrico (1, 4, 8%), dois tempos (80 e 160 min) e duas temperaturas (80 e 100°C), e obtiveram rendimentos de até 26,6% com pectinas de baixo e alto grau de esterificação. Leão et al., 2017 estudaram o uso de ácido cítrico em conjunto com micro-ondas e como resultados o rendimento máximo foi de 20,76% e todas as pectinas extraídas foram de alto grau de esterificação.

3.2.4.2 Método Físico

Os métodos físicos de extração de pectinas têm ganhado destaque nos últimos anos por serem considerados mais sustentáveis, uma vez que utilizam menos solventes químicos e

energia. Entre os principais métodos físicos estão o aquecimento assistido por micro-ondas e a extração assistida por ultrassom, ambos comumente utilizados para aumentar a eficiência e o rendimento da extração.

A extração assistida por micro-ondas baseia-se na capacidade das micro-ondas de aquecer rapidamente o material vegetal, promovendo a quebra das paredes celulares e liberando a pectina em um curto período de tempo. De acordo com Leão et al. (2017), a extração de pectinas de casca de pequi utilizando micro-ondas resultou em rendimentos de até 20%, além de reduzir o tempo de extração de várias horas para apenas alguns minutos. Esse método também é eficiente na preservação da estrutura da pectina, mantendo um alto grau de esterificação. Apesar das vantagens apresentadas o processo de extração por micro-ondas pode acabar comprometendo o rendimento do material, já que o aumento da potência pode superaquecer e acabar degradando a pectina presente (Kute et al., 2015).

Outro método físico relevante é a extração assistida por ultrassom, que utiliza ondas sonoras de alta frequência para gerar cavitação nas células vegetais, facilitando a liberação de pectinas. A técnica tem sido amplamente estudada para aumentar o rendimento e a qualidade da pectina, com menor degradação estrutural quando comparada aos métodos químicos tradicionais (Chen et al., 2017). Os estudos de Bagherian et al. (2011) demonstraram que a extração assistida por ultrassom de pectinas de beterraba sacarina resultou em uma extração mais rápida e eficiente, com melhor preservação das características gelificantes das pectinas. Apesar das vantagens, a extração por ultrassom pode acabar gerando um efeito oposto ao esperado e acabar degradando as pectinas produzidas em decorrência ao efeito de saturação que ocorre devido ao alto número de bolhas (Xu et al., 2014).

3.2.4.3 Método Enzimático

Extrações enzimáticas de pectinas dependem das reações que ocorrerem de forma específica e seletiva. As enzimas são utilizadas com o intuito de quebrar os componentes presentes na parede celular facilitando a liberação de pectinas presentes, além da diminuição do tempo de reação necessário para esse processo (Yang et al., 2018; Adentuji et al., 2017). Nos trabalhos de Maric et al. (2018) e Zoghi et al. (2021) são apresentados alguns benefícios da utilização de enzimas no processo de extração de pectinas sendo alguns deles: a não corrosão ácida dos equipamentos, sem necessidade de aquecimento reduzindo o gasto energético e a especificidade das enzimas resultando em pectinas com melhor qualidade. Este tipo de extração pode acabar não sendo o mais adequado uma vez que a elevação do custo das enzimas pode

não trazer resultados consideráveis no rendimento e na qualidade na pectina extraída (Dranca e Oroian, 2019).

3.2.5 Aplicações

A classificação das pectinas tem grande relevância nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. As pectinas de alto grau de esterificação são usadas principalmente em alimentos de alta concentração de açúcar, como geleias e doces, enquanto as pectinas de baixo teor de metoxilas são ideais para produtos de baixo teor de açúcar, como iogurtes e geleias dietéticas (Thakur et al., 1997). Além disso, as pectinas têm aplicações em sistemas de liberação controlada de fármacos, como agentes de encapsulamento e em formulações cosméticas para promover a viscosidade e a estabilidade de emulsões (Gomez et al., 2013).

Devido às suas propriedades gelificantes e capacidade de formar ligações com moléculas de água e compostos orgânicos, a pectina tem efeitos positivos sobre o trato gastrointestinal. Ao ser ingerida, ela atua como uma fibra solúvel, retardando a absorção de açúcares e colesterol, auxiliando no controle glicêmico e na redução dos níveis de colesterol plasmático, o que pode diminuir o risco de doenças cardiovasculares (Nakamura & Miyoshi, 2010). Além disso, estudos indicam que a pectina pode ter propriedades prebióticas, promovendo o crescimento de bactérias benéficas no intestino (Dongowski et al., 2002).

A tabela 2 traz alguns estudos recentes com possíveis aplicações alternativas além das frequentemente utilizadas para as pectinas extraídas, mostrando a diversidade desse material que pode atuar como antioxidante, em tratamento de água ou até em tratamento de doenças. (Xu et al., 2018; Zaid et al., 2019; Kusrini et al., 2018)

Tabela 2 – Fontes de pectina e suas aplicações alternativas em diferentes áreas

Fonte de pectina	Aplicação	Referência
Jaca (exocarpo)	Atividade antioxidante	Xu et al., 2018
Durian (exocarpo)	Absorção de lantânio em tratamento de água	Kusrini et al., 2018
Pitaya (exocarpo)	Agente diminuidor de colesterol	Zaid et al., 2019
Gabiroba (polpa)	Citotóxico para células de glioblastoma humano	Amaral et al., 2019

Limão (exocarpo)	Antioxidante para óleo de soja	Rodsamran e Sothornvit, 2019
Toranja (exocarpo)	Remoção de cobre (2+) da água	Zhang et al., 2020
Limão	Efeito ansiolítico e antiglicêmico	Alves et al., 2024
Bagaço da maçã	Efeito prebiótico	Wilkowska et al., 2021

Fonte: Próprio autor

3.2.6 Regulamentação

A pectina, amplamente utilizada como aditivo alimentar e ingrediente funcional, é regulamentada em nível global por diversas autoridades de segurança alimentar e organizações internacionais. Seu uso em alimentos e produtos industriais está sujeito a normas que garantem a segurança e a eficácia do produto, além de especificar os critérios de pureza, métodos de extração e aplicação.

O *Codex Alimentarius*, estabelecido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), é uma das principais referências para a regulamentação internacional de aditivos alimentares, incluindo a pectina. De acordo com o *Codex*, a pectina é classificada sob o código INS 440, sendo permitida como um agente espessante, estabilizante e gelificante em uma ampla variedade de alimentos, incluindo geleias, compotas, produtos lácteos e sobremesas (FAO; WHO, 2022).

O *Codex* especifica que a pectina utilizada em alimentos deve ser extraída de fontes vegetais, como maçãs ou cascas de cítricos, e deve atender aos critérios de pureza estabelecidos, sendo exigido o mínimo de 65% de ácido galacturônico, além disso deve ser incluído limites de contaminantes como metais pesados que não podem passar de 5 mg/kg e solventes residuais que não podem ultrapassar de 1%. A pectina também deve ser rotulada de acordo com seu grau de esterificação, distinguindo entre pectinas de alto grau de esterificação (AGE) e baixo grau de esterificação (BGE), conforme as diferentes aplicações industriais (FAO; WHO, 2019).

Para o Brasil a regulamentação de aditivos é realizada pela ANVISA, seguindo como referência o *Codex Alimentarius*, União Europeia e FDA. A legislação vigente é a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n. 778/2023 (ANVISA, 2024). As aprovações de aditivos seguem os parâmetros definidos na RDC anteriormente mencionada e a regulamentação do MERCOSUL - GMC/RES. N° 52/98.

Na União Europeia, o uso da pectina como aditivo alimentar é regulamentado pelo Regulamento (CE) n.º 1333/2008, que estabelece as normas para aditivos alimentares utilizados

em produtos comercializados no mercado europeu. A pectina, registrada sob o código E440, é aprovada para uso em uma ampla variedade de alimentos, incluindo alimentos para bebês, produtos de panificação, confeitos, laticínios e molhos (European Commission, 2008). Além disso, o regulamento define os níveis máximos permitidos de pectina em alimentos e as condições de uso, dependendo do tipo de produto alimentício.

No que diz respeito à rotulagem, os produtos contendo pectina devem identificar o aditivo pela designação "pectina" ou "E440", conforme estipulado no regulamento europeu de rotulagem de alimentos. O regulamento também destaca que o uso de pectina deve respeitar o princípio de *quantum satis*, ou seja, utilizado apenas na quantidade necessária para atingir o efeito desejado, sem exceder os limites aceitáveis de consumo diário (European Commission, 2008).

Nos Estados Unidos, a pectina é reconhecida como um aditivo alimentar seguro pelo Food and Drug Administration (FDA) e está incluída na lista GRAS (Generally Recognized As Safe). De acordo com a regulamentação do FDA (21 CFR 184.1588), a pectina pode ser utilizada como estabilizante, espessante, emulsificante e agente de encapsulação em alimentos (FDA, 2021). A pectina utilizada nos EUA deve ser obtida a partir de matérias-primas vegetais seguras e processada de acordo com boas práticas de fabricação (GMP).

A legislação norte-americana não impõe limites específicos para a quantidade de pectina que pode ser usada em alimentos, aplicando também o princípio de *quantum satis*. No entanto, a FDA estabelece diretrizes claras para a rotulagem, garantindo que o consumidor seja informado adequadamente sobre a presença de pectina nos produtos alimentícios (FDA, 2021).

Em outras regiões do mundo, como Japão, China e Austrália, o uso de pectinas é igualmente regulamentado por suas respectivas autoridades de segurança alimentar. No Japão, o Ministério da Saúde, Trabalho e Bem-Estar estabelece diretrizes para o uso de pectinas como aditivos alimentares, permitindo seu uso em várias aplicações alimentícias (Japan External Trade Organization, 2020). Na China, a National Health Commission regula o uso de pectinas como aditivo alimentar aprovado, classificando-as como um espessante e estabilizante seguro para uso em alimentos (China Food Additives Association, 2018).

Na Austrália e Nova Zelândia, a pectina é regulamentada pela Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) sob o código de aditivos alimentares INS 440. A pectina é permitida em uma ampla gama de alimentos, com requisitos de rotulagem e segurança que estão alinhados com as regulamentações internacionais (FSANZ, 2018).

A regulamentação do uso de pectinas em alimentos segue diretrizes rigorosas em várias jurisdições, com o objetivo de garantir a segurança do consumidor e a eficácia funcional

do aditivo. As normas globais são amplamente harmonizadas, com pequenas variações regionais, mas todas as regulamentações destacam a importância de atender aos critérios de pureza e limites estabelecidos para contaminantes. Além disso, o uso de pectina deve respeitar os princípios de *quantum satis*, evitando excessos e garantindo a segurança no consumo.

3.3 PREBIÓTICOS

3.3.1 Propriedades

Os prebióticos são definidos como ingredientes alimentares não digeríveis que estimulam de forma seletiva o crescimento e/ou a atividade de grupos de microrganismos benéficos no intestino, resultando em benefícios para a saúde do hospedeiro (Hutkins et al., 2024). Esses compostos são geralmente carboidratos de cadeia curta, como oligossacarídeos, que resistem à digestão no trato gastrointestinal superior e são fermentados pelas bactérias intestinais, especialmente bifidobactérias e lactobacilos, no cólon (Gibson et al., 2017).

Os principais compostos com efeito prebiótico reconhecido incluem os frutooligosacarídeos (FOS), galactooligosacarídeos (GOS), inulina, xilooligosacarídeos (XOS) e lactulose (Slavin, 2013). Estes compostos são classificados como fibras alimentares solúveis, e a resistência à digestão no intestino delgado é uma característica fundamental para o seu efeito prebiótico, permitindo que eles atinjam o cólon, onde são fermentados pelas bactérias benéficas (Hutkins et al., 2024).

Os frutooligosacarídeos e a inulina são polímeros de frutose encontrados naturalmente em alimentos como chicória, cebola, alho e banana. Já os galactooligosacarídeos são obtidos pela ação enzimática na lactose, e os xilooligosacarídeos são produtos da degradação da xilana, um polissacarídeo da parede celular de vegetais (Gibson et al., 2017).

Os prebióticos exercem diversos efeitos benéficos sobre a saúde, principalmente pela sua ação sobre a microbiota intestinal. A fermentação desses compostos pelas bactérias intestinais resulta na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como o butirato, acetato e propionato, que têm papel crucial na manutenção da saúde do cólon, fornecendo energia para os colonócitos e regulando a inflamação intestinal (Rivero-Uga, 2017).

O consumo regular de prebióticos pode promover um equilíbrio saudável da microbiota intestinal, aumentando a população de bactérias benéficas (bifidobactérias e lactobacilos) e reduzindo a presença de bactérias potencialmente patogênicas (Giannini et al., 2016). Além disso, estudos indicam que os prebióticos podem contribuir para a melhora da

função imunológica, modulando a resposta inflamatória e promovendo a produção de citocinas anti-inflamatórias (Slavin, 2013).

O alcance do equilíbrio da microbiota intestinal através do consumo de prebióticos tem sido associado à prevenção e controle de várias condições de saúde. A manutenção da saúde intestinal e o aumento da produção de AGCC, em particular o butirato, estão relacionados à redução do risco de doenças inflamatórias intestinais, como a colite ulcerativa e a síndrome do intestino irritável (Rivero-Uga, 2017).

Estudos também mostram que o consumo de prebióticos pode influenciar positivamente a absorção de minerais, como cálcio e magnésio, contribuindo para a saúde óssea (Scholtens et al., 2014). Além disso, há evidências de que a suplementação com prebióticos pode auxiliar no controle da glicemia em indivíduos com diabetes tipo 2, uma vez que a modulação da microbiota pode melhorar a sensibilidade à insulina (Gibson et al., 2017).

Os prebióticos têm sido amplamente utilizados na indústria alimentícia como ingredientes funcionais, principalmente em produtos lácteos, pães, barras de cereais, bebidas e suplementos alimentares (Rivero-Uga, 2017). Sua inclusão em alimentos é valorizada por proporcionar benefícios à saúde, além de sua capacidade de melhorar a textura, retenção de umidade e estabilidade de produtos alimentares (Manassi et al., 2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Obtenção e preparo da matéria prima

Cascas de pequi foram coletadas junto a produtores de Barbalha-Ceará e sanitizadas com 200 ppm hipoclorito de sódio por 15 minutos. Após a separação manual com auxílio de faca do mesocarpo externo (Figura 3), esse foi branqueado sendo submetido a aquecimento em água a 100 °C por 5 minutos (Figura 4). O material foi macerado, congelado (-80 °C) e levado ao liofilizador (Liotop LP 820). O material seco foi processado em moinho de impacto (IKA A11 basic) para obtenção de um pó.

Figura 3 – Mesocarpo externo do pequi



Fonte: Próprio autor

Figura 4 – Mesocarpo externo do pequi pós processo de branqueamento



Fonte: Próprio autor

4.2 Delineamento experimental e análise estatística

Um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi realizado para a extração das pectinas utilizando como variáveis independentes pH, temperatura (°C) e tempo (min). As variáveis de resposta foram rendimento, grau de esterificação, teor de ácido galacturônico e índice de escurecimento. O delineamento teve 17 tratamentos sendo oito pontos

fatoriais, seis pontos axiais e três pontos centrais (Tabela 3). O delineamento e análise estatística foram realizados usando o software Protimiza.

Tabela 3 – Variáveis do Delineamento de Composto Central Rotacional DCCR (2³)

Variáveis independentes/ Fator	-1,68	-1	0	+1	1,68
pH (x ₁)	1,5	1,91	2,5	3,09	3,5
Tempo (min) (x ₂)	30	60,36	105	149,64	180
Temperatura (°C) (x ₃)	60	66,1	75	83,9	90

Fonte: Próprio autor

4.3 Extração da pectina

A pectina do pequi foi obtida por meio de extração ácida utilizando ácido cítrico como solvente orgânico, na proporção sólido-líquido de 1:40 (m/v), variando-se os parâmetros de pH, temperatura e tempo conforme o DCCR (Tabela 4).

Tabela 4 - Matriz do Delineamento Composto Central Rotacional com valores reais e codificados (entre parênteses) para a extração de pectinas com ácido cítrico a partir do mesocarpo externo do pequi.

(continua)

Ensaio	Variáveis reais (codificadas)		
	Temperatura (°C)	Tempo (min)	pH
PT1	66,1(-1)	60,39(-1)	1,91(-1)
PT2	83,9(1)	60,39(-1)	1,91(-1)
PT3	66,1(-1)	149,64(1)	1,91(-1)
PT4	83,9(1)	149,64(1)	1,91(-1)
PT5	66,1(-1)	60,39(-1)	3,09(1)
PT6	83,9(1)	60,39(-1)	3,09(1)
PT7	66,1(-1)	149,64(1)	3,09(1)

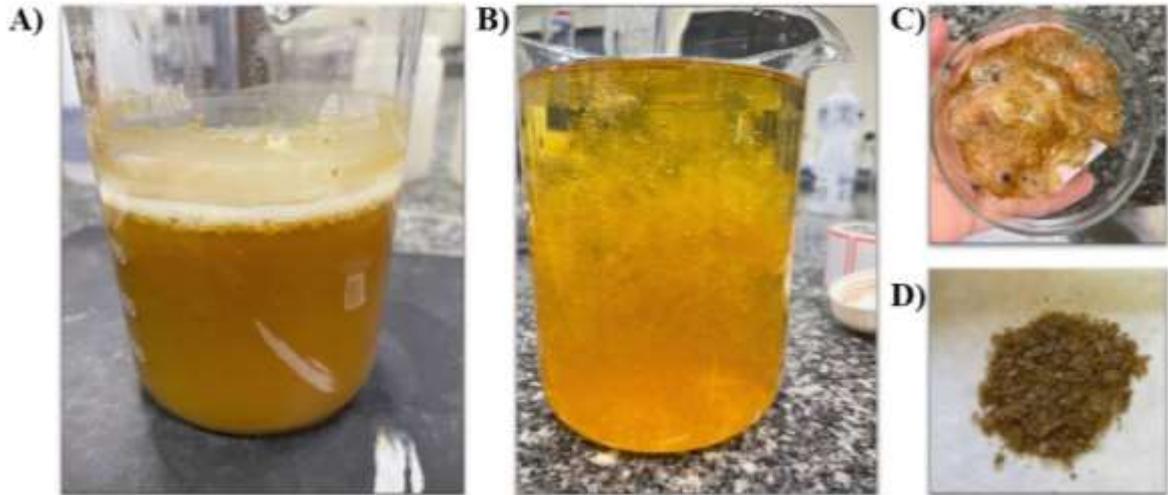
Tabela 4 - Matriz do Delineamento Composto Central Rotacional com valores reais e codificados (entre parênteses) para a extração de pectinas com ácido cítrico a partir do mesocarpo externo do pequi.

Ensaio	Variáveis reais (codificadas)			(conclusão)
	Temperatura (°C)	Tempo (min)	pH	
PT8	83,9(1)	149,64(1)	3,09(1)	
PT9	60(-1,68)	105(0)	2,5(0)	
PT10	90(1,68)	105(0)	2,5(0)	
PT11	75(0)	30(-1,68)	2,5(0)	
PT12	75(0)	180(1,68)	2,5(0)	
PT13	75(0)	105(0)	1,5(-1,68)	
PT14	75(0)	105(0)	3,5(1,68)	
PT15	75(0)	105(0)	2,5(0)	
PT16	75(0)	105(0)	2,5(0)	
PT17	75(0)	105(0)	2,5(0)	

Fonte: Próprio autor

Seguindo a proporção sólido-líquido 1:40, 10g de pó do mesocarpo externo de pequi foram solubilizadas em 400 mL de solução de ácido cítrico 0,01M, realizando o ajuste de pH com ácido cítrico 2M (Figura 5 A). As soluções foram levadas a banho-maria com agitação, onde o tempo e a temperatura foram ajustados e ao final do processo extrativo, foram centrifugadas a 2,448 x g a 25 °C por 10 minutos (Heraeus Multifuge X3R - Thermo Scientific). Após a centrifugação as amostras foram filtradas em malha de aço, e a solução de pectina solúvel obtida foi precipitada em solução alcohólica, seguindo a proporção 1:2 (v/v) com álcool etílico 96°GL e mantidas sob refrigeração (4°C) por 24h (Figura 5 B). Em seguida foi realizado uma nova centrifugação (15,303 x g, 4 °C, 10 min) e o precipitado obtido foi lavado com 50 mL de álcool 70%, centrifugado e em seguida lavado com 50 mL de acetona PA. Após a lavagem o precipitado foi seco em estufa com circulação de ar a 50 °C (SL 102 - Solab) por 4 horas (Figura 5 C) e triturado em moinho de impacto (IKA A11 basic), obtendo assim a pectina (Figura 5 D).

Figura 5 – A) Solução contendo pó do mesocarpo externo pequi com ácido cítrico; B) Dispersão alcoólica; C) Pectina seca; D) Pectina triturada



Fonte: Próprio autor

4.4 Rendimento

Os rendimentos dos materiais produzidos foram calculados considerando a massa do produto final seco dividida pela massa inicial de pó do mesocarpo de pequi (Equação 1).

$$Rd(\%) = \frac{m_f}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

m_0 : massa inicial; m_f : massa final

4.5 Análise de FTIR

A identificação dos grupos funcionais presentes na estrutura das pectinas foi realizada em espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier (Spectrum two - Perkin Elmer) em pastilhas de KBr preparadas com as pectinas na concentração de 1% (m/m). Varredura realizada na faixa de frequência de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} e 64 scans.

O grau de esterificação das amostras foi determinado pela proporção das áreas dos grupamentos de ácido galacturônico esterificado em relação aos grupamentos de ácido galacturônico total (Manrique e Lajolo, 2002). Os valores foram determinados através das áreas

das bandas que variam de 1600-1630 cm^{-1} (ácidos livres - A_L) e 1700-1750 cm^{-1} (ácidos esterificados - A_E) (Equação 2).

$$GE = \frac{A_E}{A_E + A_L} \quad (2)$$

4.6 Ácido galacturônico

A análise foi realizada utilizando a metodologia de Tullia, Cozi e Carpita (1991). Foram preparados 10 mL de soluções de pectina na concentração 0,1% (m/v), então alíquotas de 0,6 mL foram separadas em tubos de ensaio e adicionadas 60 μL de ácido sulfâmico, em seguida colocadas em banho de gelo. Adicionou-se 3,6 mL de uma solução de tetraborato de sódio (0,075 M) com ácido sulfúrico concentrado as soluções foram agitadas em vortex por 10 s e levadas a banho-maria a 100 °C por 20 minutos. Após esse período as amostras foram deixadas em banho de gelo até o resfriamento. Em seguida, 60 μL de 3-fenilfenol (0,15% m/v) em solução de NaOH (0,5% m/v) foram adicionados aos tubos de ensaio. O material foi agitado em vórtex (5 s) e após 5 min realizou-se a leitura da absorbância no espectrofotômetro UV-VIS (Cary 60 – Agilent technologies) no comprimento de onda 525 nm. Realizando uma curva de calibração com ácido galacturônico nas concentrações de 0,01 a 0,1 mg/mL determinou-se o conteúdo de ácido presente em cada pectina extraída.

4.7 Reologia

Estudos reológicos foram conduzidos na zona viscoelástica linear das amostras usando um reômetro Thermo Scientific (HAAKE MARS, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EUA). As amostras foram preparadas na concentração de 4% (m/v) e deixadas sob agitação por 18 horas. A taxa de deformação foi determinada pela análise de varredura de amplitude de oscilação (OAS) e a viscosidade aparente foi estimada por meio de um ensaio reológico oscilatório por 3 minutos a 25 °C, com 1% de deformação e frequência de 1 Hz, usando uma geometria de placa cônica (C60/1-TiL) com uma lacuna de 0,052 mm.

4.8 Colorimetria

As amostras secas foram analisadas em colorímetro (Konica minolta modulo CR-400). Todas as leituras foram realizadas no mesmo dia e local para não haver interferência da luminosidade ou de qualquer fator externo. Seguindo o sistema CIELab (Ji, et al., 2010), o parâmetro L^* representa a luminosidade da amostra variando de zero a cem (0: preto; 100: branco), a^* indica as cores em uma escala vermelho – verde ($+a^*$: vermelho; $-a^*$: verde), e b^* representa a cor numa escala amarelo – azul ($+b^*$: amarelo; $-b^*$: azul). A cromaticidade (C^*) foi calculada pela equação (3) e o ângulo de tonalidade (h^*) pela equação (4). O software Colorizer foi utilizado com os parâmetros CIELab para obter as colorações das amostras.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (4)$$

O índice de escurecimento foi calculado com base na Equação 5 e o fator x presente é calculado pela Equação 6, utilizando os parâmetros de L , a^* e b^* (Maskan, 2001).

$$B.I = 100x \frac{x-0,31}{0,17} \quad (5)$$

$$X = \frac{(a^*+1,75L)}{(5,645L+a^*-3,012b^*)} \quad (6)$$

4.9 Análise de toxicidade utilizando modelo *Zebrafish*

Peixes *Zebrafish* (*Danio rerio*) (idade de 90 a 120 dias; $0,4 \pm 0,1$ g, $3,5 \pm 0,5$ cm), silvestre, de ambos os sexos, foram adquiridos em loja local (Fortaleza, CE). Os animais foram mantidos em um aquário de vidro ($30 \times 15 \times 20$ cm) de 10 L ($n = 3 / L$), com água clorada (ProtecPlus®) e bomba de ar com filtros submersos, sob uma temperatura de 25°C , pH 7,0 e ciclo circadiano de 14 - 10 h (claro/escuro). Os peixes receberam ração (Spirulina®) *ad libitum* 24 h antes dos experimentos. Foram ministradas doses de pectina nas concentrações de 4 mg/kg, 20 mg/kg e 40 mg/kg.

Os peixes ($n = 6 / \text{grupo}$) foram selecionados aleatoriamente nos experimentos, anestesiados em água gelada e transferidos para uma esponja úmida, tratados com 20 μL de cada pectina em doses variadas (4 mg/kg; 20 mg/kg e 40mg/kg) por via intraperitoneal (i.p),

em seguida foram deixados em repouso para análise da taxa de mortalidade por um período de 96 h, registrando-se a cada 24 h o número de peixes mortos em cada grupo (Oecd, 1992), sendo a dose letal capaz de matar 50 % dos animais (DL_{50}) determinada pelo método matemático Trimmed Spearman-Kärber com intervalo de confiança de 95%.

Antes das aplicações das pectinas, os animais foram anestesiados em água gelada e após os experimentos, os animais foram sacrificados por imersão em água gelada (2 e 4 ° C) por 1 min até a perda dos movimentos operculares. O trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA-UECE; nº 04983945/2021), estando de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal.

4.1 Avaliação do potencial prebiótico

O potencial prebiótico das amostras foi avaliado pelo crescimento de *Lactobacillus rhamnosus* GG (DSM 33156) usando a pectina extraída do mesocarpo do pequi como fonte de carbono. O meio de cultura MRS formulado (MRS_f) foi preparado sem a adição de dextrose. A formulação do MRS_f para 1 litro de solução incluiu 10 g de proteose peptona Nº 3, 10 g de extrato de carne, 5 g de extrato de levedura, 1 g de polisorbato 80, 2 g de citrato de amônio, 5 g de acetato de sódio, 0,1 g de sulfato de magnésio, 0,05 g de sulfato de manganês e 2 g de fosfato dipotássico. O meio MRS_f serviu de base para a adição de frutooligossacarídeos (FOS) e das pectinas.

O crescimento de *L. rhamnosus* GG foi acompanhado por meio de leituras de absorvância em espectrofotômetro UV-VIS ($\lambda = 660$ nm) nos tempos de 0 h e 24 h e o resultado expresso por meio da diferença das leituras (delta). As análises foram realizadas utilizando as amostras de pectinas e FOS em meio MRS_f nas concentrações de 0,5% e 1% (m/v).

A avaliação do potencial prebiótico foi realizada em triplicatas, então realizou-se o teste estatístico de dunnett para comparar as médias entre o MRS_f e as amostras de pectinas selecionadas utilizadas nas análises de potencial prebiótico utilizando o programa Statistica Ultimate Academic v.14 (StatSoft). Este teste foi aplicado afim de verificar se os aumentos da densidade ótica das amostras com pectinas de pequi foram significativos em relação as amostras que não continham.

5. Resultados

5.1 Extração das pectinas por DCCR

As pectinas extraídas foram nominadas com os códigos PT seguido do número referente ao ensaio definido no DCCR. Os resultados de rendimento, grau de esterificação, teor de ácido galacturônico e índice de escurecimento por ensaios podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de percentuais de rendimento, grau de esterificação, ácido galacturônico e índice de escurecimento referente a extração ácida das pectinas do mesocarpo externo do pequi.

Ensaio	Resultados			
	Rendimento(%)	GE(%)	Ác. Gal.(%)	IE
PT1	7,37	65,38	63,20	42,72
PT2	11,45	62,18	78,50	47,22
PT3	10,40	46,20	48,15	70,12
PT4	13,26	65,71	52,12	78,70
PT5	4,90	42,15	67,36	67,72
PT6	7,46	43,06	82,44	59,25
PT7	4,19	34,18	70,14	57,80
PT8	6,04	39,65	57,94	31,13
PT9	16,67	46,90	43,31	57,51
PT10	5,28	27,72	79,09	64,31
PT11	7,21	73,82	74,13	55,11
PT12	8,55	31,27	64,55	69,10
PT13	6,32	62,83	33,20	73,42
PT14	11,89	49,22	62,04	63,74
PT15	8,15	47,06	67,32	59,97
PT16	9,13	42,27	68,61	62,39
PT17	9,66	50,4	68,11	60,77

Ác Gal.% - teor de ácido galacturônico; GE% - Grau de esterificação; IE- índice de escurecimento

Fonte: Próprio autor

5.2 Rendimento

Os rendimentos da extração de pectina do mesocarpo do pequi obtidos encontraram-se numa faixa de 4,19 a 16,67% (Tabela 4). Esses resultados estão em consonância com os relatados na literatura, como apresentados no estudo de Happi Emaga et al. (2008), Canteri-Schermin et al. (2005) e Min et al. (2011). Happi Emaga et al. (2008) obtiveram valores de rendimento de 2,4 a 21,7% para a extração de pectina da casca da banana pelo método químico utilizando ácido clorídrico a 0,05M. Canteri-Schermin et al. (2005) encontraram rendimentos de 6,13 a 13,75% na extração de pectina a partir do bagaço da maçã utilizando ácido cítrico e ácido nítrico a um pH de 2,5, enquanto Min et al. (2011) conseguiram valores de 4,6 a 7,7% na extração de pectina da casca da maçã utilizando método enzimático e método químico com ácido oxálico a 0,25%.

Siqueira et al. (2022) realizaram processo de extração com mesocarpo de pequi utilizando ácido cítrico em três concentrações (1, 4 e 8% m/v), aquecimento em duas temperaturas (80 e 100 °C) e dois tempos de extração (80 e 160 min), trazendo resultados de rendimento que variam do intervalo de 10,3 a 26,6%. Os maiores rendimentos encontrados foram nas duas extrações que utilizaram ácido cítrico a 4% e temperatura de 80 °C, apresentando uma melhoria com o aumento de tempo, porém ao aumentar a temperatura os rendimentos reduziram. O aumento da concentração de ácido cítrico também não trouxe resultados benéficos à extração, indicando que pode haver uma faixa ótima de pH e temperatura de trabalho.

Leão et al. (2018) trabalharam com a extração de pectinas do mesocarpo de pequi com uso de ácido cítrico e micro-ondas. No estudo foram analisadas extrações utilizando uma única solução de ácido cítrico com pH igual a 2, variação de potência (317 a 883 W) e variação de temperatura (52 a 108°C), ao final obtiveram rendimentos que variaram de 9,91 a 20,79%.

Neste trabalho, das 17 extrações realizadas apenas duas (PT5 e PT7) apresentaram valores de rendimento abaixo de 5%. Estas extrações possuem como parâmetro pH igual 3,09 e temperatura de 66,1 °C, divergindo apenas no tempo de extração. Já os tratamentos PT1 e PT2 que apresentaram pH igual a 1,91 obtiveram uma melhoria no rendimento, 7,37% e 11,45% respectivamente. Além disso, é possível observar que o aumento da temperatura de PT1 (66,1 °C) para PT2 (83,9 °C) influenciou o rendimento.

A partir dos resultados obtidos, o rendimento do processo (Rd) de extração das pectinas foi estudado usando o DCCR. O Rd foi afetado pelo efeito linear do pH (x_1) e temperatura (x_3), já o tempo (x_2) afetou de forma quadrática e na interação com o pH, podendo

ser observado através da equação do modelo reparametrizado (Equação 8). A porcentagem de variação explicada (R^2) pelo modelo foi muito boa, cerca de 90% e assim o modelo se ajusta bem aos dados experimentais (Tabela 6). Observando a curva de contorno gerada pelo modelo na figura 6, pode-se verificar que rendimentos superiores a 8% podem ser obtidos para pH na faixa entre 1,5 a 2,5%, considerando um pH menos ácido de 2,5, a faixa de temperatura seria entre 73 e 90°C e tempo de 73 a 140 minutos.

$$Rd = 8,78 - 2,87 x_1 + 0,51 x_1^2 - 0,59 x_2^2 + 1,52 x_3 - 0,87 x_1 x_2 \quad (8)$$

Tabela 6 – ANOVA para a variável resposta rendimento das pectinas extraídas do mesocarpo externo de pequi com ácido cítrico usando DCCR.

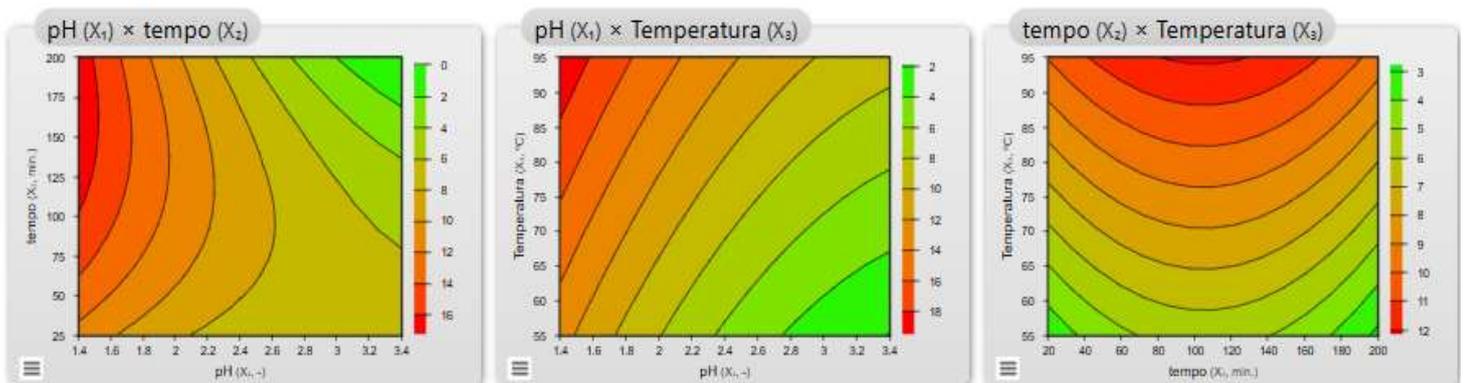
Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p-valor
Regressão	160	5	32	28,4	6,13E-06
Resíduos	12	11	1		
F. ajuste	11	9	1	2,2	0,35293
Erro puro	1	2	1		
Total	172	16			

$R^2 = 92,8 \%$

SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: F calculado

Fonte: Próprio autor

Figura 6 – Curvas de contorno para o rendimento (%) das pectinas em função do pH, temperatura e tempo.



Fonte: Próprio autor

O pH mais baixo e temperatura não tão elevadas favorecem a extração de pectinas, provavelmente por facilitar a sua extração da lamela média da parede celular. Trabalho de

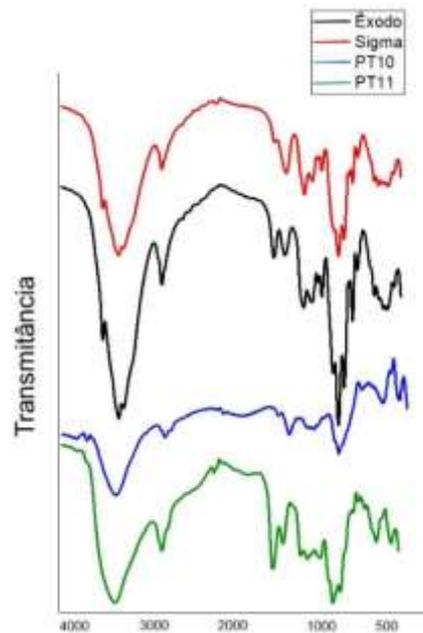
Siqueira et al. (2012) também encontraram que maiores rendimentos foram obtidos em condições de temperatura (74, 83, 92 e 98 °C) e concentração de ácido cítrico (1, 2, 5, 8 e 9%) Apesar do aumento da temperatura e pH mais baixo serem favoráveis para extração das pectinas, há de se ter o cuidado para evitar a degradação excessiva da molécula nestas condições (Jong et al., 2023).

5.3 FTIR

Todas as pectinas apresentaram um padrão característico de FTIR, demonstrando assim a identidade da pectina extraída do pequi. As amostras tiveram um comportamento similar nas bandas de 3400 cm^{-1} (vibrações de estiramento do O-H), de 2900 cm^{-1} (vibrações do alongamento CH_3), de 1750 cm^{-1} (carbonilas esterificadas), de 1620 cm^{-1} (carbonilas não esterificadas) e de 1300 a 800 cm^{-1} (*fingerprinting*) (Gao et al., 2024).

Na Figura 7 é observado o FTIR das pectinas comerciais Sigma (baixo grau de esterificação), Êxodo (alto grau de esterificação), pectina de pequi PT10 e pectina de pequi PT11. As pectinas extraídas do mesocarpo do pequi possuíram o mesmo perfil de transmitância das amostras comerciais, sendo que a amostra PT10 teve um perfil semelhante ao da pectina comercial Sigma, ambas pectinas com baixo grau de esterificação. Por outro lado, a amostra PT11 apresentou um perfil de transmitância similar ao da pectina comercial Êxodo, de alto grau de esterificação. As demais amostras obtidas na extração também produziram resultados similares, apresentando bandas semelhantes, havendo apenas diferenças na banda de 1750 cm^{-1} , onde as pectinas de baixo grau de esterificação apresentaram bandas menos intensas de transmitância.

Figura 7 –Espectro de FTIR das pectinas comerciais e amostras de pectinas extraídas do mesocarpo externo de pequi (amostras PT10 e PT11)



Fonte: Próprio autor

5.4. Grau de esterificação

As extrações resultaram em pectinas com diferentes graus de esterificação (GE) que variaram de 27,72% a 73,82% (Tabela 4).

A Figura 8 mostra que o pH e tempo foram as variáveis independentes que geraram impacto no GE das pectinas. O grau de esterificação (GE) das pectinas foi afetado pelo efeito linear do pH (x_1) e tempo (x_2), além do efeito quadrático do pH como mostra a Equação 8. A porcentagem de variação explicada (R^2) pelo modelo reparametrizado ficou em 69%, e isto significa que 69% da variação é explicada pelo modelo proposto (Tabela 7). Observando a curva de contorno gerada pelo modelo na Figura 8, pode-se verificar que para obter pectinas de alta GE a faixa de pH seria abaixo de 3,1 e para tempo até 140 min aproximadamente. Trabalho de Siqueira et al. (2012) também encontraram que maiores graus de esterificação foram obtidos em condições mais ácidas com pH abaixo de 2,0. Contrariamente, pectinas de baixo GE podem ser obtidas em pH a partir de 3,1 em ampla faixa de tempo. O pH é uma variável conhecida por estar associada ao processo de desesterificação das pectinas (Jong et al., 2023).

$$GE = 52,62 - 8,24 x_1 - 4,54 x_1^2 - 7,22 x_2 \quad (9)$$

Tabela 7 – ANOVA para a variável resposta grau de esterificação das pectinas extraídas do mesocarpo externo de pequi com ácido cítrico usando DCCR.

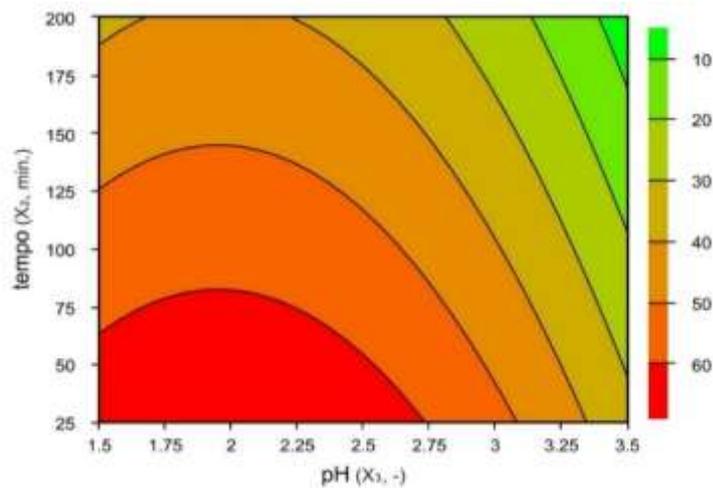
Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p-valor
Regressão	1908	3	636	9,8	0,001223
Resíduos	848	13	65		
F. ajuste	793	11	72	2,6	0,309714
Erro puro	55	2	28		
Total	2756	16			

R² = 69,2 %

SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: F calculado

Fonte: Próprio autor

Figura 8 – Curvas de contorno para o grau de esterificação das pectinas em função do pH, temperatura e tempo



Fonte: Próprio autor

O trabalho de Leão et al. (2018) obtiveram apenas pectinas de alto grau de esterificação (51 – 80%), já no trabalho de Siqueira et al. (2022) foram obtidas pectinas tanto de alto grau de esterificação (62,02%) quanto de baixo grau (29,87%), assim como neste trabalho. Logo extrações ácidas com aquecimento se mostram mais favoráveis para a extração dos dois tipos de pectinas do mesocarpo de pequi.

5.5 Teor de ácido galacturônico

Os resultados na Tabela 5 mostram que algumas extrações de pectina não se enquadram no padrão mínimo de 65% de ácido galacturônico (FAO, 2022).

A partir dos resultados do DCCR, verificou-se que os fatores pH, tempo e temperatura tiveram efeitos lineares, efeito quadrático da temperatura e efeito da interação tempo e interação significantes ($p > 0,05$) para a resposta teor de ácido galacturônico (AG). A Equação 10 representa o modelo matemático reparametrizado obtido pelos experimentos com R^2 de 79% (Tabela 8) sendo assim ser possível propor este modelo. As figuras de curva de contorno para a resposta (Figura 9) mostraram que teores de ácido galacturônico acima de 65% foram obtidos em pH superior a 1,8. Em pH de 1,8 a faixa ideal de temperatura foi de 75 a 82°C. À medida que se aumentou o pH, a faixa de temperatura foi ampliada de 67° a 90°C. Teor de ácido galacturônico a partir de 65% também poderia ser obtido a partir de 67°C usando o menor tempo testado.

Para esta mesma resposta (AG), considerando um pH de 2,5 que foi o pH menos ácido encontrado com maiores rendimentos de extração de pectinas (>8%), é necessária uma temperatura mínima de 71°C no menor tempo testado (30 minutos) para se conseguir teor de ácido galacturônico a partir de 65%.

$$AG = 68,58 + 6,78 x_1 - 5,80 x_2 + 5,16 x_3 - 6,15 x_3^2 - 4,82 x_2 x_3 \quad (10)$$

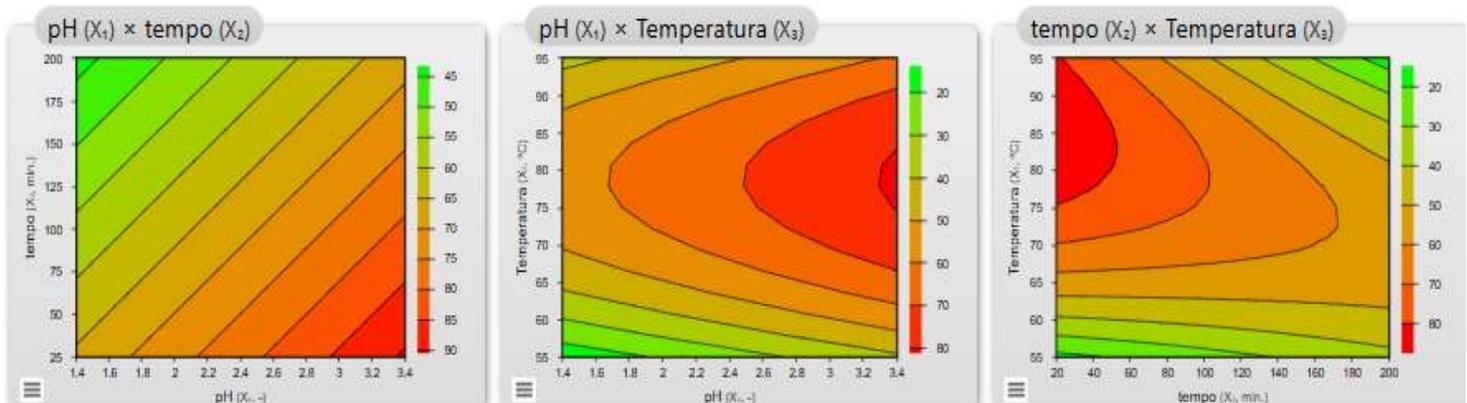
Tabela 8 – ANOVA para a variável resposta teor do grau de esterificação das pectinas extraídas do mesocarpo externo de pequi com ácido cítrico usando DCCR.

Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p-valor
Regressão	2129	5	426	8,1	0,00197
Resíduos	576	11	52		
F. ajuste	574	9	64	109,4	0,009088
Erro puro	1	2	1		
Total	2705	16			
$R^2 = 78,7 \%$					

SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: F calculado

Fonte: Próprio autor

Figura 9 – Curvas de contorno para teor de ácido galacturônico das pectinas em função do pH, temperatura e tempo.



Fonte: Próprio autor

Muitos trabalhos na literatura com extração de pectinas não relatam o teor de ácido galacturônico das pectinas extraídas não se tendo assim a garantia de que estão dentro dos parâmetros determinados pela FAO (2022). Pela revisão realizada até o momento, esta foi a primeira que é relatada uma extração das pectinas de casca de pequi com ácido cítrico e se tem reportada uma relação com o teor de ácido galacturônico encontrado no material.

5.6 Índice de escurecimento

A cor é a primeira característica percebida em um material, especialmente na indústria alimentícia, e pode variar de acordo com os processos tecnológicos aplicados. A luminosidade, medida em uma escala de 0 a 100, indica a claridade ou escuridão de uma amostra, sendo que os valores mais próximos de 100 correspondem a amostras mais escuras (Nogueira; de Jesus, 2014). Neste estudo, as amostras apresentaram luminosidade mediana, com valores mínimos e máximos de 39,49 e 62,55, respectivamente (Apêndice B).

Em uma percepção inicial, a olho nu, as amostras de pectina de pequi, indicaram uma gama de tons marrons. Ao serem analisadas mais detalhadamente, revelaram uma distribuição mais precisa no segundo quadrante do círculo cromático, apresentando uma escala que varia do vermelho ao amarelo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Twinomuhwezi et al. (2023), que ao extraírem pectinas da casca da tangerina, identificaram uma coloração levemente amarronzada. Os autores ressaltaram que os componentes de cor contidos nas matérias-primas estudadas influenciam na coloração das pectinas. Kute et al. (2019) relataram que a pectina

com menor intensidade de cor são as mais desejáveis em aplicações alimentícias, uma vez que causam menor efeito na aparência final do produto. Todavia, quando aplicadas em matrizes de cores mais intensas, o efeito da coloração da pectina pode ser amenizado.

A partir dos resultados obtidos por DCCR, o índice de escurecimento (IE) apresentou respostas significativas a efeitos lineares, quadráticos e interações entre as diferentes variáveis (x_1 -pH, x_2 -tempo e x_3 temperatura), conforme modelo apresentado pela Equação 11. A porcentagem de variação explicada (R^2) pelo modelo reparametrizado ficou em 80% (Tabela 9), sendo considerada adequada.

$$IE = 60,05 + 3,25 x_2 - 2,81 x_3 - 12,12 x_1 x_2 - 6,03 x_1 x_3 \quad (11)$$

Tabela 9 – ANOVA para a variável resposta teor do índice de escurecimento das pectinas extraídas do mesocarpo externo de pequi com ácido cítrico usando DCCR.

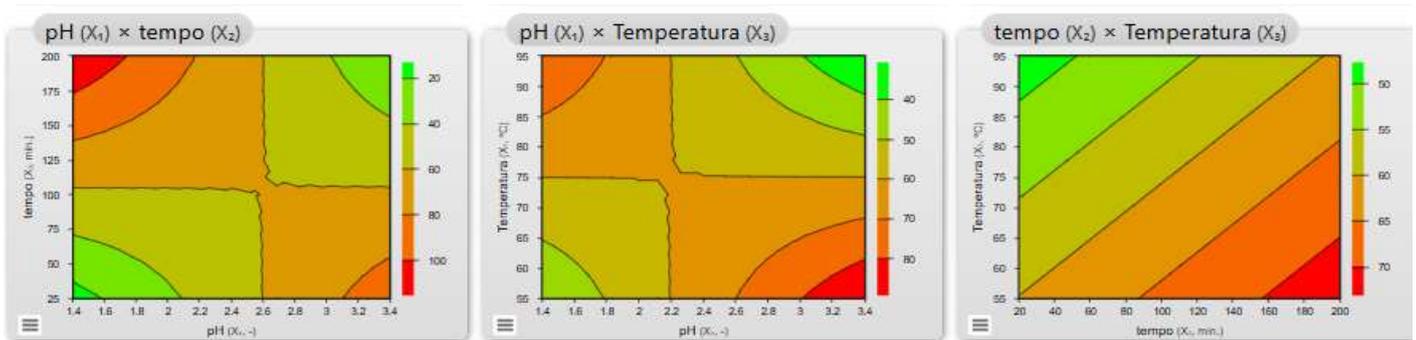
Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p-valor
Regressão	1718	4	430	12,0	0,000364
Resíduos	428	12	36		
F. ajuste	425	10	42	28,4	0,034422
Erro puro	3	2	1		
Total	2146	16			
$R^2 = 80 \%$					

SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: F calculado

Fonte: Próprio autor

Observando as curvas de contorno (Figura 10), verificou-se um maior índice de escurecimento com o aumento da temperatura nos pHs menores do que 2,6. Esse resultado pode ser atribuído à degradação da pectina durante o tratamento térmico e armazenamento, processo associado à formação de uronídeos insaturados (Einhorn-Stoll et al., 2020; Hu et al., 2023). Além disso, as cadeias laterais das pectinas também são hidrolisadas durante o tratamento térmico, liberando açúcares neutros que podem contribuir para o escurecimento por meio da reação de Maillard (Raka, Takada, & Hossain, 2021). Um comportamento inverso nos pHs maiores do que 2,6 com relação a temperatura também foi observado. A variável também influenciou nesta resposta onde maior tempo promoveu escurecimento das pectinas.

Figura 10 – Curvas de contorno para índice de escurecimento das pectinas em função do pH, temperatura e tempo.



Fonte: Próprio autor

5.7 Potencial Prebiótico

O efeito da pectina extraída do mesocarpo de pequi sob o crescimento de *Lactobacillus rhamnosus* GG foi avaliado após 24 h de incubação a 37°C (Tabela 10). Independentemente do tratamento utilizado para extração de pectinas do mesocarpo externo do pequi, todas elas foram assimiladas como fonte de carbono pelo microrganismo. Foi observado que o aumento da concentração das pectinas de pequi no meio de cultura provocou uma redução no crescimento dos *L. rhamnosus* o que pode estar associado a menor disponibilidade de água do meio. Outro fator que pode ter contribuído para um menor crescimento do microrganismo seria o aumento da viscosidade. Isto porque um aumento de viscosidade poderia prejudicar a mistura com o meio de cultura levando a uma não homogeneidade dos componentes, ocasionando uma redução no crescimento dos microrganismos. Tamargo et al. (2018) mostraram que alterações de viscosidade afetam a difusão de nutrientes e o desenvolvimento microbiano intestinal. Sendo assim, a concentração de 0,5% de pectina no meio de MRSf foi mais adequada para o crescimento do microrganismo do que a 1% nas condições estudadas neste trabalho.

Tabela 10 – Valores de densidade ótica referentes ao crescimento de *L. rhamnous* GG após 24h utilizando fontes de carbono de meio MRSf e de pectinas do mesocarpo externo de pequi.

Fonte de carbono	Absorbância (660nm)	
	Concentração (m/v)	
	0,5%	1%
MRSf	0,206	0,206
MRSf + PT1	0,365	0,283
MRSf + PT2	0,452	0,152
MRSf + PT5	0,497	0,262
MRSf + PT6	0,448	0,288
MRSf + PT10	0,434	0,419
MRSf + PT11	0,443	0,284
MRSf + PT12	0,419	0,299
MRSf + PT15	0,455	0,279
MRSf + FOS	0,880	1,213

MRSf- Caldo Man, Rosa e Sharp formulado; PT- Pectina do mesocarpo externo do pequi; FOS- Frutooliosacarídeo

Fonte: Próprio autor

As cadeias laterais de açúcares neutros e regiões de ramnogalacturonana I (RG-I) e a ramnogalacturonana II (RG-II) presentes na estrutura das pectinas têm sido relacionadas ao efeito prebiótico destes polissacarídeos (Canteri et al., 2012).

Os resultados da Tabela 10 mostram o Δ das absorbâncias referente ao crescimento do microrganismo medidas no tempo de 24 horas e 0 horas. Realizando o teste de dunnett os resultados indicaram que das fontes de carbono com as pectinas de pequi em relação apenas ao meio MRSf apenas o experimento com PT2 na concentração de 1% não apresentou diferença significativa ($p>0,05$).

Comparativamente ao FOS, um prebiótico comercial, nas condições estudadas, o crescimento do probiótico na presença das pectinas foi inferior. Porém, o crescimento bacteriano não é o único critério para ser considerado um prebiótico. É necessário o composto ser resistente à acidez gástrica, não ser hidrolisado por enzimas de mamíferos, ocorrer absorção gastrointestinal, fermentação pela microflora intestinal, estimulação seletiva do crescimento, atividade de bactérias intestinal associadas à saúde e bem-estar, além de suficientemente descrito para permitir comparações de dados robustas e fabricação reproduzível do ingrediente

(Roberfroid et al., 2011; Davani-Davari et al., 2019; Hutkins et al., 2024). Assim, estudos futuros devem ser realizados para comprovar a característica prebiótica das pectinas de pequi.

Sem dúvida, o uso das pectinas de pequi seria uma forma de agregação de valor as cascas deste fruto, um resíduo gerado em grande quantidade no consumo da fruta.

5.8 Teste de Toxicidade

As doses de 4 mg/kg, 20 mg/kg e 40 mg/kg das amostras de pectinas analisadas não foram tóxicas para zebrafish adulto até 96 h de análise ($DL_{50} > 40$ mg/kg), pois não houve um quantitativo de morte significativo e nenhuma alteração anatômica aparente nos animais durante este período ($p > 0,05$). Alves et al. (2024) ao realizar teste similar concluíram que as doses ministradas de pectinas de limão não foram tóxicas. No painel *European Food Safety Authority* (EFSA, 2017) é determinado pelo comitê científico que o consumo diário de pectinas pode variar de 6 a 38 mg/kg.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada sobre a extração de pectinas do mesocarpo externo do pequi utilizando ácido cítrico mostra que há possibilidade de extração de pectinas com diferentes graus de esterificação e a quantidade mínima exigida de 65% de ácido galacturônico, conforme estabelecido nas diretrizes de uso de pectinas. A substituição de ácidos minerais por ácido cítrico, amplamente utilizado na indústria alimentícia, mostrou-se promissora por manter a eficiência do processo de extração. Este fator é de grande interesse para a indústria, que busca soluções mais sustentáveis sem comprometer a qualidade dos produtos.

Com relação ao processo de extração, foi observado que pHs mais baixos proporcionaram um rendimento superior de até 16,67%, e maiores graus de esterificação atingindo até 73,82%. A obtenção de pectinas de diferentes graus de esterificação é vantajosa, uma vez que suas aplicações podem variar dependendo dessas características, ampliando as possibilidades de utilização desse biopolímero em diferentes produtos alimentares ou farmacêuticos.

Com base nos modelos encontrados para o percentual de ácido galacturônico e rendimento ao realizar uma análise conjunta é possível definir que para obter pectinas com teor de ácido galacturônico de no mínimo 65% e rendimentos de pelo menos 8% pode-se trabalhar com pH na faixa de 2,5, temperatura de 73°C e o tempo de cerca de 70 minutos. Para as respostas de grau de esterificação e índice de escurecimento nas condições indicadas obtêm-se pectinas de alto grau de esterificação e com índice de escurecimento mediano referente a 60%. O aumento do pH de extração tende a gerar pectinas de baixo grau de esterificação, então se assim desejado é possível realizar esse ajuste para obter este tipo de pectina.

Os testes realizados para avaliar o potencial prebiótico das pectinas extraídas demonstraram resultados promissores, já que, independentemente do grau de esterificação, todas as amostras favoreceram o crescimento da bactéria probiótica *Lactobacillus rhamnosus* GG. Esse achado é significativo, pois sugere que as pectinas do pequi podem ser incorporadas em produtos que visam promover a saúde intestinal. Apesar de resultados promissores para um potencial prebiótico é necessário a realização de mais análises para que haja a comprovação de tal efeito.

Além disso, as amostras selecionadas não apresentaram toxicidade nos testes realizados com modelos de *zebrafish*, o que reforça a segurança do uso das pectinas extraídas do pequi em potenciais aplicações alimentícias e terapêuticas.

A principal contribuição desta pesquisa está na valorização dos resíduos do pequi, fruto amplamente consumido no Brasil, especialmente na região do Cerrado. Ao demonstrar que esses resíduos podem ser aproveitados para a extração de pectinas com possíveis propriedades prebióticas, o estudo abre caminho para o desenvolvimento de novos produtos, agregando valor a um subproduto que, de outra forma, seria desperdiçado.

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que a extração de pectinas do mesocarpo externo do pequi utilizando ácido cítrico é uma alternativa viável e sustentável, com resultados que atendem às especificações estabelecidas para a indústria alimentícia. Os resultados de DCCR demonstraram um melhor resultado de ácido galacturônico e rendimento para pHs mais ácidos, em temperatura de cerca de 70°C e tempo de extração de 70 minutos, resultando em pectinas com alto grau de esterificação. Por outrora, pectina de baixo grau de esterificação foram obtidas para pHs acima de 3. Estudos de validação que comprovem serem estas as melhores condições de extração podem ser realizados posteriormente. Os achados quanto ao potencial prebiótico das pectinas extraídas são promissores, destacando seu efeito positivo no crescimento da bactéria probiótica *Lactobacillus rhamnosus GG*, sem apresentar toxicidade em modelos biológicos. Assim, a pesquisa não só promove o uso sustentável dos resíduos do pequi, mas também impulsiona o desenvolvimento de novos produtos com benefícios à saúde. Novos estudos são necessários para confirmar o potencial prebiótico observado e ampliar as aplicações industriais dessas pectinas.

REFERÊNCIAS

- ADETUNJI, Lanrewaju Ridwan et al. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 62, p. 239-250, 2017.
- AHSAN, Mehak et al. Exploring pectin from ripe and unripe Banana Peel: A novel functional fat replacers in muffins. *Food Chemistry: X*, p. 101539, 2024.
- ALBANO, K. M.; NOGUEIRA, R. I. Pectins as valuable biomolecules in food and pharmaceutical industries: extraction, properties and applications. *Journal of Applied Biochemistry*, v. 3, n. 2, p. 85-98, 2014.
- ALVES, A. M. B. et al. Anxiolytic and hypoglycemic effect of pectins from Galician lemon citrus fruit on adult zebrafish (*Danio rerio*): An in vivo and in silico approach. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 34, n. 1, p. 178–189, 2024.
- BAGHERIAN, H. et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, v. 83, p. 563-570, 2011.
- BAILÃO, Elisa Flávia Luiz Cardoso et al. Bioactive compounds found in Brazilian Cerrado fruits. *International journal of molecular sciences*, v. 16, n. 10, p. 23760-23783, 2015.
- BASTOS, Deborah HM; ROGERO, Marcelo M.; ARÊAS, José Alfredo G. Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, v. 53, p. 646-656, 2009.
- BIRATU, G.; WOLDEMARIAM, H. W.; GONFA, G. Optimization of pectin yield extracted from coffee Arabica pulp using response surface methodology. *Heliyon*, v. 10, n. 8, 2024.
- BOAS, Brígida Monteiro Vilas et al. Caracterização física, química e bioquímica do mesocarpo interno de frutos do pequi colhidos em diferentes estádios de desenvolvimento. *Ciência Rural*, v. 43, p. 2285-2290, 2013.
- BRUMMELL, D. A. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, v. 33, n. 2, p. 103-119, 2006.
- CAMPOS, N. A. et al. Pectina: Uma abordagem teórica sobre os métodos de extração. *Brazilian Journal of Food Research*, v. 13, n. 2, p. 31–50, 2022.
- CAMPOS, Raquel Pires et al. Elaboração e caracterização de farinha da casca de pequi. *Cadernos de Agroecologia* [Volumes 1 (2006) a 12 (2017)], v. 11, n. 2, 2016.
- CANTERI, M. H. G. et al. Pectina: Da matéria-prima ao produto final. *Polímeros*, v. 22, p. 149–157, 2012.
- CHEN, J. et al. Effects of ultrasound on pectin extraction from citrus peels. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 99, p. 459-469, 2017.

CARVALHO, João Alberto Artoni de et al. Prebióticos melhoram os indicadores de osteoporose em modelo pré-clínico: revisão sistemática com meta-análise. 2019.

CHINA FOOD ADDITIVES ASSOCIATION. *China National Food Additive Standard: Pectin Regulations*. Beijing: National Health Commission, 2018.

COSGROVE, D. J. Growth of the plant cell wall. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, v. 6, n. 11, p. 850-861, 2005.

CÔTÉ, F.; HAHN, M. G. Oligosaccharins: Structures and signal transduction. *Plant Molecular Biology*, v. 26, n. 5, p. 1379-1411, 1994.

CUI, Jiefen et al. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, v. 110, p. 39-54, 2021.

DA COSTA AMARAL, Sarah et al. Cytotoxic effect of crude and purified pectins from *Campomanesia xanthocarpa* Berg on human glioblastoma cells. *Carbohydrate polymers*, v. 224, p. 115140, 2019.

DA SILVA, Lilian Juliane de Souza; LIMA, Lucas Araújo; CAVALLI, Edilson. A cultura do pequi e sua importância socioeconômica para a agricultura familiar.

DA SILVA, Rafaela Alves et al. A percepção de sustentabilidade sob a perspectiva das mulheres extrativistas da comunidade rural Distrito De Horizonte em Jardim–Ceará. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 92880-92891, 2020.

DA SILVA LEAL, Ketolly Natanne; BASTOS, Izabella Carneiro; DE BARROS, Sara Regina Ribeiro Carneiro. Delineamento composto central rotacional (DCCR) para avaliação sensorial de sobremesas lácteas. *Brazilian Journal of Science*, v. 1, n. 7, p. 44-51, 2022.

DAVANI-DAVARI, D. et al. Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, v. 8, n. 3, p. 92, 2019.

DE ALMEIDA, Anderson Soares et al. Óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) métodos de extração, constituição química e propriedades medicinais. *Diversitas Journal*, v. 3, n. 3, p. 557-563, 2018.

DE ALMEIDA CÂNDIDO, Pietro; MALAFAIA, Guilherme Cunha; REZENDE, Marcelo Lacerda. A exploração do pequi na região norte de Minas Gerais: abordagem por meio do Sistema Agroalimentar Localizado. In: IDEAS. Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2012. p. 1-21.

DE LAET, E. et al. The effect of different particle size reduction techniques on the biomass microstructure and the influence on the pectin extraction yield and structure. *Food Hydrocolloids*, v. 151, p. 109875, 2024.

- DONGOWSKI, G.; LORENZ, A.; PROLL, J. The degree of methylation influences the degradation of pectin in the intestinal tract of rats and in vitro. **Journal of Nutrition**, v. 132, n. 7, p. 1935-1944, 2002.
- DRANCA, Florina; OROIAN, Mircea. Optimization of pectin enzymatic extraction from *malus domestica* 'fálticeni' apple pomace with Celluclast 1.5 L. *Molecules*, v. 24, n. 11, p. 2158, 2019.
- DRISHYA, C. M.; WANI, Khalid Mehmood. Exploring muskmelon peel as a novel source of pectin: Extraction methods and applications. *Food and Humanity*, v. 3, p. 100331, 2024.
- EFSA PANEL ON FOOD ADDITIVES AND NUTRIENT SOURCES ADDED TO FOOD (ANS). Re-evaluation of pectin (E 440i) and amidated pectin (E 440ii) as food additives. *EFSA Journal*, v. 15, n. 7, p. e04866, 2017.
- EINHORN-STOLL, U. et al. Thermal degradation of citrus pectin in low-moisture environment–Investigation of backbone depolymerisation. *Food Hydrocolloids*, v. 107, p. 105937, 2020.
- EMAGA, T. H. et al. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 10, p. 4346–4354, 2008.
- EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council on Food Additives. *Official Journal of the European Union*, Brussels, 2008.
- FAO; WHO. Codex Alimentarius Commission: General Standard for Food Additives (GSFA). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- FAO; WHO. Pectin INS 440 – General Standards and Uses in Foods. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.
- FARIAS, T. G. S. Efeito do fruto-oligossacarídeo sobre a viabilidade de *Lactobacillus* spp. para aplicação em suco de abacaxi. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- FDA. *Food and Drug Administration Code of Federal Regulations: Title 21, Volume 3*. Washington, D.C.: U.S. Food and Drug Administration, 2021.
- FILISSETTI-COZZI, T. M.; CARPITA, N. C. Measurement of uronic acids without interference from neutral sugars. *Analytical Biochemistry*, v. 197, n. 1, p. 157–162, 1991.
- FREIRE, T. T. et al. Bactérias ácido lácticas suas características e importância: Revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e513101119964, 2021.
- FSANZ. Food Standards Code: Additive Standards for Australia and New Zealand. Canberra: Food Standards Australia New Zealand, 2018.

GEMECHU, B.; EMIRE, S. A.; ZEWDIE, L. T. Optimization of mango peel pectin extraction (*Mangifera indica* L.): For the production of jam and jelly. *Applied Food Research*, v. 4, n. 1, p. 100411, 2024.

GFI BRASIL. Relatório 2021. Good Food Institute Brasil, 2021. Disponível em: <<https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2022/05/Year-In-Review-2021-GFI-Brasil.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2024

GIANNINI, E. G. et al. Role of prebiotics and probiotics in modulating gut microbiota in patients with inflammatory bowel disease. *Journal of Gastroenterology and Hepatology Research*, v. 5, p. 2215-2222, 2016.

GIBSON, G. R. et al. Dietary prebiotics: Current status and new definition. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, v. 7, n. 1, p. 1–19, 2010.

GIBSON, G. R. et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 14, n. 8, p. 491-502, 2017.

GIBSON, G. R.; RASTALL, R. A. **Prebiotics: Development and application**. Chichester: Wiley, 2006.

GOMES, Fabio da Silva. Carotenóides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de câncer. *Revista de Nutrição*, v. 20, p. 537-548, 2007.

GOMEZ, B. et al. Pectins in the human gut: Impact on health and disease. *Food Hydrocolloids*, v. 32, p. 221-229, 2013.

GUANDALINI, B. B. V.; RODRIGUES, N. P.; MARCZAK, L. D. F. Sequential extraction of phenolics and pectin from mango peel assisted by ultrasound. *Food Research International*, v. 119, p. 455–461, 2019.

GUERRA, I. C. et al. Films and coatings from pequi mesocarp incorporated with nano-ZnO: Properties and capacity to increase mango shelf life. *Industrial Crops and Products*, v. 195, p. 116114, 2023.

GUO, X. et al. Fermentation properties and prebiotic potential of different pectins and their corresponding enzymatic hydrolysates. *Food Hydrocolloids*, v. 143, p. 108878, 2023.

HEERD, D.; TARI, C.; ÖZCENGİZ, G. Pectinase enzyme-complex production by *Aspergillus* spp. in solid-state fermentation: A comparative study. *Food and Bioprocess Processing*, v. 90, n. 2, p. 102–110, 2012.

HU, Jiaying et al. Understanding the impact of pectin on browning of polyphenol oxidation system in thermal and storage processing. *Carbohydrate Polymers*, v. 307, p. 120641, 2023.

HUANG, J. et al. Structural analysis and in vitro fermentation characteristics of an *Avicennia marina* fruit RG-I pectin as a potential prebiotic. *Carbohydrate Polymers*, v. 338, p. 122236, 2024.

HUTKINS, Robert et al. Classifying compounds as prebiotics—scientific perspectives and recommendations. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, p. 1-17, 2024.

IZAR, Maria Cristina de Oliveira et al. Posicionamento sobre o consumo de gorduras e saúde cardiovascular—2021. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, v. 116, n. 1, p. 160-212, 2021.

JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION. *Japanese Food Additive Regulations: Pectin Use Guidelines*. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2020.

JONG, Sze Hui; ABDULLAH, Norazlin; MUHAMMAD, Norhayati. Effect of acid type and concentration on the yield, purity, and esterification degree of pectin extracted from durian rinds. *Results in Engineering*, v. 17, p. 100974, 2023.

KHAN, Ammar Ahmad et al. Extraction and characterization of pectin from grapefruit (Duncan cultivar) and its utilization as gelling agent. *International Food Research Journal*, v. 21, n. 6, 2014.

KROMHOUT, Daan et al. Fish oil and omega-3 fatty acids in cardiovascular disease: do they really work?. *European heart journal*, v. 33, n. 4, p. 436-443, 2012.

KUSRINI, Eny et al. Kinetics, mechanism, and thermodynamics of lanthanum adsorption on pectin extracted from durian rind. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 6, n. 5, p. 6580-6588, 2018.

KUTE, Anil B. et al. Characterization of pectin extracted from orange peel powder using microwave-assisted and acid extraction methods. *Agricultural Research*, v. 9, p. 241-248, 2020.

LEÃO, D. P. et al. Potential of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peels as sources of highly esterified pectins obtained by microwave-assisted extraction. *LWT*, v. 87, p. 575–580, 2018.

LEÃO, L. M. et al. Microwave-assisted extraction of pectin from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peels. **Food Research International**, v. 99, p. 725-731, 2017.

LEE, Khye Yeoung; CHOO, Wee Sim. Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from watermelon (*Citrullus lanatus*) rind: comparison of hydrochloric and citric acid extraction. *Journal of Nutraceuticals and Food Science*, v. 5, n. 1, p. 1, 2020.

LUPI, F. R. et al. Rheological investigation of pectin-based emulsion gels for pharmaceutical and cosmetic uses. *Rheologica Acta*, v. 54, p. 41–52, 2015.

MACIEL, TAMIRES COELHO MATIAS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI—UFCA PRÓ-REITORIA DE ENSINO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL-PRODER.

MANASSI, Cynthia Farias et al. X-bióticos: tendências na funcionalização de produtos cárneos. In: *AVANÇOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS-VOLUME 6*. Editora Científica Digital, 2022. p. 410-440.

- MANRIQUE, G. D.; LAJOLO, F. M. FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v. 25, n. 1, p. 99–107, 2002.
- MARAN, J. P.; SIVAKUMAR, V.; SRIDHAR, R. Optimization of microwave-assisted extraction of pectin from orange peel. *Carbohydrate Polymers*, v. 97, n. 2, p. 703–709, 2013.
- MARIN-RODRIGUEZ, M. C.; ORCHARD, J.; SEYMOUR, G. B. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 377, p. 2115-2119, 2002.
- MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, v. 48, n. 2, p. 169–175, 2001. .
- MH, C. S. Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 48, n. 2, p. 259–266, 2005.
- MIN, B. et al. Environmentally friendly preparation of pectins from agricultural byproducts and their structural/rheological characterization. *Bioresource Technology*, v. 102
- MOHNEN, D. Pectin structure and biosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, n. 3, p. 266-277, 2008.
- MOHNEN, D. Pectin structure and biosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, n. 3, p. 266-277, 2008.
- MOZAFFARIAN, Dariush; WU, Jason HY. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 58, n. 20, p. 2047-2067, 2011.
- NAKAMURA, A.; MIYOSHI, S. Cholesterol-lowering effects of pectin and galacturonic acid. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 768-773, 2010.
- NOGUEIRA, Juliete Pedreira; DE JESUS, Maria Antônia Carvalho Lima. Desenvolvimento, avaliação físico-química, sensorial e colorimétrica da geleia de seriguela diet. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 8, n. 2S, 2014.
- OLIVEIRA, Natália Inocência. Fitocosméticos: uso de derivados vegetais de plantas do Cerrado em formulações cosméticas. 2024.
- OLIVEIRA, T. et al. Extraction of pectin from orange peels by acid hydrolysis. **Food Chemistry**, v. 201, p. 287-293, 2016.
- PESSOA, M.S.; AVELAR, J.C.S.; NASCIMENTO, A.L.H.; SILVA, K.L; SOARES, A.C.M.; CAMARGO, A.C.S.; FARIA FILHO, D.E. Performance of Nile tilapia fed with bran made of pequi peel. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.65, n.2, p.547-552, 2013.

PICOT-ALLAIN, Marie Carene Nancy; RAMASAWMY, Brinda; EMMAMBUX, Mohammad Naushad. Extraction, characterisation, and application of pectin from tropical and sub-tropical fruits: a review. *Food Reviews International*, v. 38, n. 3, p. 282-312, 2022.

RIBEIRO, Ana Carolina Barbosa et al. Cashew apple pectin as a carrier matrix for mangiferin: Physicochemical characterization, in vitro release and biological evaluation in human neutrophils. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 171, p. 275-287, 2021.

RIDLEY, B. L.; O'NEILL, M. A.; MOHNEN, D. Pectins: Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. **Phytochemistry**, v. 57, n. 6, p. 929-967, 2001.

RIPOLL, C. et al. Structure-function relationships of low-methoxyl pectins. **Food Hydrocolloids**, v. 48, p. 291-300, 2015.

RIPOLL, Carolina Sofía Salazar; HINCAPIÉ-LLANOS, Gustavo Adolfo. Evaluation of sources and methods of pectin extraction from fruit and Vegetable wastes: A Systematic Literature Review (SLR). *Food Bioscience*, v. 51, p. 102278, 2023.

RIVERO-UGA, C. et al. Potential role of prebiotics in the management of gastrointestinal disorders: A narrative review. **European Journal of Gastroenterology & Hepatology**, v. 29, p. 1206-1215, 2017.

RODSAMRAN, Pattrathip; SOTHORNVIT, Rungsinee. Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method. *Food chemistry*, v. 278, p. 364-372, 2019.

ROMAN-BENN, Analese et al. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advances*, v. 2, p. 100192, 2023

SCHOLS, H. A.; VORAGEN, A. G. J. Complex pectins: Structure elucidation using enzymes. In: SEYMORE, G. B.; KNOX, J. P. (Eds.). **Pectins and their manipulation**. Oxford: Blackwell Publishing, 2002. p. 59-83.

SCHOLTENS, P. A. et al. The effect of prebiotics on mineral metabolism in rats and humans. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 21, p. 95-99, 2014.

SILVA, Amanda da Lapa et al. Farelo da casca de pequi na alimentação de poedeiras. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 38, p. 151-154, 2016.

SIQUEIRA, Beatriz dos Santos et al. Pectina extraída de casca de pequi e aplicação em geleia light de manga. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, p. 560-567, 2012.

SIQUEIRA, B.S.; SOARES JÚNIOR, M.S.; FERNANDES, K.F.; CALIARI, M.; DAMIANI, C. Effect of soaking on the nutritional quality of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel flour. *Food Science and Technology*, v.33, n.3, p.500-506,2013.

- SIQUEIRA, Rafaela Anunciação et al. Pequi mesocarp: a new source of pectin to produce biodegradable film for application as food packaging. *Food Science and Technology*, v. 42, p. e71421, 2022.
- SLAVIN, J. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients*, v. 5, n. 4, p. 1417-1435, 2013.
- SOARES JÚNIOR, Manoel Soares et al. Desenvolvimento e caracterização química de farinha obtida do mesocarpo externo do fruto do pequi. *Food Science and Technology*, v. 30, p. 949-954, 2010.
- SOUZA, Jéssica Leal Freita e. VERDE, GOIANO–CÂMPUS RIO. Farinha Do Mesocarpo Do Pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess): Cinética Da Secagem, Propriedades Nutricionais, Funcionais E Enriquecimento De Iogurtes. 2015. Tese de Doutorado. Instituto Federal de Educação.
- SRIAMORNSAK, P. et al. Extraction and characterization of pectins with different degrees of esterification from the peels of Thai mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 11, p. 1953-1958, 2010.
- TAIZ, Lincoln et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, 2017.
- THAKUR, B. R. et al. Chemistry and uses of pectin - A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 37, n. 1, p. 47-73, 1997.
- THAKUR, B. R.; SINGH, R. K. Pectin: structure and functionality. **Food Reviews International**, v. 11, n. 2, p. 245-271, 1995.
- TORREZAN, Eloísa; LABATE, Carlos Alberto. Caracterização dos mecanismos de indução de resistência à ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), por meio de dados ômicos, em plantas de soja tratadas com oligogalacturonídeos. OGS)(Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo), 2023.
- TWINOMUHWEZI, Hannington; GODSWILL, Awuchi Chinaza; KAHUNDE, Daphine. Extraction and characterization of pectin from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*) and tangerine (*Citrus tangerina*). *American Journal of Physical Sciences*, v. 1, n. 1, p. 17-30, 2023.
- VALLE, Raúl René Meléndez; SANTOS, K. C. B.; SILVA, J. V. O. Mecanismos de resistência em plantas contra ataque de patógenos: Indução de resistência. *Cacau: Cultivo, pesquisa e inovação*, p. 85-150, 2018.
- VERA, R.; NAVES, R.V.; NASCIMENTO, J.L.; CHAVES, L.J.; LEANDRO W.M.;SOUZA, E.R.B. Caracterização física de frutos do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no Estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, n.2, p.71-79,2005.
- VIANA, Bruna Teles Oliveira; ADORNO, Daiany Alves; SANTOS, Jânio Sousa. Os benefícios do caratenoides para a saúde. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 16, p. e452111638250-e452111638250, 2022.

VINCKEN, J. P.; YORK, W. S.; BELDMAN, G.; VORAGEN, A. G. J. Two general branching patterns of xyloglucan, XXXG and XXGG. **Plant Physiology**, v. 132, n. 2, p. 912-925, 2003.

WILLATS, W. G. T. et al. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis. **Plant Molecular Biology**, v. 47, p. 9-27, 2001.

WILLATS, W. G.; MCCARTNEY, L.; MACKIE, W.; KNOX, J. P. Pectin: Cell biology and prospects for functional analysis. **Plant Molecular Biology**, v. 47, n. 1, p. 9-27, 2001.

WILKOWSKA, Agnieszka et al. Influence of human age on the prebiotic effect of pectin-derived oligosaccharides obtained from apple pomace. *Fermentation*, v. 7, n. 4, p. 224, 2021.

WOLF, S.; MOUILLE, G.; PELLOUX, J. Homogalacturonan methyl-esterification and plant development. **Molecular Plant**, v. 2, n. 5, p. 851-860, 2009.

XU, Yuting et al. Effects of ultrasound and/or heating on the extraction of pectin from grapefruit peel. *Journal of Food Engineering*, v. 126, p. 72-81, 2014.

YANG, Yishuo et al. Efficient extraction of pectin from sisal waste by combined enzymatic and ultrasonic process. *Food Hydrocolloids*, v. 79, p. 189-196, 2018.

YANG, Wenjing et al. Water-insoluble tea polyphenol nanoparticles as fillers and bioactive agents for pectin films to prepare active packaging for fruit preservation. *Food Hydrocolloids*, v. 156, p. 110364, 2024.

YAPO, Beda M.; KOFFI, Kouassi L. Extraction and characterization of highly gelling low methoxy pectin from cashew apple pomace. *Foods*, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2013.

ZAID, Rubaiyi M. et al. *Hylocereus polyrhizus* peel's high-methoxyl pectin: A potential source of hypolipidemic agent. *International journal of biological macromolecules*, v. 134, p. 361-367, 2019.

ZHANG, Wei et al. Novel pectin based composite hydrogel derived from grapefruit peel for enhanced Cu (II) removal. *Journal of hazardous materials*, v. 384, p. 121445, 2020.

ZOGHI, Alaleh et al. A review on pectin extraction methods using lignocellulosic wastes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, p. 1-13, 2021.

APÊNDICE A – TABELA DE DADOS DE ANÁLISE COLORIMÉTRICA DAS PETINAS EXTRAÍDAS DO MESOCARPO EXTERNO DO PEQUI COM ÁCIDO CÍTRICO

	L	a*	b*	C*	h	Índice BI	Cor
PT1	62,548	3,316	20,472	20,74	80,806	42,72249	
PT2	61,534	4,166	21,558	21,554	79,068	47,22166	
PT3	51,678	5,612	24,42	25,056	76,942	70,1218	
PT4	45,474	7,476	22,58	23,786	71,68	78,69728	
PT5	50,238	4,226	23,598	23,974	79,836	67,72036	
PT6	47,736	5,25	19,438	20,13	74,9	59,25154	
PT7	50,48	3,998	20,844	21,224	79,144	57,79896	
PT8	39,822	3,3	8,958	9,548	69,776	31,13034	
PT9	39,492	4,408	15,62	16,318	74,306	57,51491	
PT10	42,69	5,358	18,396	19,166	73,854	64,31491	
PT11	57,022	3,416	23,126	23,376	81,6	55,11471	
PT12	43,38	4,938	20,144	20,74	76,224	69,09831	
PT13	52,468	4,736	26,18	26,588	79,742	73,41628	
PT14	40,214	5,84	16,824	17,808	70,864	63,74158	
PT15	55,2	4,494	23,472	23,9	79,158	59,97378	
PT16	49,008	5,196	20,992	21,626	76,096	62,39278	
PT17	47,98	4,528	20,34	20,838	77,438	60,76722	

Fonte: Próprio autor