



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

Melissa Aparecida Lada

**Desenvolvimento de têxteis inteligentes contendo extratos de antocianinas
naturais para detecção colorimétrica de mudanças de pH**

Blumenau
2024

Melissa Aparecida Lada

Desenvolvimento de têxteis inteligentes contendo extratos de antocianinas naturais para detecção colorimétrica de mudanças de pH

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cristiane da Costa

Blumenau

2024

Lada, Melissa Aparecida

Desenvolvimento de têxteis inteligentes contendo extratos de antocianinas naturais para detecção colorimétrica de mudanças de pH / Melissa Aparecida Lada ; orientadora, Cristiane da Costa, 2024.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. antocianinas. 3. sensibilidade ao pH. 4. têxteis inteligentes. 5. detecção colorimétrica. I. Costa, Cristiane da . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Melissa Aparecida Lada

**Desenvolvimento de têxteis inteligentes contendo extratos de antocianinas naturais
para detecção colorimétrica de mudanças de pH**

Este Projeto Final de Curso II foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 23 de Agosto de 2024.



Documento assinado digitalmente
Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar
Data: 25/09/2024 16:08:44-0300
CPF: ***.439.299-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.^a Dr.^a Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Documento assinado digitalmente
Cristiane da Costa
Data: 20/08/2024 11:54:10-0300
CPF: ***.369.219-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.^a Dr.^a Cristiane da Costa
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Joziel Aparecido da Cruz
Data: 20/08/2024 13:33:53-0300
CPF: ***.676.519-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.^o Dr.^o Joziel Aparecido da Cruz
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Catia Rosana Lange de Aguiar
Data: 23/08/2024 10:26:34-0300
CPF: ***.845.219-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.^a Dr.^a Cátia Rosana Lange de Aguiar
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2024.

Dedico este trabalho a minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo o apoio ao longo de toda essa jornada, por estarem sempre ao meu lado, por acreditarem nos meus sonhos, me ouvir nos momentos de crises e por sempre me fazerem sentir amada, sem vocês eu não seria nada.

Ao meu namorado Rafael Martins Rodrigues, por todo incentivo ao longo da pesquisa, por me auxiliar nos momentos de medo e incerteza, por passar os sábados comigo no laboratório, por sempre me ouvir e por nunca me deixar desistir.

À minha querida orientadora Prof^a Dr.^a Cristiane da Costa, pelo suporte em toda a pesquisa, por aceitar compartilhar comigo esse momento tão incrível e tenso que é o desenvolvimento do TCC. Por ter me permitido conhecer o laboratório, ser tão paciente e por me incentivar a ser mais curiosa.

À Bruna Porto e ao Joziel Aparecido da Cruz por todo auxílio no laboratório, no desenvolvimento da pesquisa, nas dúvidas sobre os procedimentos, e por estarem sempre me questionando quanto às etapas, vocês foram fundamentais para que eu amasse o laboratório e toda essa experiência.

À Laura Antunes Grimm, ao Alexander Sasse e a Beatriz Kruger por toda amizade e conversa ao longo da faculdade, por serem minhas fontes de inspiração, por compartilhar os seus sonhos comigo e por sempre estarmos juntos nos momentos difíceis e felizes, a trajetória no curso foi mais especial por ter vocês comigo sempre.

Aos meus meninos, Nathan Goedert, Yuri de Souza, Julio Matzenbacher, Arthur Tassi, Augusto Darius, Leonardo Sciamana, Gabriel Melo, Rafael Baiense, Vinicius Dias e Cláudio Moreira por se tornarem a minha maior base na faculdade, por me acompanharem ao longo do TCC, por se preocuparem nos momentos em que eu não estava bem, e principalmente por sempre me esperarem para almoçar depois de um dia longo no laboratório, os dias com vocês sempre foram os mais divertidos.

Ao Athos Araujo, Matheus Campos e Daniel Cunha do departamento de Engenharia de Materiais, por todo auxílio nos ensaios que necessitavam de seus laboratórios e a todo corpo docente do departamento de Engenharia Têxtil, pelos ensinamentos, por todas as oportunidades, e por todas as conversas ao longo do curso, vocês sempre me inspiraram muito.

RESUMO

As uvas são alimentos ricos em antocianinas, compostos responsáveis por sua coloração roxa. Esses compostos têm sido cada vez mais investigados para aplicações médicas devido às suas propriedades antioxidantes, capacidade de regular processos metabólicos e cardiovasculares, e proteção das células contra danos oxidativos. No entanto, as antocianinas são instáveis e podem degradar-se em determinadas condições, como exposição à luz, variações de temperatura e mudanças no pH. Dessa forma, a aplicação de antocianinas em curativos médicos poderia auxiliar na detecção de mudanças no pH do meio, servindo como um indicativo para a troca do curativo ou a identificação de uma possível infecção. Neste trabalho, foi realizada a extração de antocianinas da casca da uva Isabel utilizando um solvente acidificado com HCl, em um processo meticuloso para evitar a degradação do composto. O objetivo foi impregnar essas antocianinas em tecidos 100% algodão alvejados. O processo de impregnação envolveu a utilização de uma solução do extrato de antocianinas e a adição de quitosana, devido às suas propriedades antimicrobianas, biocompatibilidade e biodegradabilidade, melhorando as características do têxtil desenvolvido. Foram testadas três metodologias de impregnação: aplicação das antocianinas sem recobrimento, presença de quitosana em solução com o extrato, e quitosana como revestimento no têxtil com antocianinas. Ensaio de microscopia e análises de FTIR (Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier) foram realizados nas amostras, demonstrando que não houve degradação significativa das fibras do tecido de algodão durante os processos. As análises de FTIR também permitiram detectar as bandas características da celulose e das antocianinas nas amostras impregnadas. Em seguida, foram investigadas as mudanças colorimétricas das amostras e a sensibilidade à variação do pH. Diversos tampões (pH 3 ao pH 10) foram desenvolvidos e as amostras impregnadas foram imersas em cada solução de pH, observando-se visualmente as mudanças colorimétricas dos tecidos. Os resultados mostraram que a presença de quitosana prolonga o tempo de mudança de cor das amostras em diversos pHs, e que a coloração das amostras se torna mais fraca com a presença de quitosana. Esse comportamento é atribuído à camada protetora formada pela quitosana, que impede grandes interações das antocianinas, resultando em uma tonalidade mais fraca e uma interação retardada com as soluções tampões. Dessa forma, o estudo demonstrou com eficiência a extração de antocianinas da casca da uva Isabel, bem como o processo de impregnação e a sensibilidade ao pH, destacando a significativa influência da quitosana no processo e os benefícios que este composto pode trazer para o desenvolvimento de um têxtil inteligente para aplicação na área médica. Além disso, foi possível analisar as mudanças na resposta das amostras que sofreram degradação das antocianinas sob influência da luz solar, evidenciando a importância de realizar a metodologia sob condições controladas para evitar a degradação. Assim, o desenvolvimento de têxteis inteligentes ativos e não implantáveis apresentou resultados promissores em termos de uniformidade de impregnação, quantificação das antocianinas nos têxteis e comportamento à variação do pH.

Palavras-chave: têxteis médicos; impregnação de antocianinas; sensibilidade ao pH.

ABSTRACT

Grapes are foods rich in anthocyanins, compounds responsible for their purple color. These compounds have been increasingly investigated for medical applications due to their antioxidant properties, ability to regulate metabolic and cardiovascular processes, and protection of cells against oxidative damage. However, anthocyanins are unstable and can degrade under certain conditions, such as exposure to light, temperature variations and changes in pH. Therefore, the application of anthocyanins to medical dressings could help detect changes in the pH of the environment, serving as an indication for changing the dressing or identifying a possible infection. In this work, anthocyanins were extracted from the skin of the Isabella grape using a solvent acidified with HCl, in a meticulous process to avoid degradation of the compound. The objective was to impregnate these anthocyanins in bleached 100% cotton fabrics. The impregnation process involved the use of an anthocyanin extract solution and the addition of chitosan, due to its antimicrobial properties, biocompatibility and biodegradability, improving the characteristics of the developed textile. Three impregnation methodologies were tested: application of anthocyanins without coating, presence of chitosan in solution with the extract, and chitosan as a coating on the textile with anthocyanins. Microscopy tests and FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analyzes were carried out on the samples, demonstrating that there was no significant degradation of the cotton fabric fibers during the processes. FTIR analyzes also allowed the detection of characteristic bands of cellulose and anthocyanins in the impregnated samples. Next, the colorimetric changes of the samples and the sensitivity to pH variation were investigated. Various buffers (pH 3 to pH 10) were developed and the impregnated samples were immersed in each pH solution, visually observing the colorimetric changes of the tissues. The results showed that the presence of chitosan prolongs the color change time of the samples at different pHs, and that the color of the samples becomes weaker with the presence of chitosan. This behavior is attributed to the protective layer formed by chitosan, which prevents large interactions of anthocyanins, resulting in a weaker tone and a delayed interaction with buffer solutions. In this way, the study efficiently demonstrated the extraction of anthocyanins from the skin of the Isabella grape, as well as the impregnation process and sensitivity to pH, highlighting the significant influence of chitosan in the process and the benefits that this compound can bring to the development of a smart textile for application in the medical field. Furthermore, it was possible to analyze changes in the response of samples that suffered degradation of anthocyanins under the influence of sunlight, highlighting the importance of carrying out the methodology under controlled conditions to avoid degradation. Thus, the development of active and non-implantable smart textiles showed promising results in terms of impregnation uniformity, quantification of anthocyanins in textiles and behavior to pH variation.

Keywords: medical textiles; anthocyanin impregnation; pH sensitivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Classificação dos Têxteis Inteligentes	18
Figura 02 - Estrutura básica das antocianinas	20
Figura 03 - Estruturas moleculares das seis principais antocianinas	21
Figura 04 - Uva Isabel	24
Figura 05 - Estrutura molecular da quitosana	26
Figura 06 - Esquematização do Foulard	27
Figura 07 - Casca Seca da Uva Isabel e Pó resultante da casca	30
Figura 08 - Esquematização do processo de extração da antocianina em água acidificada com HCl	30
Figura 09 - Processo de impregnação	34
Figura 10 - Esquema da análise de sensibilidade do extrato ao pH	35
Figura 11 - Esquema da análise de sensibilidade ao pH dos têxteis impregnados	36
Figura 12 - Representação do sistema CIELab	37
Figura 13 - Esquematização da Análise Colorimétrica	38
Figura 14 - Extrato de antocianina à variação do pH	41
Figura 15 - Extrato de antocianina em pH 8	41
Figura 16 - Análise Microscópica das amostras têxteis	45
Figura 17 - Análise FTIR	47
Figura 18 - Análise visual da variação de cor em função do pH do tecido impregnado com banho A	49
Figura 19 - Análise visual da variação de cor em função do pH do tecido impregnado com banho B	50
Figura 20 - Análise visual da variação de cor em função do pH do tecido impregnado com banho A+C	51
Figura 21 - Comparativo da sensibilidade ao pH das amostras impregnadas	52
Figura 22 - Sensibilidade ao pH das amostras expostas à luz solar	52
Figura 23 - Amostras impregnadas expostas à luz solar	53
Figura 24 - Tonalidades do processo de impregnação	56
Figura 25 - Tonalidades das amostras de tecido impregnadas com banho A e após a análise de sensibilidade ao pH	57
Figura 26 - Tonalidades das amostras de tecido impregnadas com banho B e após análise de sensibilidade ao pH	58

Figura 27 - Tonalidades das amostras de tecido impregnados com banho A+C e após análise de sensibilidade ao pH

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Receita de alvejamento para Algodão 100 %	32
Tabela 02 – Receita de impregnação	33
Tabela 03 – Soluções Tampões	35
Tabela 04 – Absorbância das amostras de extrato da casca de uva	39
Tabela 05 – Parâmetros Colorimétricos de amostras alvejadas	42
Tabela 06 – Parâmetros Colorimétricos do segundo alvejamento	43
Tabela 07 – Análise Colorimétrica da Impregnação	54
Tabela 08 – Parâmetros de cor das amostras de tecido impregnadas com banho A e após análise de sensibilidade ao pH	57
Tabela 09 – Parâmetros de cor das amostras de tecido impregnadas com banho B e após análise de sensibilidade ao pH	59
Tabela 10 – Parâmetros de cor das amostras de tecido impregnadas com banho A+C e após análise de sensibilidade ao pH	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACNs Antocianinas

ATR Modo de refletância total atenuada

FTIR Espectro de Infravermelho por Transformada de Fourier

TAC Teor de Antocianinas Totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	TÊXTEIS INTELIGENTES	17
2.1.1	Têxteis Inteligentes aplicados na medicina	18
2.1.2	Têxteis sensíveis a variação de pH	19
2.2	ANTOCIANINAS	20
2.2.1	Estabilidade das Antocianinas	22
2.2.1.1	<i>Influência da Temperatura</i>	22
2.2.1.2	<i>Influência do pH</i>	22
2.2.1.3	<i>Influência a exposição constante à luz</i>	23
2.2.2	Aplicações das Antocianinas	23
2.2.3	Uva Isabel como fonte de antocianinas	24
2.2.4	Extração de antocianinas por solvente	24
2.3	QUITOSANA	25
2.4	IMPREGNAÇÃO	27
2.5	TÊXTEIS INTELIGENTES FUNCIONALIZADOS COM ANTOCIANINAS	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	MATERIAIS	28
3.2	EXTRAÇÃO DAS ANTOCIANINAS	29
3.2.1	Determinação do teor de umidade	31
3.3	QUANTIFICAÇÃO DAS ANTOCIANINAS	31
3.4	ALVEJAMENTO DOS TÊXTEIS 100% ALGODÃO	31
3.5	IMPREGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	32
3.6	SENSIBILIDADE AO PH	34
3.7	CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS	36
3.7.1	Análise Colorimétrica	36
3.7.2	FTIR	38
3.7.3	Microscopia	39
4	RESULTADOS	39
4.1	EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS ANTOCIANINAS TOTAIS	39

4.1.1	Teor de umidade	40
4.1.2	Análise do extrato a variação do pH	40
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ALVEJADAS	42
4.3	IMPREGNAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS	43
4.3.1	Análise Microscópica	43
4.3.2	Espectro de Infravermelho por Transformada de Fourier	46
4.3.3	Análise dos têxteis impregnados a variação do pH	48
4.3.3.1	<i>Têxteis impregnados apenas com extrato</i>	48
4.3.3.2	<i>Têxteis impregnados com solução de extrato e quitosana</i>	49
4.3.3.3	<i>Têxteis impregnados com extrato e revestidos com quitosana</i>	50
4.3.3.4	<i>Têxteis impregnados com antocianinas e expostos à luz solar</i>	52
4.3.4	Colorimetria das amostras impregnadas	54
4.3.5	Colorimetria da análise de sensibilidade ao pH dos tecidos	56
4.3.5.1	<i>Análise Colorimétrica das amostras do banho A</i>	56
4.3.5.2	<i>Análise Colorimétrica das amostras do banho B</i>	58
4.3.5.3	<i>Análise Colorimétrica das amostra do banho A+C</i>	59
5	CONCLUSÃO	61
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

As antocianinas são pigmentos naturais pertencentes ao grupo dos flavonóides, amplamente encontrados em frutas, vegetais e flores coloridas. Além de conferirem cores vibrantes como vermelho, roxo e azul às plantas, esses compostos têm despertado crescente interesse devido às suas potenciais propriedades antioxidantes e benefícios para a saúde. Estudos indicam que as antocianinas não apenas contribuem para a proteção das células contra danos oxidativos, mas também podem exercer efeitos benéficos no organismo humano, sendo alvo de investigações para aplicação em diversos campos, desde a alimentação até a medicina (Wallace *et al.*, 2010). Na área da saúde, as antocianinas estão sendo amplamente investigadas por seu potencial na regulação de processos metabólicos e na promoção da saúde cardiovascular. Estudos epidemiológicos têm demonstrado uma associação positiva entre o consumo desses compostos e a redução do risco de doenças cardíacas, como aterosclerose e hipertensão (Khoo *et al.*, 2017).

Têxteis impregnados com antocianinas oferecem uma interessante combinação de propriedades funcionais. A incorporação de antocianinas nos tecidos confere propriedades antioxidantes, ajudando a proteger o material contra danos oxidativos, podendo também apresentar benefícios adicionais para a pele humana quando em contato direto, potencialmente ajudando na redução de radicais livres. A combinação de antocianinas com quitosana cria uma sinergia única, onde as propriedades antimicrobianas da quitosana são complementadas pelas propriedades antioxidantes das antocianinas (Ghadah, 2024). Este tipo de tecido pode ser útil em aplicações médicas, como curativos avançados para promover a cicatrização de feridas.

Uma característica marcante das antocianinas é sua sensibilidade ao pH, que causa mudanças de cor dependendo da acidez ou alcalinidade do ambiente. Em soluções ácidas (pH baixo), as antocianinas tendem a apresentar cores vermelhas ou rosas, enquanto em soluções neutras, a cor pode variar para roxo. Em ambientes alcalinos (pH alto), as antocianinas geralmente exibem tons de azul ou verde (Giusti e Wrolstad 2001).

A sensibilidade dos têxteis impregnados com antocianinas à variação de pH pode ser explorada em curativos inteligentes que alteram sua coloração em presença

de exsudato ácido, indicando a necessidade de troca do curativo ou alertando sobre possíveis complicações na cicatrização da ferida (Sánchez, 2006). Essa capacidade de resposta visual não apenas facilita o monitoramento contínuo da condição da ferida, mas também pode melhorar significativamente o gerenciamento de cuidados médicos, promovendo uma recuperação mais eficaz e personalizada para o paciente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Obtenção de um substrato têxtil de algodão funcionalizado com antocianinas extraídas da casca de uva para detecção de variações de pH.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- Obter um extrato de antocianinas da Uva Isabel, utilizando água acidificada com HCl, eficaz para a impregnação em substratos têxteis;
- Estabelecer um procedimento para a impregnação de substratos têxteis com antocianinas, visando uma adesão uniforme e estável dos compostos ao material têxtil;
- Avaliar a homogeneidade, coloração e estabilidade das antocianinas aplicadas nos substratos têxteis funcionalizados;
- Determinar a faixa de pH detectável pelos substratos têxteis funcionalizados, além de avaliar a sensibilidade desses substratos à exposição à luz.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TÊXTEIS INTELIGENTES

Os têxteis inteligentes são materiais capazes de responder a estímulos externos, como variações de temperatura, luz, pressão ou alterações químicas. Esses materiais combinam avanços tecnológicos com fibras tradicionais para criar produtos que se adaptam dinamicamente às mudanças no ambiente ao seu redor (Stoppa *et al.*, 2014).

Segundo Maestri (2022), esses têxteis podem ser classificados em três categorias principais, conforme apresentado na Figura 1. Os têxteis passivos possuem características funcionais que não dependem de mudanças no ambiente, isso significa que suas propriedades inteligentes estão inerentemente presentes no material têxtil, sem a necessidade de qualquer ação externa. Os têxteis inteligentes ativos têm a capacidade de detectar e reagir a estímulos do ambiente, sendo amplamente utilizados como sensores e atuadores. A terceira categoria abrange os têxteis muito inteligentes, que podem detectar mudanças externas, reagir a elas e se adaptar às condições desejadas.

Figura 01 - Classificação dos Têxteis Inteligentes



Fonte: Maestri, 2022

2.1.1 Têxteis Inteligentes aplicados na medicina

Os têxteis médicos estão entre as áreas de maior expansão dos têxteis inteligentes. Seu uso abrange desde gazes simples e materiais de atadura até andaimes para cultura de tecidos, que são estruturas biodegradáveis usadas para

promover o crescimento celular e a regeneração de tecidos, além de uma ampla gama de próteses para implantes permanentes no corpo (Anand, 2000).

Nesse contexto, os materiais têxteis têm desempenhado um papel cada vez mais significativo, oferecendo uma ampla gama de aplicações para fibras, tecidos, malhas e não tecidos (Carretero, 2013). Assim, as estruturas têxteis são identificadas por sua construção, composição, comportamento superficial das fibras e degradação.

Os têxteis médicos podem ser definidos em três categorias principais, sendo classificados pela sua área de atuação. Os têxteis de proteção são utilizados por profissionais e pacientes para protegê-los de fluídos possivelmente contaminados, como batas, gorros e máscaras. Os têxteis cirúrgicos, empregados em diversos procedimentos cirúrgicos, subdividem-se em implantáveis, como suturas, ligamentos artificiais e redes de reforço cirúrgico, e não-implantáveis, destinados a aplicações externas no corpo humano, como emplasto, gazes e curativos. Por fim, os têxteis extracorporais incluem dispositivos como rins, fígados e pulmões artificiais (ANAND, 2000).

2.1.2 Têxteis sensíveis a variação de pH

Uma inovação significativa na área dos materiais têxteis são os têxteis sensíveis à variação de pH. Esses tecidos alteram suas propriedades físicas ou químicas em resposta a mudanças no pH do ambiente, encontrando ampla aplicação na medicina. Nessa área, podem ser usados como monitores de feridas, liberando medicamentos de forma controlada ao detectarem variações no pH da pele afetada (Kumar *et al.*, 2023).

No âmbito das embalagens, esses têxteis podem indicar a deterioração de alimentos através de mudanças de cor (Gaviria, 2024). A funcionalização das fibras têxteis com sensores de pH é obtida por meio de diversos métodos, incluindo a aplicação de tinturas naturais e sintéticas que exibem propriedades sensíveis ao pH, proporcionando uma abordagem versátil e eficaz para a criação de materiais responsivos ao ambiente (Liu *et al.*, 2022).

A sensibilidade ao pH nos têxteis funciona através da incorporação de materiais ou compostos que reagem a mudanças no pH do ambiente. Esses têxteis são geralmente tratados com indicadores de pH, como corantes ou pigmentos que alteram

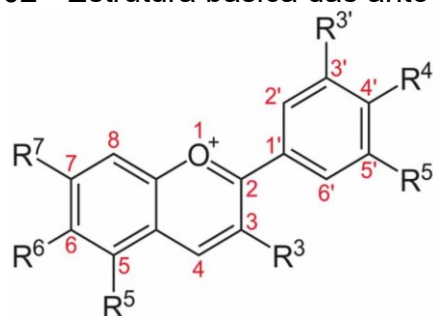
sua estrutura molecular em resposta a variações de acidez ou alcalinidade. Quando o pH do meio ambiente altera, essas alterações moleculares resultam em mudanças visíveis nas propriedades do tecido, como cor, textura ou permeabilidade (Liu *et al.*, 2022).

Em um ambiente ácido, os corantes podem se protonar, mudando de cor para indicar a presença de um pH baixo. Essa funcionalidade é alcançada através de métodos como a funcionalização das fibras têxteis com grupos químicos sensíveis ao pH, encapsulação de sensores de pH em microcápsulas, ou pela aplicação de revestimentos especiais que reagem a mudanças no pH (Liu *et al.*, 2022). Essa tecnologia permite que os têxteis respondam de maneira rápida e eficaz a alterações no ambiente, proporcionando uma excelente ferramenta para o monitoramento e resposta em diversas aplicações.

2.2 ANTOCIANINAS

As antocianinas pertencem a um dos grupos mais abundantes de pigmentos naturais, amplamente distribuídos na natureza, sendo encontrada em uma variedade de frutas e vegetais, como mirtilos, uvas, beterrabas e repolhos roxos (Khoo *et al.*, 2017). Esses pigmentos são classificados como flavonoides, uma família de metabólitos secundários reconhecida por sua atividade antioxidante e potencial benefício para a saúde (He e Giusti, 2010). Quimicamente, as antocianinas são glicosídeos de antocianidinas, compostos polifenólicos que consistem em um núcleo de flavonoides com um ou mais grupos hidroxila e um grupo carbonila (Wallace *et al.*, 2010).

Figura 02 - Estrutura básica das antocianinas

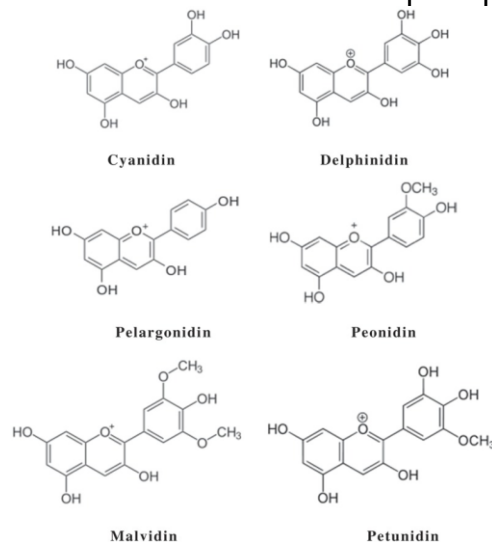


Fonte: Khoo *et al.*, 2017

A estrutura básica dessas moléculas (Figura 2) inclui um sistema de anéis aromáticos, frequentemente com variações em grupos metoxila, hidroxila e glicosila (grupos R3, R4, R5, R6, R7) ligados a essa estrutura principal (Wallace *et al.*, 2010). Essa complexa composição química e estrutural confere às antocianinas propriedades físicas e biológicas únicas, destacando-se sua capacidade de interagir com radicais livres e outras moléculas reativas, além de contribuir para a coloração vibrante observada em uma variedade de alimentos (He and Giusti, 2010; Khoo *et al.*, 2017).

Dentre as classes dos flavonóides, existem seis principais antocianinas que são frequentemente citadas na literatura científica devido à sua prevalência e importância. Entre elas, destacam-se a cianidina, a delphinidina, a pelargonidina, a petunidina, a malvidina e a peonidina (Liu *et al.*, 2021), cujas estruturas são apresentadas na Figura 3. Cada uma dessas antocianinas possui uma estrutura química única, conferindo-lhes propriedades específicas que influenciam sua estabilidade, bioacessibilidade e atividade biológica (He e Giusti, 2010). Exemplifica-se que a cianidina é amplamente encontrada em frutas vermelhas, como morangos e framboesas, enquanto a delphinidina é predominante em frutas azuis, como mirtilos e amoras. Adicionalmente, a antocianina encontrada em uvas, conhecida como malvidina, é responsável pela coloração intensa de variedades de uvas roxas e tintas (Khoo *et al.*, 2017).

Figura 03 - Estruturas moleculares das seis principais antocianinas



Fonte: Khoo *et al.*, 2017

2.2.1 Estabilidade das Antocianinas

Apesar das inúmeras propriedades e funcionalidades das antocianinas, essas moléculas apresentam baixa estabilidade frente a alguns fatores ambientais como luz, temperatura e mudanças de pH. Esses são alguns dos principais elementos que afetam a estabilidade das antocianinas (Sadilova *et al.*, 2007).

2.2.1.1 *Influência da Temperatura*

A influência da temperatura é um fator crucial para a estabilidade das antocianinas. A elevação da temperatura acelera a degradação das antocianinas, o que pode resultar na alteração da cor e na diminuição de sua eficácia antioxidante. Estudos recentes demonstram que temperaturas elevadas promovem a degradação térmica das moléculas, levando à quebra dos anéis flavonoides e à formação de produtos de degradação que não possuem as mesmas propriedades bioativas (Laleh *et al.*, 2006). Um estudo apresenta que as soluções aquosas de antocianinas em pH ácido foram mais estáveis quando armazenadas a 4 °C em comparação com 20 °C (Brauch *et al.*, 2015).

2.2.1.2 *Influência do pH*

As antocianinas exibem uma sensibilidade particular ao pH, o que afeta diretamente sua cor e estabilidade. Métodos colorimétricos e espectrofotométricos têm sido empregados para monitorar e analisar as variações de cor, tanto em condições alcalinas quanto em condições de acidez.

Essas mudanças de cor são atribuídas à capacidade das antocianinas de existir em diferentes formas moleculares, como a forma catiônica, a forma quinoidal base, a forma chalcona e a forma hemiacetal, dependendo do pH do meio. Cada uma dessas formas possui propriedades de absorção de luz distintas, resultando em variações de cor (Zhao *et al.*, 2023).

Em meios ácidos (pH abaixo de 3), as antocianinas geralmente apresentam uma coloração vermelha intensa devido à predominância da forma catiônica flavílica. À medida que o pH aumenta, a estrutura das antocianinas sofre mudanças conformacionais, resultando em uma variedade de cores que podem incluir tons de

violeta, azul e verde. Por exemplo, em pH neutro a ligeiramente básico (pH 7-8), a forma quinoidal base é mais comum, conferindo uma coloração azulada (Zhao *et al.*, 2023).

A estabilidade das antocianinas é maior em ambientes ácidos, onde a forma catiônica é predominante e menos suscetível à degradação. Em contrapartida, em pH alcalino, a estabilidade das antocianinas diminui significativamente devido à formação de formas menos estáveis e à maior suscetibilidade à degradação oxidativa e enzimática (Liu *et al.*, 2022).

2.2.1.3 *Influência a exposição constante à luz*

A exposição constante à luz pode ter um impacto significativo na estabilidade das antocianinas, sendo a radiação ultravioleta (UV) presente na luz solar especialmente prejudicial (Liu *et al.*, 2022). Essa exposição pode induzir a fotodegradação, resultando na perda de cor e brilho dos tecidos tingidos com esses pigmentos. Para aumentar a estabilidade das antocianinas e proteger os tecidos da degradação causada pela luz, podem ser usados aditivos estabilizadores UV e revestimentos protetores que absorvem ou bloqueiam a radiação UV. Além disso, técnicas de encapsulação das antocianinas em matrizes poliméricas têm mostrado eficácia em prolongar a durabilidade das cores em condições de exposição à luz (Enaru, 2021).

2.2.2 Aplicações das Antocianinas

Na indústria alimentícia, as antocianinas são utilizadas como corantes naturais na substituição aos corantes sintéticos, proporcionando uma opção mais saudável e atraente para consumidores que buscam alimentos livres de aditivos artificiais. Na área da saúde, as antocianinas são valorizadas por seus benefícios antioxidantes, anti-inflamatórios e cardio protetores, podendo ser incorporadas em suplementos nutricionais e produtos farmacêuticos (He and Giusti, 2010).

Além disso, na indústria cosmética, as antocianinas são utilizadas em produtos de cuidados com a pele e maquiagem devido às suas propriedades antioxidantes e de proteção contra os danos causados pelos radicais livres. Nos têxteis, esses

pigmentos estão sendo explorados para criar tecidos inteligentes e sustentáveis com cores naturais que variam do vermelho ao azul, e oferecem respostas às mudanças do meio ambiente (Khoo *et al.*, 2017).

2.2.3 Uva Isabel como fonte de antocianinas

A uva Isabel (*Vitis labrusca*) é uma variedade nativa das Américas, representando no Brasil 26,09% do cultivo. As uvas são conhecidas por suas características distintas, por serem ricas em substâncias bioativas e pelo alto teor de antocianinas. Essas antocianinas são compostos antioxidantes que conferem à uva Isabel sua coloração roxa escura característica. Além de contribuírem para a coloração, as antocianinas são conhecidas por seus potenciais benefícios à saúde, sendo estudadas por suas propriedades antioxidantes que auxiliam na redução do estresse oxidativo no corpo humano (dos Santos Silva *et al.*, 2022). Na Figura 4 é apresentada uma imagem da uva Isabel.

Figura 04 - Uva Isabel



Fonte: elaborado pela autora

2.2.4 Extração de antocianinas por solvente

A extração das antocianinas ocorre comumente por extração por solvente. O metanol é frequentemente empregado como solvente na extração de antocianinas, especialmente quando acidificado com ácido clorídrico (HCl) para manter um pH baixo. Esse ambiente ácido é crucial para estabilizar as antocianinas na forma flavílio mais estável. O uso do metanol acidificado não apenas facilita a extração eficiente das antocianinas, mas também ajuda a preservar suas propriedades antioxidantes e

cores vibrantes, essenciais para aplicações em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos (Gaviria, 2024).

O estudo de Azman (2022) destaca a importância do controle do pH durante o processo de extração para otimizar a recuperação de compostos bioativos e suas propriedades funcionais. As antocianinas do bagaço da groselha preta foram extraídas utilizando água acidificada com ácido acético, observando-se que os extratos obtidos variam em concentrações de fenólicos e tonalidades de cor conforme o pH. Notou-se que um pH de 1,5 favorece a extração de compostos fenólicos, incluindo antocianinas, ácidos hidroxicinâmicos, flavonóis, além de apresentar maior atividade antioxidante e fenólicos totais (Silva *et al.*, 2020).

A escolha do solvente é crucial para a eficiência do processo, devendo levar em conta fatores como solubilidade, seletividade, toxicidade e custo. Solventes polares, como água, metanol e etanol são tipos comuns de solventes usados neste método. O uso de água aparece como uma alternativa promissora, em função de sua não toxicidade e baixo custo. Gaviria (2024) extraiu antocianinas da uva Isabel (*Vitis Labrusca*), usando o método de extração com água acidificada, e obteve um extrato com quantidade de antocianinas monoméricas totais superior às relatadas em outros estudos de uvas da literatura.

A extração por solvente pode ser otimizada por meio de técnicas como a extração em fase sólida e a extração líquido-líquido, que melhoram a seletividade e a eficiência da separação. Este método é altamente versátil e pode ser adaptado para uma ampla gama de aplicações, desde a purificação de produtos naturais até a recuperação de metais preciosos (Binnemans, 2009).

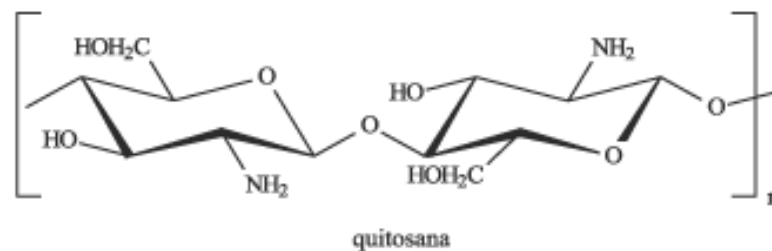
2.3 QUITOSANA

A quitosana é um biopolímero polissacarídeo linear composto principalmente por unidades de 2-amino-2-desoxi-D-glucopirranose, conectadas por ligações 1,4-glicosídicas (Figura 05). Sendo o segundo biopolímero mais abundante na natureza, depois da celulose, a quitosana possui grupos funcionais $-NH_2$ e $-OH$, que são responsáveis por suas propriedades únicas e sua ampla gama de aplicações (Gaviria, 2024). Este polímero pode ser obtido de fontes como o exoesqueleto de crustáceos, como camarões e caranguejos, assim como de micelas de fungos (Martins, 2024)

A biocompatibilidade, a capacidade de biodegradação e a não toxicidade tornam a quitosana promissora para diversas aplicações como regeneração de tecidos, cicatrização de feridas, membranas semipermeáveis, sistemas de purificação e como componente integral de suplementos nutricionais (Chatterjee *et al.*, 2021).

A aplicação de quitosana nos têxteis pode conferir propriedades antimicrobianas aumentando a sua durabilidade. Ainda, a quitosana melhora a capacidade de absorção de umidade e oferece resistência contra odores. Em forma de nanopartículas, a quitosana pode ser incorporada diretamente nas fibras têxteis, proporcionando uma distribuição uniforme e eficaz de suas propriedades benéficas. Como revestimento, pode ser aplicada sobre a superfície dos tecidos, criando uma barreira protetora. Essas características fazem da quitosana um material promissor para a inovação no desenvolvimento de tecidos funcionais e sustentáveis (Teixeira, 2015).

Figura 05 - Estrutura molecular da quitosana



Fonte: Assis (2010)

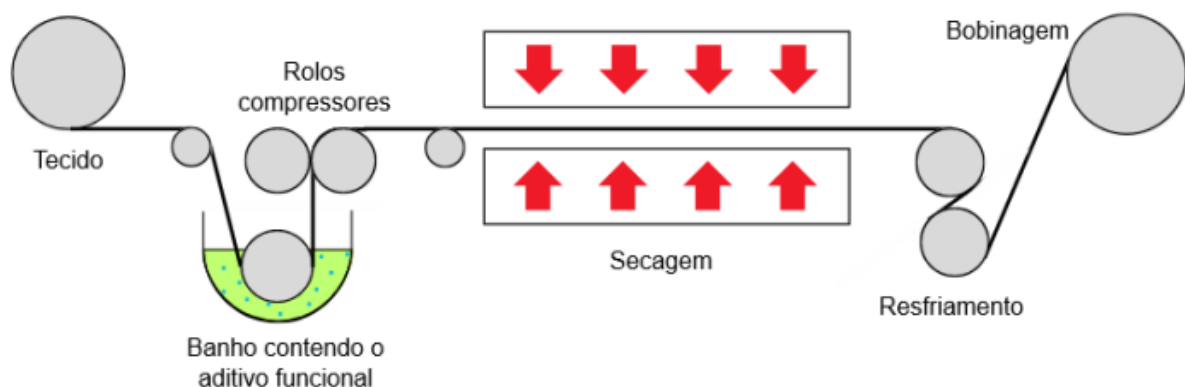
Segundo Tang *et al.*, (2023) a quitosana interage com as antocianinas por meio de ligações não covalentes (ligação iônica fraca e ligações de hidrogênio), tornando as antocianinas mais resistentes ao oxigênio, altas temperaturas, ácido ascórbico e ambientes neutros, melhorando assim a estabilidade. Assim, os materiais à base de quitosana são excelentes candidatos tanto para o encapsulamento como para o revestimento de compostos bioativos, visando prolongar sua vida útil.

2.4 IMPREGNAÇÃO

A impregnação é um processo que envolve a aplicação de aditivos funcionais ao tecido, conferindo-lhe propriedades específicas, como repelência à água, resistência a manchas, proteção UV, propriedades autolimpantes, funcionalidade antifúngicas, propriedades térmicas, antiestáticas ou antimicrobianas. Esse processo é realizado através da imersão do material têxtil em um banho concentrado do aditivo, seguida pela remoção do excesso (Martins, 2024).

O equipamento que realiza a remoção do excesso de produtos é conhecido como Foulard (Figura 6). Ele é composto por um par de rolos de compressão que pressionam o tecido, removendo o excesso de líquido e garantindo uma aplicação uniforme. O tecido passa entre os rolos após ser imerso no banho de impregnação, permitindo o controle preciso da quantidade de líquido retido e a espessura final da impregnação. Essa técnica se distingue das abordagens de pulverização e revestimento, pois possibilita uma incorporação mais uniforme do aditivo ao longo de todo o comprimento e largura do substrato têxtil, penetrando profundamente nas fibras do tecido (Santos, 2021).

Figura 06 - Esquematização do Foulard



Fonte: Adaptado de Gries *et al.* (2016)

2.5 TÊXTEIS INTELIGENTES FUNCIONALIZADOS COM ANTOCIANINAS

O uso de antocianinas para obtenção de têxteis inteligentes é uma área de pesquisa que tem crescido recentemente. Alguns trabalhos relatam a obtenção destes materiais, e o potencial de aplicação dos mesmos na área de têxteis médicos.

O estudo de Ghadah (2024) introduz uma nova técnica de plasma-coloração para tingimento de resíduos de algodão reciclado. Um mordente foi empregado para melhor aderência das antocianinas ao não tecido, com investigação detalhada dos parâmetros de coloração, espectros de absorbância e dados de força colorimétrica. Os resultados evidenciaram a estabilidade satisfatória da cor das fibras de algodão do não tecido tingidas com antocianina, além de bloqueio UV e eficácia antibacteriana.

A pesquisa de Tang (2019) investigou o tingimento de tecidos de seda com antocianinas extraídas da batata doce roxa, revelando que a adição de ácido resulta no estreitamento e deslocamento para o azul da banda de absorção da antocianina em torno de 528 nm, indicativo da formação do cátion flavílio a partir da pseudobase de carbinol. A adição de álcali provocou mudanças coordenadas nas bandas de absorção em 528 e 607 nm, sugerindo a conversão do cátion flavílio em base quinonoidal. Essa capacidade de monitorar dinamicamente variações de pH torna esses tecidos ideais para aplicações em saúde, incluindo tecnologias vestíveis que poderiam ser utilizadas para monitorar continuamente o pH do suor humano.

O desenvolvimento realizado por Nafady (2021) apresenta tecido de viscose fabricado (Cell-Anth), desenvolvido utilizando antocianina extraída naturalmente do repolho vermelho, aplicada diretamente sobre fibras de viscose com um mordente de sulfato de potássio-alumínio para gerar nanopartículas de complexo mordente/antocianina. O tecido apresentou respostas rápidas, em fração de segundo, com um bom limite de detecção na faixa de 200–1200 mg L⁻¹ de amônia. Ainda, foram observadas no estudo as mudanças ratiométricas nos espectros de absorbância UV-Vis, com um deslocamento de 611 para 375 nm à medida que aumentava a concentração de amônia na solução aquosa.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

As uvas da variedade Isabel (*Vitis Labrusca*) foram adquiridas no Centro Estadual de Abastecimento de Blumenau (Blumenau – SC). A água destilada e o ácido clorídrico (NEON) foram usados como solventes.

O tecido de algodão 100 % foi obtido na loja Casa Bittencourt (Blumenau – SC). A quitosana (médio peso molecular e desacetilada, *SigmaAldrich*®), o ácido acético glacial (CRQ), o fosfato de sódio dibásico anidro (PROC9 Indústria) e ácido cítrico anidro (NEON) foram utilizados para a impregnação do extrato no substrato têxtil.

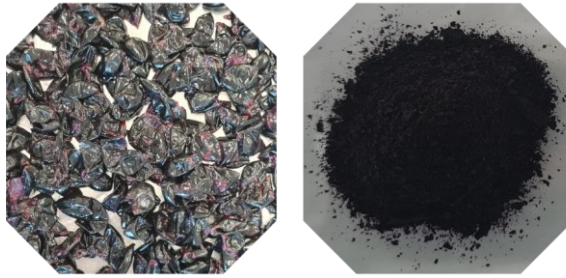
O processo de alvejamento utilizou compostos com funções específicas como o detergente Colorsperse R (Color Química Brasil) responsável pela remoção das impurezas e resíduos oleosos; o sequestrante de ferro Kalplex MK T-TE (MK Química) evitando manchas causadas por íons metálicos. O Laboratório de Beneficiamento (LABENE) forneceu para o processo o peróxido de hidrogênio, usado como agente oxidante; a soda cáustica, responsável por facilitar a penetração do peróxido de hidrogênio nas fibras e o silicato de sódio, estabilizador para o peróxido de hidrogênio.

No processo de sensibilidade ao pH foram usadas diversas soluções tampões, preparadas com os reagentes ácido cítrico, fosfato de sódio monobásico, tris hidroximetil aminometano e ácido clorídrico, todos pertencentes à marca NEON.

3.2 EXTRAÇÃO DAS ANTOCIANINAS

As uvas foram submetidas a lavagem manual, seguida pela separação da casca do bagaço. As cascas foram então colocadas em uma bandeja e secas em estufa a 50°C por um período de 24 horas. Após a secagem, as cascas foram trituradas em um liquidificador, e o pó resultante foi armazenado em um frasco escuro a uma temperatura de refrigeração. A metodologia utilizada foi adaptada de Gaviria (2024).

Figura 07 - Casca Seca da Uva Isabel e Pó resultante da casca

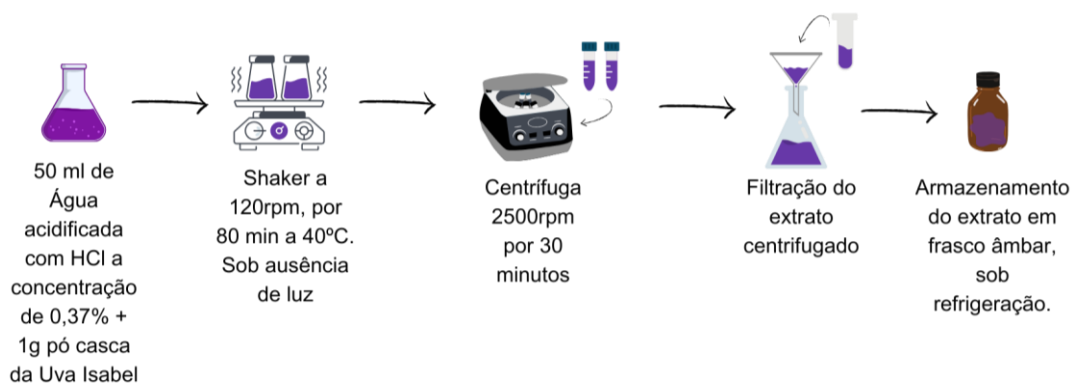


Fonte: elaborado pela autora

O processo de extração da antocianina foi realizado utilizando uma solução de água acidificada com HCl, conforme descrito por Li *et al.* (2019). Preparou-se 50 mL de uma solução de água acidificada com HCl a uma concentração de 0,37 %, à qual foi adicionada 1 g de pó de casca de uva. A mistura foi então submetida a agitação contínua a 120 rpm em um agitador orbital (NL-343-01, New Lab) por 80 minutos, sob ausência de luz e a uma temperatura de 40°C.

A centrifugação do extrato resultante foi baseada no método descrito por Gaviria (2024), com adaptações no tempo e na velocidade. O extrato foi centrifugado (DMO412, MHLab) a 2500 rpm por 30 minutos, seguido de filtração em funil com papel filtro e armazenamento em um frasco âmbar a temperatura de refrigeração (Figura 08).

Figura 08 - Esquemática do processo de extração da antocianina em água acidificada com HCl



Fonte: elaborado pela autora

3.2.1 Determinação do teor de umidade

A determinação do teor de umidade do pó da casca de uva foi realizada com a pesagem inicial de um vidro de relógio e em seguida a pesagem de 1,47 g do pó da casca. Ambos foram levados à estufa, a 60°C por 24 h; após esse período o conjunto foi pesado, para em seguida retornar à secagem por mais 2 h. Repetiu-se o procedimento até observar peso constante (total de 28 h de secagem) e, após a última pesagem, o teor de umidade foi calculado.

3.3 QUANTIFICAÇÃO DAS ANTOCIANINAS

A quantificação monomérica total das antocianinas (TAC, mg.L⁻¹) foi baseada no método proposto por Giusti e Wrolstad (2001), utilizando o espectrofotômetro UV-vis AJX-1900.

As amostras foram preparadas diluindo o extrato com água destilada em uma proporção de 1:20, sendo então adicionadas alíquotas de HCl e NaOH para obtenção do pH 1,0 e pH 4,5, respectivamente. Após leitura da absorbância das amostras nos comprimentos de onda de 523 nm (A_{max}) e 700 nm (A_{700nm}), a TAC foi calculada de acordo com a equação (1). Água destilada foi utilizada como branco.

$$TAC = \frac{[(A_{max} - A_{700nm})_{pH=1,0} - (A_{max} - A_{700nm})_{pH=4,5}] M_w DF}{\epsilon L} \quad (1)$$

Na equação, ϵ é o coeficiente de extinção molar (29.600 L·cm⁻¹·mol⁻¹), L é o comprimento do caminho óptico (1 cm), DF é o fator de diluição (20) e M_w representa o peso molecular da cianidina-3-glucosídeo (449,2 g·mol⁻¹).

3.4 ALVEJAMENTO DOS TÊXTEIS 100 % ALGODÃO

As amostras de algodão 100 % foram cortadas nas medidas 12 x 9,5 cm e com 3 g cada. O processo de alvejamento foi realizado utilizando a máquina IR DYER, com uma relação de banho de 1:20. Para a preparação da solução mãe dos auxiliares, foi utilizada uma concentração de 2 g/100 mL, enquanto para a solução mãe de NaOH e

de H₂O₂, a concentração foi de 5 g/100 mL. A escolha dos reagentes foi feita para garantir a eficiência do alvejamento, proporcionando uma adequada remoção de impurezas e branqueamento do tecido. A receita descrita na Tabela 01, detalha as concentrações e a quantidade em mL determinadas para o desenvolvimento dos canecos, ambos advindos das soluções mãe anteriormente preparadas.

Tabela 01 - Receita de alvejamento para Algodão 100 %

Concentração (g/L)	Reagente	mL de Solução
4	Soda cáustica 50%	3,2
2	Colorsperse R (detergente umectante)	4,0
2	Kalplex MK T-TE (sequestrante de Fe)	4,0
5	Peróxido de hidrogênio 50%	4,0
2	Silicato de sódio	1,6
-	Água destilada	23,2

Fonte: elaborado pela autora

Após a preparação da formulação, os recipientes contendo as amostras foram submetidos a um ciclo de agitação a 95°C por um período de 30 min. Em seguida, as amostras foram neutralizadas, passando por uma sequência de etapas que envolveu lavagem inicial em água corrente, seguida por uma segunda lavagem em solução de ácido acético a uma concentração de 1g/L para neutralização. Após essa etapa, as amostras foram novamente enxaguadas em água corrente e, por fim, submetidas à secagem em estufa a uma temperatura de 45°C por um período de 4 h. O processo de alvejamento foi realizado em duplicata.

3.5 IMPREGNAÇÃO DAS AMOSTRAS

A impregnação das amostras de tecido ocorreu utilizando três diferentes soluções, com um volume total de banho de 60 ml para cada solução a uma relação de banho de 1:20. A primeira solução continha apenas extrato da antocianina e água destilada. Para as demais soluções, foram preparadas duas soluções, a primeira

continha quitosana e ácido acético, e a segunda ácido cítrico e fosfato de sódio dibásico.

Para preparo da solução de quitosana, adicionou-se 1 mL de ácido acético e 99 mL de água destilada em um balão volumétrico. Após a homogeneização, 0,6 ml da solução foram transferidos para um béquer juntamente com 0,6 g de quitosana e 58,8 ml de água destilada. A solução foi disposta em um agitador magnético por 24 h para dissolução total da quitosana.

Em seguida, a solução de fosfato de sódio dibásico e ácido cítrico foi preparada, com a adição de 1,5 g de fosfato e 3 g de ácido a 95,5 ml de água destilada, sendo homogeneizado e armazenado a temperatura de refrigeração. Para o processo de impregnação foi determinada a receita apresentada na Tabela 02.

Tabela 02 - Receita de impregnação

Banho de Impregnação	Solução de Quitosana (ml)	Extrato (ml)	Solução de Fosfato Dibásico e Ácido Cítrico (ml)	Água Destilada (ml)
A	-	20	-	40
B	20	20	20	-
C	20	-	20	20

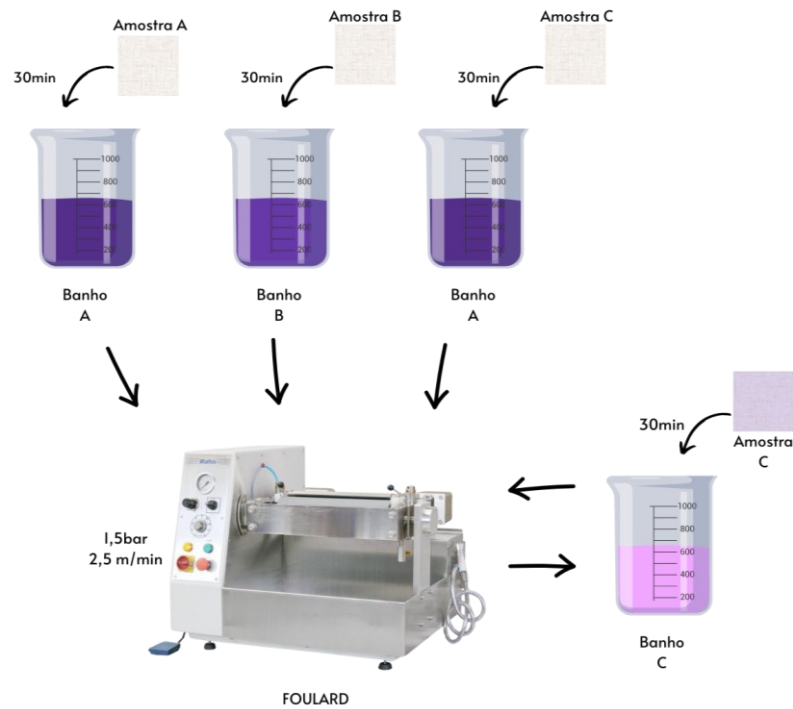
Fonte: elaborado pela autora

Após a definição da receita, foram determinados os parâmetros para a impregnação, sendo o pick-up de 97 % com as configurações do foulard (Mathis FVH) a uma pressão de 1,5 bar e velocidade de 2,5 m/min. O tempo de impregnação determinado foi de 30 min para cada banho. Para os banhos A e B, as amostras foram adicionadas no béquer de banho pelo tempo estipulado, sendo logo em seguida passado através do foulard e levado a secagem naturalmente.

Para o banho A+C o processo ocorreu em etapas, sendo a amostra primeiramente impregnada no banho A e o processo de foulard igualmente semelhante ao processo anterior. Em seguida, a mesma amostra foi impregnada no banho C, passando pelo tempo de impregnação, passagem no foulard e finalizando com a secagem natural da amostra (Figura 09). Todas as amostras não tiveram

contato direto com a luz durante seu tempo de secagem. A metodologia utilizada foi adaptada de Martins (2023).

Figura 09 - Processo de impregnação



Fonte: elaborado pela autora

3.6 SENSIBILIDADE AO PH

A determinação da sensibilidade ao pH do extrato e dos tecidos impregnados foi baseada no processo de Petkovska (2024), com algumas adaptações. Foram preparadas 8 soluções tampões, com pH variando de 3,0 a 10,0 em um volume de 100 ml cada. Nas soluções de pH 8 e 9 foram necessários a realização de ajuste com ácido clorídrico 0,1M e 0,05M, respectivamente (Merck,2024). Para cada tampão foram desenvolvidas concentrações diferentes, de acordo com a Tabela 03.

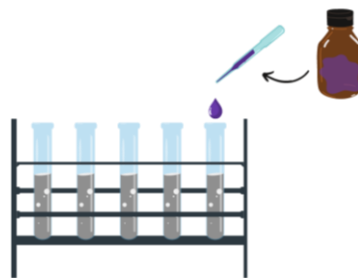
Tabela 03 - Soluções Tampões

pH	Ácido Cítrico (ml)	Fosfato de Sódio Monobásico (ml)	Tris Hidroximetil (g)	Ácido Clorídrico (ml)	Água Destilada (ml)
3	3	1,5	-	-	95,5
4	61,45	38,55	-	-	-
5	48,5	51,5	-	-	-
6	36,85	63,15	-	-	-
7	17,65	82,35	-	-	-
8	-	-	0,547	60	100
9	-	-	0,547	11,5	100
10	-	-	0,265	-	100

Fonte: elaborado pela autora

Após a preparação, as soluções tampões foram colocadas em tubos de vidro separados para cada pH, sendo em seguida adicionado uma gota do extrato de antocianina a cada tubo, para a avaliação da sensibilidade do extrato ao pH (Figura 10).

Figura 10 – Esquema da análise de sensibilidade do extrato ao pH

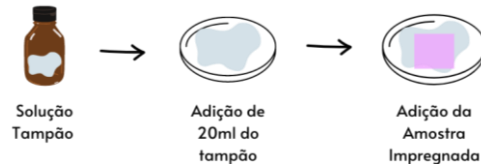


Fonte: elaborado pela autora

Para o processo de sensibilidade ao pH das amostras de tecido, foram separadas placas de petri para cada um dos pHs, sendo adicionado 20 ml da solução tampão a cada placa. Em seguida, as amostras de tecido impregnadas foram cortadas nas medidas de 4,75 x 6,0 cm e imersas na solução tampão por 10 min, para as

amostras resultantes do banho de impregnação A, e por 60 min, para as amostras dos banhos B e A+C (Figura 11).

Figura 11 – Esquema da análise de sensibilidade ao pH dos têxteis impregnados



Fonte: elaborado pela autora

O processo de secagem após sensibilidade ao pH ocorreu sob a ausência de luz e a temperatura ambiente.

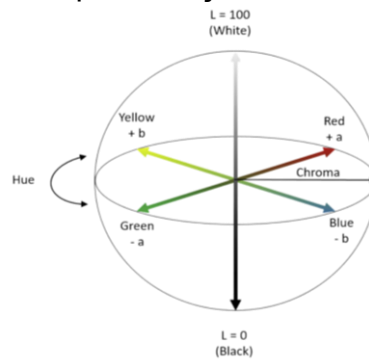
Para avaliar a estabilidade das antocianinas impregnadas nos tecidos à luz UV, algumas amostras foram submetidas a um processo de exposição direta à luz solar por um período contínuo de 36 h. Durante esse tempo, as amostras foram posicionadas em um local aberto, com incidência constante de luz solar, garantindo a exposição à radiação ultravioleta natural, simulando a condição de degradação que pode ocorrer em ambientes externos. Ao final das 36 h de exposição, as amostras foram recolhidas para análise e submetidas a testes de sensibilidade ao pH.

3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS

3.7.1 Análise Colorimétrica

Todas as amostras têxteis passaram por uma análise colorimétrica a cada etapa da metodologia. Para isso, foi utilizado o espectrofotômetro de reflectância DataColor 500®, sendo utilizado o iluminante D65 e realizadas 4 leituras em cada amostra. Como proposto por Ly *et al* (2020), a análise foi realizada no espaço de cores do CIELab, em que L^* representa a luminosidade da cor ($L^* = 0$ para preto e $L^* = 100$ para branco), a^* corresponde ao eixo verde (-) /vermelho (+), e b^* ao eixo azul (-) /amarelo (+), conforme representado na Figura 12.

Figura 12 - Representação do sistema CIELab



Fonte: (LY *et al*, 2020)

A equação 2 apresenta o cálculo da diferença total de cor (ΔE), em que ΔL^* , Δa^* e Δb^* são as diferenças entre os valores de L^* , a^* e b^* entre as amostras, respectivamente (Martins, 2024).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

Após a realização do alvejamento, as amostras resultantes foram analisadas em comparação com uma amostra do algodão cru. Dessa maneira, foi realizada primeiramente a leitura do tecido de algodão cru, para em seguida serem separadas três amostras do tecido de algodão alvejado para a análise.

No processo de impregnação as leituras ocorreram em comparação a amostra alvejada. Assim, primeiramente realizou-se a análise no tecido de algodão alvejado para, em seguida, serem realizadas as medições nas amostras impregnadas, seguindo as leituras a ordem de impregnação do banho A, banho B e banho A+C. Dessa forma, foram realizadas análises em todas as amostras impregnadas, visto que foram preparadas soluções de impregnação em triplicata. A análise colorimétrica dos resultados da sensibilidade ao pH foi realizada comparando as amostras de tecido impregnadas antes e após exposição às soluções tampão de pH 3 a 10. Na Figura 13 é apresentado um esquema das amostras analisadas.

Figura 13 - Esquematização da Análise Colorimétrica



Fonte: elaborado pela autora

3.7.2 FTIR

As amostras impregnadas foram analisadas usando um Espectro de Infravermelho por Transformada de Fourier (PerkinElmer), em modo de refletância total atenuada (ATR), com comprimento de onda de 4000 a 450 cm^{-1} e 16 varreduras.

3.7.3 Microscopia

A microscopia foi realizada no Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM) utilizando o microscópio digital com resolução de 50x a 500x (Briwax), sendo caracterizados a amostra de tecido de algodão crú, o tecido alvejado e as amostras impregnadas. Todas as leituras foram realizadas em ambas as resoluções, e em diferentes pontos da amostra.

4 RESULTADOS

4.1 EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS ANTOCIANINAS TOTAIS

Com base nos dados de absorvância obtidos nas análises espectrofotométricas nos comprimentos de onda de 523 nm e 700 nm, e em pHs de 1,0 e 4,5, foi determinada a concentração de antocianinas no extrato da casca de uva. A diferença de absorvância medida entre os dois comprimentos de onda fornece uma medida precisa da quantidade de antocianinas presentes. Em pH 1,0, as antocianinas geralmente exibem uma cor mais intensa, resultando em valores de absorvância mais elevados. Em contraste, em pH 4,5, a intensidade da cor tende a diminuir devido à mudança estrutural das antocianinas, resultando em valores de absorvância mais baixos (Merz *et al.*,2020). A Tabela 04 apresenta as leituras detalhadas, demonstrando as variações de absorvância nas diferentes condições testadas.

Tabela 04 - Absorvância das amostras de extrato da casca de uva

Comprimento de onda (nm)	pH 1,0	pH 4,5
523	0,747 abs	0,110 abs
700	0,024 abs	0,021 abs

Fonte: elaborado pela autora

O total de antocianinas monoméricas foi calculado através da equação 1, sendo obtido o valor de $963,0 \pm 10,29 \text{ mg L}^{-1}$, equivalente de cianidina-3-glicosídeo por 100

g de casca seca. As antocianinas obtidas no processo de extração acidificado com HCl são significativas, indicando que a amostra de Uva Isabel utilizada no processo contém uma alta concentração de antocianinas. Comparando com o resultado obtido por Gaviria (2024) no extrato de casca de uva Isabel (505,42 mg de equivalente de cianidina-3-glicosídeo $mg L^{-1}$), e os resultados encontrados na literatura (26,50 mg de equivalente de cianidina-3-glicosídeo $mg L^{-1}$) a concentração de antocianinas obtida no experimento foi superior, indicando que o método de extração foi muito eficaz.

4.1.1 Teor de umidade

O teor de umidade da casca da uva Isabel foi determinado utilizando a metodologia de diferença de massa. Inicialmente, 1,47 g de casca de uva foram pesadas junto com uma placa de Petri de 25,60 g, totalizando uma massa inicial de 27,07 g. Após 24 horas em estufa, a massa combinada da casca e da placa de Petri foi medida novamente, resultando em 27,03 g. Como a massa se manteve constante a 27,03 g após o tempo de secagem, o teor de umidade foi então calculado.

$$(I) 27,03g_{petri+casca} - 25,60g_{petri} = 1,43 \text{ gramas de casca}$$

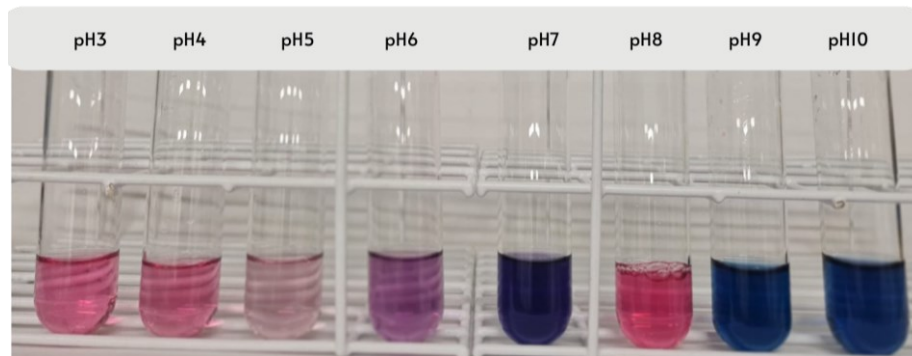
$$(II) 1,47g_{inicial\ casca} - 1,43g_{final\ casca} = 0,04 \text{ gramas de casca}$$

$$(III) \frac{0,04 * 100}{1,47} = 2,72\% \text{ teor de umidade}$$

4.1.2 Análise do extrato a variação do pH

A cor do extrato de antocianina mudou conforme o pH variou, conforme mostrado na Figura 14. Em meio ácido forte, a solução ficou rosada devido à presença do cátion flavonoide. À medida que o pH aumentou, as bases carbinol foram formadas pela transferência de prótons do cátion flavilium e pela formação de grupos hidroxila. O extrato ficou roxo, depois azul devido à formação de bases anidras quinonais (Gaviria, 2024).

Figura 14 - Extrato de antocianina à variação do pH



Fonte: elaborada pela autora

Contudo, pode-se analisar que a coloração do pH 8 não apresentou a coloração desejada no processo de variação. A tonalidade rosada pode ter sido obtida pela adição excessiva do ácido clorídrico, visto que o HCl é um ácido forte e dissocia completamente na água, resultando em uma alta concentração de íons hidrogênio. Dessa forma, é possível compreender a tonalidade apresentada, tendo em vista que as antocianinas exibem essa coloração em soluções ácidas, pois a estrutura da antocianina se protona, formando a estrutura catiônica que é vermelha.

A comprobatória da teoria acima deveu-se à análise da variação do extrato de antocianina em uma nova solução tampão de pH 8, fornecida pelo laboratório de química do Campus de Blumenau. Na figura 15, pode-se perceber que a coloração azulada foi obtida com o novo tampão, ao contrário da coloração anterior, o que corrobora o comportamento de formação de bases anidras quinoidais.

Figura 15 - Extrato de antocianina em pH 8



Fonte: elaborada pela autora

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ALVEJADAS

As amostras têxteis alvejadas (duplicatas) foram analisadas no DataColor 500, sendo obtido a Tabela 05 como resultante dos parâmetros colorimétricos, apresentando as médias de leituras de L^* , a^* , b^* , Branco Berger e a resultante do cálculo de ΔE^* .

Tabela 05 - Parâmetros Colorimétricos de amostras alvejadas

Amostras	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	Branco Berger
Cru	86,79 +/- 0,81	2,06 +/- 0,05	12,06 +/- 0,05	87,64 +/- 0,10	16,86 +/- 0,05
Alvejado 01	6,44 +/- 0,10	-1,51 +/- 0,12	-5,18 +/- 0,03	3,51 +/- 0,06	49,75 +/- 0,08
Alvejado 02	6,65 +/- 0,02	-1,79 +/- 0,07	-5,56 +/- 0,06	3,17 +/- 0,03	52,37 +/- 0,06

Fonte: elaborado pela autora

As amostras alvejadas (alvejado 01 e alvejado 02) apresentaram uma luminosidade menor em comparação com o algodão cru. Isso indica que o processo de alveamento, reduziu a luminosidade das amostras, o que pode ser um resultado inesperado, pois o alveamento geralmente aumenta a luminosidade (Alves, 2023).

Os valores negativos para a^* (verde) e b^* (azul) nas amostras alvejadas sugerem que o processo de alveamento não apenas removeu os pigmentos amarelados, mas também influenciou as características de cor do algodão de uma forma não esperada. Isso pode ser indicativo de um processo de alveamento que não foi ideal em termos de controle de temperatura, tempo de exposição ou uso de produtos químicos adequados.

Para as amostras alvejadas, os valores de ΔE^* indicam que o alveamento resultou em uma mudança de cor muito significativa em comparação a amostra Cru. As amostras alvejadas têm valores de Branco Berger significativamente maiores, mostrando que o processo de alveamento foi eficaz em aumentar a brancura das amostras (Al-Senani *et al.*, 2024).

Tabela 06 - Parâmetros Colorimétricos do segundo alveijamento

Amostras	L*	a*	b*	ΔE^*	Branco Berger
Cru	86,79 +/- 0,60	2,06 +/- 0,03	12,06 +/- 0,25	0	16,86 +/- 0,05
Alvejado 1.1	-0,21 +/- 0,06	-0,09 +/- 0,03	-0,05 +/- 0,01	87,84 +/- 0,12	51,66 +/- 0,25
Alvejado 2.1	-0,07 +/- 0,006	-0,11 +/- 0,02	-0,29 +/- 0,02	87,75 +/- 0,35	53,02 +/- 0,15
Alvejado 3.1	-0,21 +/- 0,06	-0,15 +/- 0,04	-0,23 +/- 0,05	87,86 +/- 0,95	52,61 +/- 0,05

Fonte: elaborado pela autora

Os resultados mostram que, embora o alveijamento tenha melhorado a brancura das amostras de algodão, ele também diminuiu significativamente a luminosidade do material. Além disso, houve uma leve mudança na tonalidade das amostras alvejadas em direção ao verde e ao azul. Este padrão de resultados sugere que ajustes no processo de alveijamento podem ser necessários para equilibrar a obtenção de uma cor mais branca sem comprometer demasiadamente a luminosidade e a tonalidade desejada do algodão (Al-Senani et al., 2024). Ademais, é possível que tenha ocorrido uma contaminação dos canecos durante o processo de alveijamento, o que pode ter influenciado as variações observadas na tonalidade.

4.3 IMPREGNAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS

4.3.1 Análise Microscópica



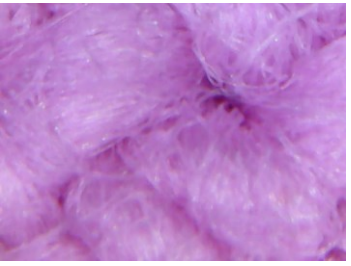

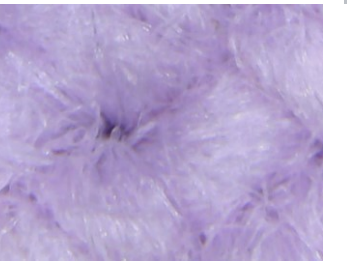

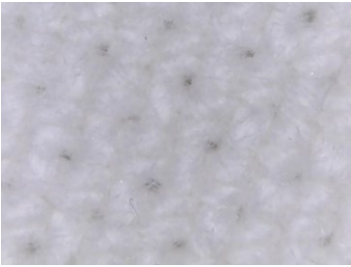








As análises microscópicas das amostras têxteis são apresentadas na Figura 16, onde são exibidas imagens obtidas com ampliações de 50x e 500x. As leituras foram inicialmente realizadas no centro do tecido com ampliação de 500x e posteriormente reavaliadas com ampliação de 50x. Além disso, os fios das amostras foram examinados com ampliação de 500x para comparar a degradação física dos têxteis após os processos realizados.

Analisou-se que ao passar dos procedimentos as amostras não sofreram danos drásticos, sendo possível observar que a estrutura dos tecidos alvejados se mostrou ligeiramente comprometida, com uma textura mais frágil em comparação com as amostras não tratadas.

As amostras impregnadas apresentaram uma descoloração após cada banho, contudo não houve grande diferenciação das estruturas físicas após cada etapa. Desse modo, foi possível observar que todas as amostras apresentaram estruturas físicas similares ao longo dos processos, demonstrando a possibilidade do uso das amostras no procedimento de sensibilidade ao pH (Baraldi *et al.*,2022).

Ao realizar leituras no centro do tecido com ampliação de 500x e posterior reavaliação com 50x, foi possível examinar detalhes como textura, uniformidade e possíveis irregularidades visíveis a olho nu. As amostras impregnadas mostraram a presença de algumas fibras soltas, especialmente no banho A. Além disso, as fibras nas bordas dos fios exibiram leves danos conforme cada processo era realizado, evidenciando a fragilidade dessa região (Alvez, 2023).

Figura 16 - Análise Microscópica das amostras têxteis

	Tecido Cru	Tecido Alvejado	Impregnação Banho A	Impregnação Banho B	Impregnação Banho A+C
500x					
50x					
50x fio					

Fonte: elaborado pela autora

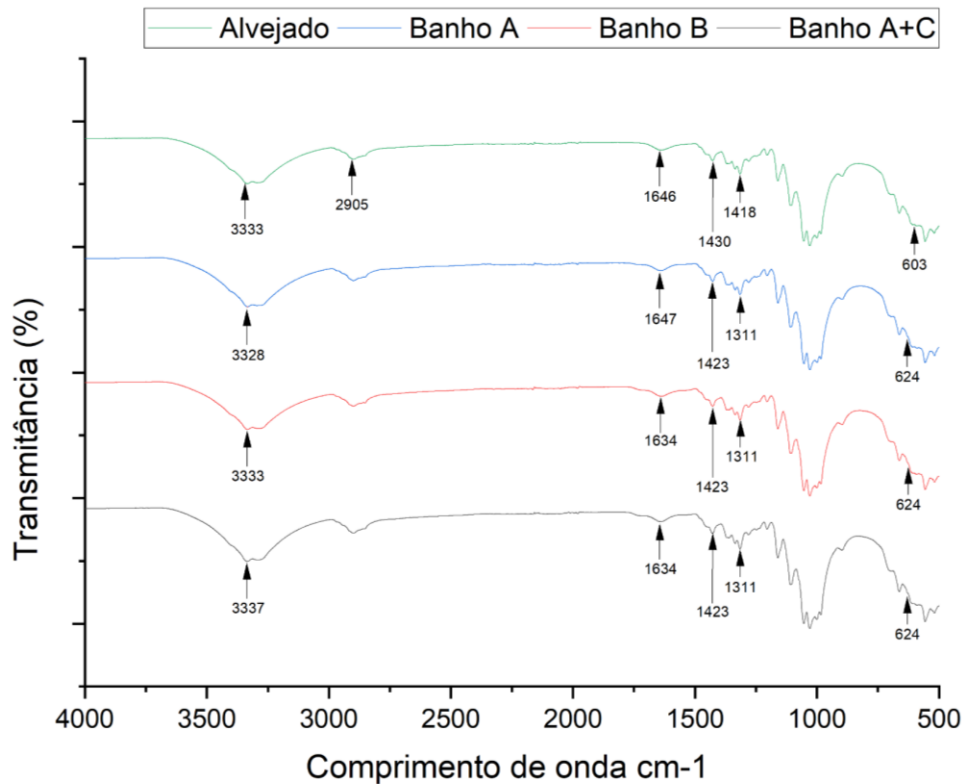
4.3.2 Espectro de Infravermelho por Transformada de Fourier

A análise de FTIR (Figura 17) ocorreu na amostra alvejada e nas amostras impregnadas, a fim de compreender se após os processos realizados, as bandas das antocianinas ainda estariam presentes para que pudessem ser realizados os processos de sensibilidade.

Os espectros apresentam bandas características de celulose, como em torno de 3310cm^{-1} , correspondentes à vibração de estiramento de hidroxilas (OH). A celulose é o componente principal das fibras de algodão, sendo um polímero composto principalmente por unidades de glicose ligadas por ligações glicosídicas. A presença dessa banda confirma a presença significativa de celulose na amostra (Martins,2024).

Observam-se também as bandas em torno de 2905 cm^{-1} associadas às vibrações de estiramento da ligação C-H em grupos metileno e metil. Esses grupos estão presentes em lipídios e ceras que podem estar na superfície das fibras de algodão. A presença dessa banda sugere a presença de componentes lipídicos ou cerosos na amostra (Martins,2024).

Figura 17 - Análise FTIR



Fonte: elaborado pela autora

Todas as amostras impregnadas com quitosana apresentaram bandas próximas de 1634 cm^{-1} referentes a presença de quitosana, correspondente à vibração de estiramento da ligação C=O e a flexão NH da amida I e amida II. Essa leitura é atribuída à ligação éster resultante da ligação covalente entre a quitosana e a celulose. As bandas representadas em 1647 cm^{-1} são comumente observadas em polímeros contendo mais grupos carbonílicos (como cetonas ou aldeídos), mas não necessariamente é característica de quitosana. De forma que essa frequência mais alta pode ser observada em estruturas onde o caráter da carbonila é mais livre ou em ambientes com menor densidade de hidrogênio (Alves, 2023).

A banda de 1423 cm^{-1} pode ser atribuída à vibração de estiramento do grupo C-O-C no anel aromático de flavonoides. Em 1311 cm^{-1} observou-se a característica vibração de estiramento do grupo éster carbonila (C=O), localizada na região central das cianidinas (3-glucosídeo e 3-rutinosídeo). A presença da banda 624 cm^{-1} sugere a possível presença de antocianinas na amostra analisada (Gaviria, 2023). A literatura apresenta valores similares aos encontrados para as bandas referenciadas.

4.3.3 Análise dos têxteis impregnados a variação do pH

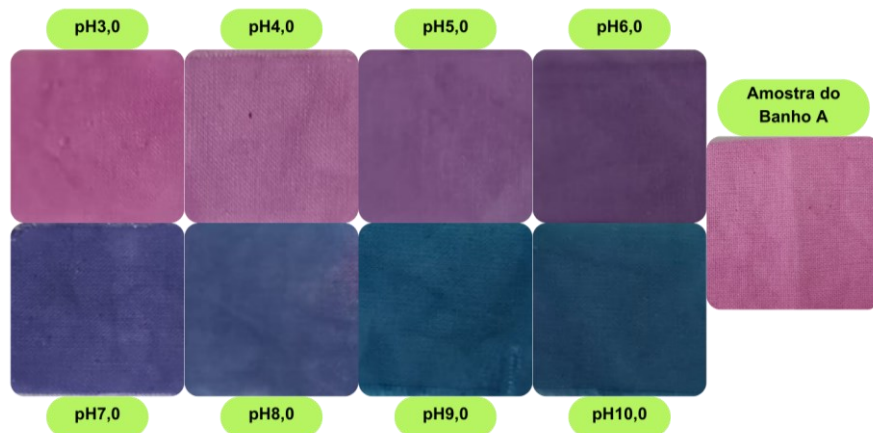
4.3.3.1 *Têxteis impregnados apenas com extrato*

O processo de sensibilidade ao pH das amostras impregnadas apenas com extrato, apresentou alteração completa da coloração após 10 minutos de imersão nas soluções tampões. Na Figura 18 são apresentadas as imagens da cor dos tecidos após análise de sensibilidade ao pH, e na Figura S1 são apresentadas as imagens obtidas durante os ensaios. Comparando-se os resultados obtidos nesse processo, com os resultados apresentados pela variação do extrato ao pH, esperava-se que a amostra de pH 8,0 possuísse uma coloração mais rosada como no extrato. Contudo, é possível analisar que no têxtil o comportamento ao pH 8,0 se alterou, seguindo a coloração transitória do roxo para o azul.

Esse comportamento pode ser resultante do processo de alvejamento das amostras que podem ter criado novos sítios de ligação ou alterar a natureza dos sítios existentes, influenciando a forma como as antocianinas se ligam ao tecido e, conseqüentemente, a sua resposta ao pH (Alves, 2023).

As demais amostras apresentaram resultados muito satisfatórios, demonstrando a interação esperada com cada pH. Em pHs mais ácidos, a tonalidade encontrada é mais rosada, como observado na nossa amostra padrão. À medida que o pH aumenta, as tonalidades das amostras impregnadas com extrato de antocianina acidificada variam conforme esperado: em pH 5,0, a coloração tende a se tornar mais roxa, e em pH 7,0, a tonalidade se aproxima do azul. A amostra resultante do banho A, que tinha um pH na faixa de 3,0, não apresentou alteração de coloração quando imersa em um novo tampão de mesmo pH, indicando estabilidade da coloração em condições ácidas.

Figura 18 - Análise visual da variação de cor em função do pH do tecido impregnado com banho A



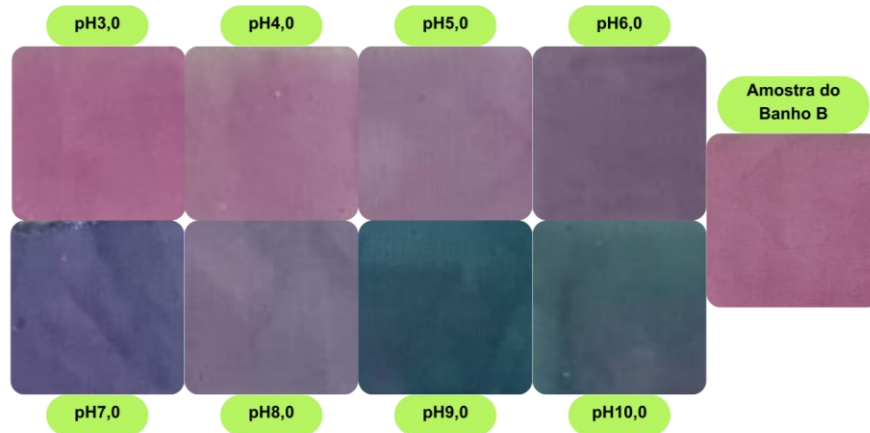
Fonte: elaborado pela autora

4.3.3.2 *Têxteis impregnados com solução de extrato e quitosana*

As antocianinas na presença de quitosana em solução podem formar complexos estáveis, resultando em uma cor rosada intensa (pH 3,0). A quitosana auxilia na estabilização dessa cor, retardando a degradação das antocianinas. Esse comportamento se estende às demais colorações, visto que o tempo de uniformização das cores foi de 60 minutos, devido a presença do quitosana.

À medida que o pH aumenta para neutro (pH 7,0) e ligeiramente alcalino (pH 8,0), a quitosana perde carga positiva e sua capacidade de formar complexos estáveis com as antocianinas diminui (Ghadah, 2024). Isso pode resultar em uma transição de cor de roxo para azul, mas a intensidade pode ser menos pronunciada devido à menor fixação das antocianinas. Dessa forma, pode-se perceber na Figura 19 que as tonalidades obtidas na análise de sensibilidade ao pH das amostras de tecido impregnadas com banho B foram muito satisfatórias, visto que conforme a alteração do pH, as amostras alteram sua coloração conforme o esperado.

Figura 19 - Análise visual da variação de cor em função do pH do tecido impregnado com banho B



Fonte: elaborado pela autora

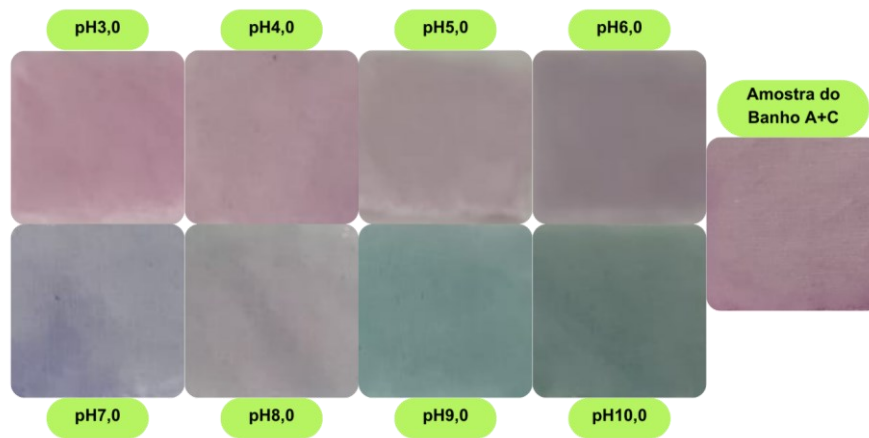
4.3.3.3 *Têxteis impregnados com extrato e revestidos com quitosana*

Ao analisar um tecido impregnado com antocianinas e revestido com quitosana, podemos considerar como esse revestimento influencia o tempo de variação da cor ao pH e a intensidade da coloração das amostras. No processo de sensibilização do tecido impregnado com banho A, foi determinado um tempo de 10 minutos para alteração completa da cor, entretanto no tecido tratado com banho A+C foi preciso cerca de 60 minutos para a uniformização da coloração das amostras.

O aumento do tempo de interação pode ser explicado pela formação de uma camada protetora da quitosana ao redor das fibras do tecido, criando uma barreira física que as soluções tampões precisam penetrar antes de interagir com as antocianinas. Esta camada pode retardar a difusão das soluções tampões, resultando em um tempo maior para que a coloração do tecido mude (Torskangerpoll, 2005).

Dessa forma, pode-se perceber que a quitosana cria uma maior estabilização das antocianinas, protegendo suas estruturas químicas de degradação, resultando em uma resposta mais gradual e controlada da mudança da coloração.

Figura 20 - Análise visual da variação de cor em função do pH do tecido impregnado com banho A+C



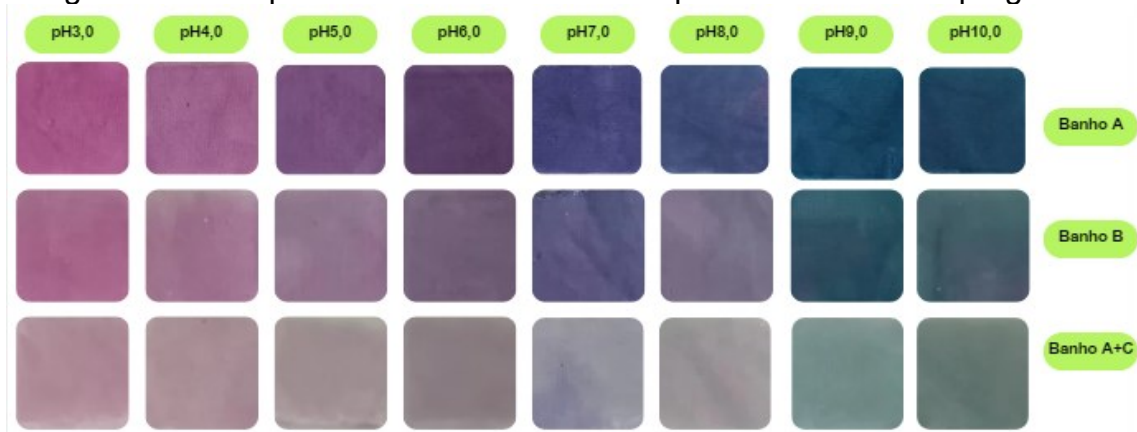
Fonte: elaborado pela autora

Além disso, pode-se observar que as amostras com revestimento apresentaram uma melhor uniformidade na coloração. Ao comparar as amostras do tecido com banho A com as amostras do tecido com banho A+C, percebe-se que no tecido do banho A ocorrem manchas em determinados pontos. Conforme as amostras recebem o revestimento de quitosana, a quantidade de manchas diminui, resultando em uma coloração mais homogênea (Laleh *et al.*, 2006). As imagens de cor dos tecidos impregnados com banho A+C, expostos a diferentes soluções tampão, são apresentadas na Figura 20.

As amostras revestidas com quitosana apresentaram uma boa coloração à variação dos pHs. Em pH 3,0, a coloração obtida foi um rosa mais intenso, já que a acidez promove essa tonalidade. Em pH 5,0, a cor se torna mais roxa, enquanto em pH 7,0 a tonalidade se aproxima do azul devido à neutralidade. Em pH 8,0, ocorre uma transição de roxo para azul, com uma cor azul mais pronunciada. Em pH 10,0, a coloração se torna mais esverdeada, refletindo o ambiente mais alcalino.

Nas amostras contendo apenas extrato de antocianina, as antocianinas interagem diretamente com as fibras do tecido. Esta interação direta pode resultar em uma coloração mais intensa, pois não há barreira ou intermediário que possa diluir ou bloquear parcialmente a fixação das antocianinas. As amostras que contêm quitosana apresentam uma camada protetora das fibras, podendo limitar a quantidade de antocianinas que entra em contato direto com as fibras do tecido, resultando em uma coloração menos intensa das amostras (Laleh *et al.*, 2006).

Figura 21 - Comparativo da sensibilidade ao pH das amostras impregnadas

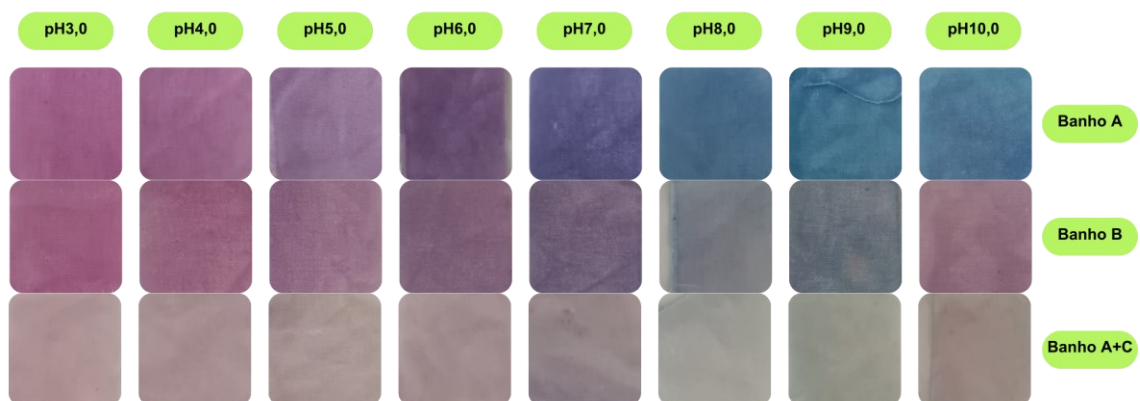


Fonte: elaborado pela autora

4.3.3.4 Têxteis impregnados com antocianinas e expostos a luz solar

Os têxteis impregnados com antocianinas e expostos à luz solar por 72 horas podem apresentar alterações significativas em sua sensibilidade ao pH. Durante este período de exposição, é provável que ocorra uma degradação gradual das antocianinas devido à fotodegradação, afetando sua capacidade de alterar de cor em resposta às variações de pH. Estudos anteriores (Laleh *et al.*, 2006) indicam que a exposição prolongada à luz solar pode comprometer a estabilidade das antocianinas, resultando em mudanças na estrutura molecular que podem afetar sua funcionalidade como indicadores de pH. Portanto, a análise da sensibilidade ao pH foi realizada em todas as amostras impregnadas e apresentadas na Figura 21.

Figura 22 - Sensibilidade ao pH das amostras expostas à luz solar



Fonte: elaborado pela autora

A exposição à luz tem um impacto significativo na alteração de cor das amostras de têxteis impregnados com antocianinas, podendo mostrar uma degradação mais acentuada das antocianinas, resultando em uma diminuição na intensidade e na rapidez da mudança de cor em resposta às variações de pH. Em comparação com as demais sensibilidades, o tempo de uniformização da coloração das amostras expostas foi de 1h e 20min, demonstrando o aumento no tempo de reação das antocianinas aos diferentes pHs. Ainda, vale ressaltar que as amostras impregnadas apresentaram uma descoloração e o aparecimento de manchas ao longo da exposição à luz (Figura 22), dessa forma sendo o teste de sensibilidade realizado em amostras mais claras que as anteriores (Sadilova, 2007).

Figura 23 - Amostras impregnadas expostas à luz solar



Fonte: elaborado pela autora

Ao analisar a variação colorimétrica das amostras expostas à luz solar por 72 horas, pode-se perceber que os resultados obtidos foram satisfatórios no quesito de alteração das cores, com exceção do pH 10, que apresentou uma coloração mais roxa. Em pH ácido, as antocianinas mantiveram as cores vermelhas ou rosas esperadas, enquanto em pH neutro, as amostras mostraram a coloração roxa típica. Em pH alcalino, a expectativa era uma coloração azul ou verde, mas o pH 10 apresentou um desvio para o roxo. Essa variação pode ter sido causada pela instabilidade das antocianinas em condições altamente alcalinas, onde a degradação pode não seguir o padrão esperado devido à fotodegradação intensificada pela

exposição prolongada à luz solar (Laleh *et al.*,2006). A interação entre o pH elevado e a luz solar pode ter levado à formação de diferentes complexos ou produtos de degradação, resultando em uma coloração roxa em vez do azul ou verde previsto.

A ausência de proteção da quitosana sobre as antocianinas em condições de fotodegradação pode ser atribuída a diversos fatores, como a baixa solubilidade da quitosana em meio alcalino, que limita sua eficácia como agente estabilizador. Além disso, a quitosana pode não interagir de forma adequada com as antocianinas, comprometendo sua capacidade de formar complexos estáveis que poderiam proteger os pigmentos da degradação. A exposição prolongada à luz solar intensifica a degradação fotodinâmica, e se a matriz de quitosana não for suficientemente robusta ou adequada para bloquear a luz ou absorver a radiação UV, isso pode resultar na formação de produtos de degradação indesejados, alterando a coloração esperada (Laleh *et al.*,2006).

4.3.4 Colorimetria das amostras impregnadas

As amostras impregnadas foram analisadas no DataColor 500® em comparação a amostra alvejada. A análise buscou compreender se a impregnação realizada resultou em uma cor uniforme e consistente em todas as amostras, assim como entender as diferenças colorimétricas de cada impregnação. Os resultados das leituras estão apresentados na tabela 07.

Tabela 07 - Análise Colorimétrica da Impregnação

Amostras	L*	a*	b*	ΔE *
Alvejada	93,13 +/- 0,44	0,54 +/- 0,01	6,87 +/- 0,14	0
Banho A	-26,62 +/- 0,35	29,42 +/- 0,32	-18,23 +/- 0,06	125,41 +/- 5,57
Banho B	-23,83 +/- 0,33	22,81 +/- 0,80	-17,23 +/- 0,12	121,41 +/- 5,57
Banho A+C	-16,54 +/- 0,09	13,19 +/- 0,60	-13,10 +/- 0,50	112,13 +/- 5,57

Fonte: elaborado pela autora

Ao analisar os valores de ΔE obtidos, observa-se que o processo de impregnação provocou uma alteração mais perceptível na cor. As amostras

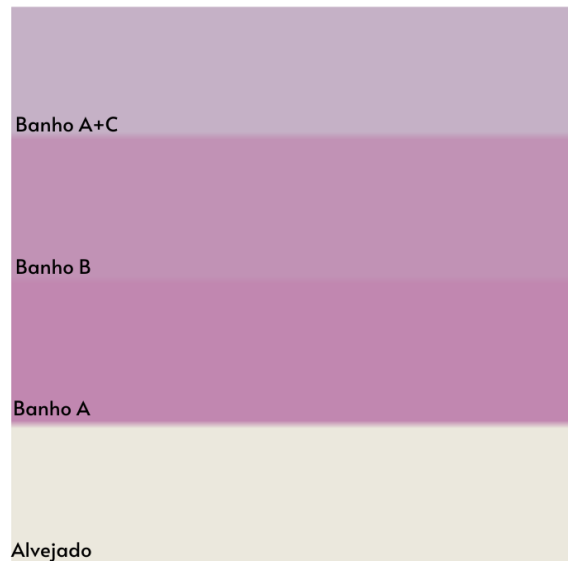
impregnadas exibiram ΔE superiores aos encontrados no processo de alvejamento, indicando uma mudança visível na coloração das amostras. Além disso, os valores dos banhos não apresentaram diferenças exorbitantes, sugerindo consistência no processo de impregnação (Sui *et al.*,2014). Todos os banhos demonstram altos valores de ΔE^* , indicando grandes diferenças de cor em relação à amostra alvejada. Banho A (125,41) é o mais distinto, seguido pelo Banho B (121,41) e Banho A+C (112,13), evidenciando uma forte alteração na coloração devido ao processo de impregnação.

Os valores de L^* indicam mudanças significativas na luminosidade das amostras após o processo de impregnação. Os banhos como o A e B foram mais eficazes em reduzir a luminosidade das amostras, resultando em cores mais escuras, enquanto o banho A+C resultou em um efeito menos acentuado.

A amostra do banho A obteve um valor de a^* de 29,42 o que indica um deslocamento para valores mais positivos no eixo verde-vermelho, sugerindo um aumento na saturação de cores vermelhas ou verdes. Conforme a tabela, observa-se que os valores diminuem ao longo dos banhos, o que demonstra que a impregnação A possui uma saturação maior que as demais amostras.

As análises das impregnações nas amostras revelaram variações significativas nos valores de b^* , indicativos das mudanças na tonalidade azul-amarelo. A amostra Alvejada inicialmente apresentava um valor positivo de b^* (6,87), sugerindo uma leve tonalidade amarelada ou azulada (Laleh *et al.*,2006). Após os processos de impregnação, observou-se uma diminuição consistente nessa coordenada indicando que tanto Banho A quanto Banho B foram eficazes em reduzir a tonalidade amarelada ou azulada das amostras. Por outro lado, Banho A+C mostrou o menor impacto nesse aspecto, resultando em uma alteração menos intensa na tonalidade azul-amarelo das amostras devido ao revestimento da quitosana na amostra (Gaviria, 2023).

Figura 24 - Tonalidades do processo de impregnação



Fonte: elaborado pelo equipamento DataColor 500®

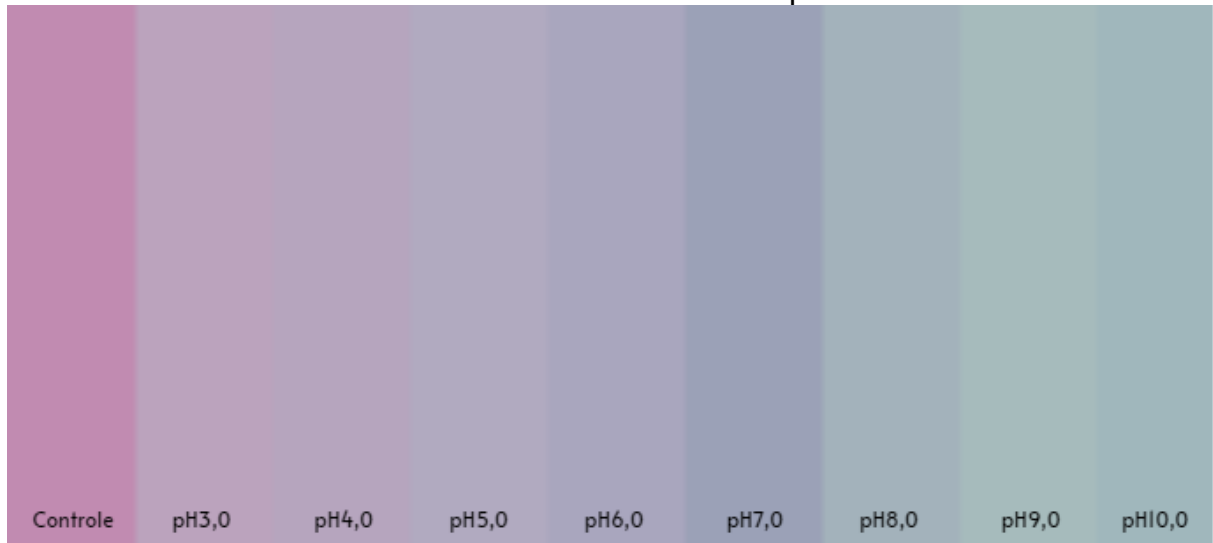
Entende-se que a impregnação do Banho A apresentou valores de colorimetria superiores às demais amostras, o que pode ser atribuído à possível interferência da quitosana nas amostras. A quitosana, como um polímero natural, pode influenciar a colorimetria das amostras modificando a forma como a luz é refletida ou transmitida através da superfície das amostras (Giusti e Wrolstad, 2001).

4.3.5 Colorimetria da análise de sensibilidade ao pH dos tecidos

4.3.5.1 Análise colorimétrica das amostras do banho A

A análise no DataColor 500® dos tecidos impregnados com banho A e expostos a soluções tampão com diferentes pH resultou na figura 24, que apresenta o comparativo da variação colorimétrica ocorrida pelo processo de sensibilidade ao pH das amostras.

Figura 25 - Tonalidades das amostras de tecido impregnadas com banho A e após análise de sensibilidade ao pH



Fonte: elaborado pelo equipamento DataColor 500®

Os valores de ΔE^* apresentados na tabela 08 fornecem uma medida da mudança perceptível de cor ao longo da variação dos pHs. À medida que o pH aumenta de pH 3 para pH 10, observa-se um aumento gradual nos valores de ΔE^* , indicando uma mudança significativa na cor. Isso sugere que, conforme o pH diminui de valores mais alcalinos (pH 10) para valores mais ácidos (pH 3), há uma tendência para que a cor se torne mais distinta e possivelmente mais saturada em algumas direções de cor, conforme representado pelos componentes L^* , a^* , e b^* no espaço de cor CIELAB. Os maiores valores de ΔE^* encontrados entre a amostra controle e pH 9 e pH 10 sugerem as maiores mudanças perceptíveis de cor (Alves, 2023).

Tabela 08 - Parâmetros de cor das amostras de tecido impregnadas com banho A e após análise de sensibilidade ao pH

(continua)

Amostras	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Controle	67,23 +/- 0,91	28,70 +/- 0,90	-10,68 +/- 0,17	0
pH3	5,06 +/- 0,06	-13,63 +/- 0,06	1,48 +/- 0,01	76,20 +/- 0,70
pH4	5,19 +/- 0,03	-16,56 +/- 0,15	1,36 +/- 0,05	77,79 +/- 0,55
pH5	5,96 +/- 0,25	-20,84 +/- 0,41	1,46 +/- 0,03	79,70 +/- 0,65
pH6	4,26 +/- 0,14	-21,48 +/- 0,30	0,05 +/- 0,25	81,14 +/- 0,35

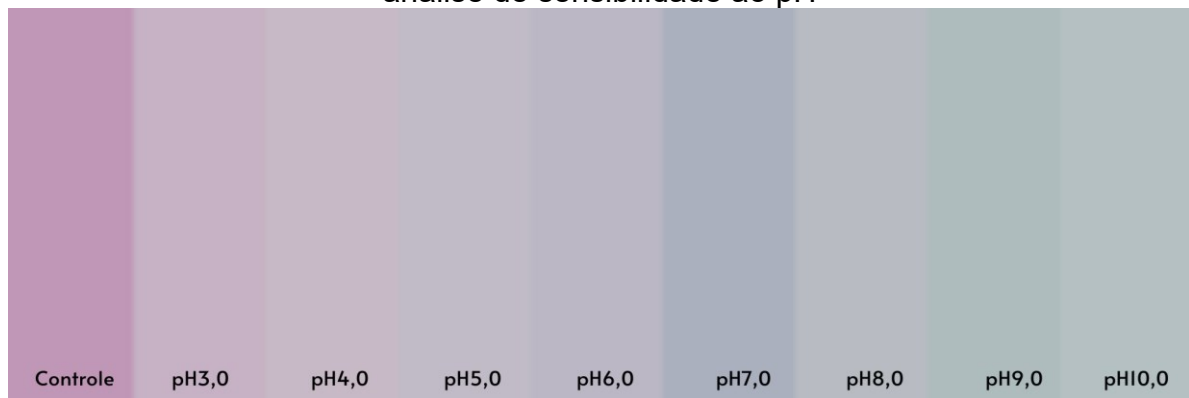
Amostras	L*	a*	b*	ΔE^*
pH7	1,78 +/- 0,03	-25,71 +/- 0,30	-0,37 +/- 0,01	85,73 +/- 0,15
pH8	6,60 +/- 0,10	-30,87 +/- 0,23	4,96 +/- 0,15	86,46 +/- 0,10
pH9	9,14 +/- 0,05	-34,79 +/- 0,80	8,22 +/- 0,05	88,02 +/- 0,35
pH10	7,84 +/- 0,25	-34,87 +/- 0,74	6,09 +/- 0,15	88,63 +/- 0,28

Fonte: elaborado pela autora

4.3.5.2 Análise colorimétrica das amostras do banho B

A diferença na intensidade da tonalidade entre as amostras de banho B, comparadas às amostras do banho A, pode ser atribuída à presença de quitosana na solução. As amostras resultantes do banho de quitosana em solução apresentam um revestimento que interfere na interação entre as antocianinas e as soluções tampões. Contudo, é possível perceber que ocorre a mudança na coloração das amostras, como representado na Figura 25.

Figura 26 - Tonalidades das amostras de tecido impregnadas com banho B e após análise de sensibilidade ao pH



Fonte: elaborado pelo equipamento DataColor 500®

Os valores crescentes de ΔE^* indicam um aumento na diferença perceptível de cor em relação ao controle, à medida que o pH diminui. Isso sugere que as alterações no pH não apenas afetam a luminosidade das cores, conforme refletido nos valores de L*, mas também influenciam as características tonais e de saturação da cor, conforme evidenciado pelos valores de a* e b*. Os maiores valores de ΔE^* , especialmente em amostras com pH mais extremos como pH 3 e pH 9 a pH 10,

destacam mudanças expressivas na cor, ilustrando a sensibilidade da cor às condições de pH (Alves, 2023).

Tabela 09 - Parâmetros de cor das amostras de tecido impregnadas com banho B e após análise de sensibilidade ao pH

Amostras	L*	a*	b*	ΔE^*
Controle	69,99 +/- 0,45	22,95 +/- 0,17	-9,31 +/- 0,05	0
pH3	6,90 +/- 0,15	-11,09 +/- 0,25	4,03 +/- 0,45	72,90 +/- 0,52
pH4	8,99 +/- 0,03	-14,95 +/- 0,37	5,92 +/- 0,05	73,43 +/- 0,42
pH5	8,76 +/- 0,25	-17,88 +/- 0,14	5,09 +/- 0,02	74,91 +/- 0,32
pH6	7,30 +/- 0,17	-18,17 +/- 0,04	4,11 +/- 0,01	76,15 +/- 0,25
pH7	4,05 +/- 0,04	-20,63 +/- 0,06	2,07 +/- 0,01	79,89 +/- 0,17
pH8	8,15 +/- 0,05	-22,31 +/- 0,51	6,75 +/- 0,03	78,31 +/- 0,22
pH9	7,23 +/- 0,15	-26,49 +/- 0,05	7,58 +/- 0,04	81,74 +/- 0,25
pH10	8,70 +/- 0,25	-25,72 +/- 0,15	7,67 +/- 0,01	80,04 +/- 0,35

Fonte: elaborado pela autora

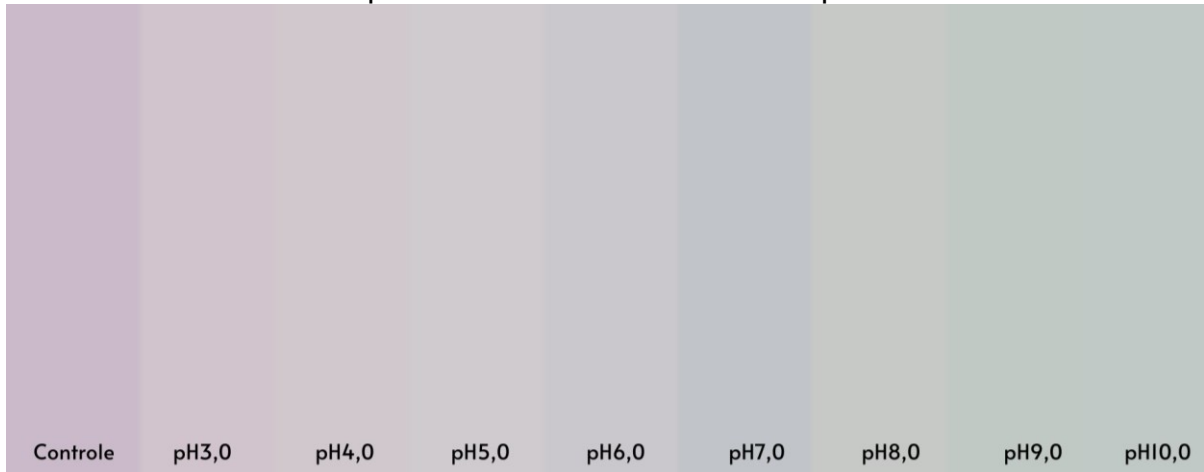
A diferença na tonalidade entre as amostras de pH 7 e pH 8 pode ser explicada pela interação complexa entre os valores de L*, a*, e b* no espaço de cor CIELAB. Embora pH 8 tenha um valor ligeiramente maior de b* (componente azul-amarelo), que pode sugerir uma tendência para cores mais amarelas ou douradas, o componente a* (componente verde-vermelho) é mais negativo em pH 8 do que em pH 7 (Alves, 2023). Isso indica que pH 8 pode ter uma tonalidade mais esverdeada ou menos avermelhada em comparação com pH 7, que pode contribuir para uma percepção de tonalidade diferente.

4.3.5.3 *Análise colorimétrica das amostras do banho A+C*

As resultantes do processo de sensibilidade ao pH das amostras revestidas com quitosana foram apresentadas na Figura 26, sendo possível observar a mudança na coloração das amostras ao longo da variação do pH. Em comparação às demais análises, o revestimento de quitosana pode estar interferindo na maneira como a luz

é refletida e percebida, seu efeito filmogênico pode resultar em uma cobertura que modifica a aparência visual tornando as cores menos vibrantes.

Figura 27 - Tonalidades das amostras de tecido impregnadas com banho A+C e após análise de sensibilidade ao pH



Fonte: elaborado pelo equipamento DataColor 500®

As variações no pH exercem um impacto significativo na aparência das cores. Os valores crescentes de ΔE^* refletem alterações na tonalidade, luminosidade e saturação das cores das amostras em comparação com o controle, com os maiores deltas ocorrendo em pHs extremos como pH 3 e pH 10 (Alves, 2023).

Com base na análise dos dados, observa-se que a luminosidade (L^*) das amostras apresenta uma tendência de diminuição à medida que o pH aumenta, até um certo ponto, onde posteriormente volta a aumentar. Isso sugere que, em algumas faixas de pH, as amostras tendem a se tornar mais escuras e depois recuperar parte da luminosidade original.

Tabela 10 - Parâmetros de cor das amostras de tecido impregnadas com banho A+C e após análise de sensibilidade ao pH

(continua)

Amostras	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Controle	79,75 +/- 0,12	9,78 +/- 0,35	-4,34 +/- 0,01	0
pH3	2,75 +/- 0,15	-1,96 +/- 0,17	3,54 +/- 0,02	78,33 +/- 0,51
pH4	3,53 +/- 0,25	-4,01 +/- 0,25	4,11 +/- 0,02	77,90 +/- 0,24

Amostras	L*	a*	b*	ΔE *
pH5	4,18 +/- 0,05	-6,61 +/- 0,02	4,46 +/- 0,03	77,80 +/- 0,03
pH6	3,10 +/- 0,03	-6,91 +/- 0,03	3,32 +/- 0,15	78,86 +/- 0,05
pH7	1,08 +/- 0,15	-8,87 +/- 0,05	2,93 +/- 0,17	81,13 +/- 0,15
pH8	2,80 +/- 0,02	-9,79 +/- 0,15	5,99 +/- 0,23	80,01 +/- 0,27
pH9	2,37 +/- 0,27	-12,25 +/- 0,17	6,12 +/- 0,02	81,10 +/- 0,35
pH10	2,29 +/- 0,03	-12,05 +/- 0,25	5,67 +/- 0,03	81,13 +/- 0,48

Fonte: elaborado pela autora

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo do estudo demonstraram uma excelente extração de antocianinas por meio de solvente acidificado com HCl, sendo possível o desenvolvimento de uma impregnação eficiente e com quantidades de antocianinas relevantes. A degradação das antocianinas referenciada no projeto pode ser comprovada com as análises da sensibilidade ao pH das amostras expostas à luz solar. Dessa forma, todo o desenvolvimento dos têxteis na ausência de luz e em temperatura ambiente foi fundamental para uma análise precisa da mudança colorimétrica das amostras à variação do pH.

Nesse âmbito, o desenvolvimento de amostragens com diferentes impregnações possibilitou o entendimento do comportamento das antocianinas em pHs variados, assim como a influência da quitosana nessa interação. À princípio, esperava-se que o tempo de resposta da sensibilidade de todas as amostras fossem inferiores a 10 minutos, contudo pode-se perceber que a quitosana alterou consideravelmente esse tempo. Dessa forma, ao analisar a funcionalidade que o têxtil desenvolvido deveria ter e a aplicação na área médica desejada, o tempo de 60 minutos apresentou-se ineficiente a priori, sendo a amostra que continha somente as antocianinas a mais apta.

Entretanto, após análises mais detalhadas do comportamento da quitosana no material, é possível compreender o aumento no tempo de resposta observado. Além disso, embora o teste antimicrobiano específico não tenha sido realizado, é importante destacar que as propriedades naturais da quitosana, como a atividade antimicrobiana

e a biocompatibilidade, são características fundamentais no desenvolvimento de um têxtil inteligente com potencial aplicação médica. Essas propriedades não apenas contribuem para a proteção contra microorganismos, mas também favorecem a interação segura com tecidos biológicos, o que torna a quitosana um componente promissor para produtos médicos avançados.

Dessa forma, conclui-se que a metodologia utilizada no desenvolvimento dos têxteis inteligentes apresentou resultados promissores, especialmente em relação à uniformidade de impregnação, à quantificação das antocianinas no material e ao comportamento frente às variações de pH. Esses resultados indicam o potencial dos têxteis para futuras aplicações inovadoras, demonstrando a eficácia do processo de desenvolvimento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigar a influência da temperatura e da exposição contínua à luz UV na degradação das antocianinas, bem como as características dos tecidos tratados.
- Desenvolver nanocápsulas de quitosana e investigar seus efeitos no revestimento de tecidos inteligentes com antocianinas.
- Realizar a caracterização de tecidos submetidos à exposição contínua em cabine de luz ultravioleta e analisar a alteração da sensibilidade ao pH em amostras expostas e não expostas.
- Estudar a influência da gramatura do tecido e da matéria-prima nos processos de impregnação e na sensibilidade ao pH, avaliando tanto o tempo necessário para os procedimentos quanto às possíveis caracterizações dessas amostras.
- A quantificação das antocianinas monoméricas nos substratos têxteis, assim como a análise da solidez à fricção das amostras impregnadas e das resultantes da sensibilidade ao pH.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Sophia Helena. **Sustentabilidade em fibras celulósicas: Desempenho de tingimento com corantes naturais e quitosana em malha de algodão orgânico e lyocell**. 2023. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2023.
- AL-SENANI, Ghadah M.; AL-QAHTANI, Salhah D. Preparation of biomolecular anthocyanin-immobilized plasma-cured nonwoven fibers from pomegranate (*Punica granatum L.*) and recycled cotton waste for detection of ammonia. **Journal of Cleaner Production**. Arabia, p. 1-10. jan. 2024.
- ANAND, S. **Medical Textiles**. Woodhead Publishing Ltda, Inglaterra, 2000.
- ARGUELLES, C.P.W., GALLARDO, A., ELVIRA, C. SAN ROMÁN, J. **Quitosan: Un polisacárido natural biodegradable biocompatible con aplicaciones en biotecnología y biomedicine**. Revista de Plásticos Modernos, v. 585, p. 81-91, 2001.
- ASSIS, O.B.G. **Alteração do caráter hidrofílico de filmes de quitosana por tratamento de plasma de HMDS**. Química Nova, v.33, p. 603-606, 2010.
- AZEVEDO, V.V.C., CHAVES, S.A., BEZERRA, D.C., LIA FOOK, M.V., COSTA, A.C.F.M. **Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais**. Revista eletrônica de materiais e processos, v.23, p. 27-34, 2007.
- AZMAN, Ezzat Mohamad et al. **Effect of acidified water on phenolic profile and antioxidant activity of dried blackcurrant (*Ribes nigrum L.*) pomace extracts**. LWT, [s. l.], v. 154, p. 112733, 2022. Disponível em: Acesso em: 07 jul. 2024.
- BARALDI, Raphael Ferreira dos Santos; STANKEVICIUS, Maria Helena; CORREIA, Jeferson; VALLE, Rita de Cássia Siqueira Curto; VALLE, José Alexandre Borges. Tingimento de Algodão com Corante Reativo por Meio de Cationização. In: Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 3., 2022, Blumenau. **Anais [...]**. Blumenau: Cobicet, 2022. p. 1-7.
- BARALDI, Raphael F. S.; COSTA, Cristiane da. Encapsulation Of Copaiba Essencial Oil and Jojoba Vegetable Oil in Biopolymeric Nanoparticles. **Proceedings Of The 17Th Brazilian Polymer Conference**, Joinville, v. 0, n. 0, p. 1-5, 02 nov. 2023.
- BINNEMANS, Koen. Lanthanide-Based Luminescent Hybrid Materials. **Chemical Reviews**, [S.L.], v. 109, n. 9, p. 4283-4374, 4 ago. 2009. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/cr8003983>.
- BRAUCH, Johanna E et al. Studies into the Stability of 3-O-Glycosylated and 3,5-O-Diglycosylated Anthocyanins in Differently Purified Liquid and Dried Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) Preparations during Storage and Thermal Treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 63, n. 39, p. 8705–8714, 2015. Disponível em <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03471>.

BRINE, C.J., SANDFORD, P.A., ZIKAKIS, J.P. **Advances in chitin and chitosan**. Editora Elsevier Applied Science, London, 1992.

CARRETERO, Agatha Cristine. **Desenvolvimento de fibras têxteis à base de polímeros naturais para aplicações médicas**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARRETERO, Agatha C. et al. Desenvolvimento de fibras têxteis a base de alginato, quitosana e alginato/quitosana para aplicações médicas. In: **10º Congresso Brasileiro de Polímeros**. 2009.

CHATTERJEE, Niladri Sekhar et al. Nanoencapsulation in low-molecular-weight chitosan improves in vivo antioxidant potential of black carrot anthocyanin. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 101, n. 12, p. 5264–5271, 2021.

CHENG, Yingying; LIU, Jiayi; LI, Ling; REN, Jiali; LU, Jun; LUO, Feijun. Advances in embedding techniques of anthocyanins: improving stability, bioactivity and bioavailability. **Food Chemistry**: [S.L.], v. 20, p. 100983, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100983>.

DOS SANTOS SILVA, Marcelo Edvan et al. Microencapsulated phenolic-rich extract from juice processing grape pomace (*Vitis labrusca*. Isabel Var): Effects on oxidative stability of raw and pre-cooked bovine burger. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 50, p. 102212, 2022. Disponível em: Acesso em: 06. jul. 2024.

ENARU, Bianca; DRETCANU, Georgiana; POP, Teodora Daria; STANILA, Andrea; DIACONEASA, Zorita. Anthocyanins: factors affecting their stability and degradation. **Antioxidants**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1967, 9 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox10121967>.

FERREIRA, Alexandre José Sousa; FERREIRA, Fernando Batista Nunes; OLIVEIRA, Fernando Ribeiro. Têxteis Inteligentes – Uma breve revisão da literatura. **Redige**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 1-22, abr. 2014.

FRANCISCO, Isadora Bertini Martins; BARALDI, Raphael Ferreira dos Santos; SANTOS, Eduardo Gonçalves dos; SILVA JÚNIOR, Afonso Henrique da; OLIVEIRA, Patrícia Viera de; FELIPE, Brenno Henrique Silva; OLIVEIRA, Carlos Rafael Silva de; AGUIAR, Catia Rosana Lange de. Acrylic yarns pre-treated with different mordants and their dyeing potential with annatto dye. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 191-206, 13 fev. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv7n1-015>.

GAVIRIA, Yessica Alexandra Rodriguez. **Rótulos inteligentes contendo antocianinas da casca de uva nanoencapsuladas para aplicação como indicadores de mudanças de pH**. 2023. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

GIUSTI, M.Mónica; WROLSTAD, Ronald E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. **Current Protocols in**

Food Analytical Chemistry, [s. l.], v. 00, n. 1, p. F1.2.1-F1.2.13, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.

GRIES, T.; RAINA, M.; QUADFLIEG, T.; STOLYAROV, O. Manufacturing of textiles for civil engineering applications. *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*, [S.L.], p. 3-24, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-1-78242-446-8.00002-1>.

GUETHS, Camila Petters. **Desenvolvimento de têxteis condutores a partir de malha Spacer por trama**. 2023. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2023.

HE, Jian; GIUSTI, M. Monica. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. **Annual Review of Food Science and Technology**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 163-187, 1 abr. 2010. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>.

KARSTEN, Amanda Caroline. **Funcionalização de Substratos Têxteis Utilizando Calêndula Visando Aplicações Médico-Dermatológicas**. 2022. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

KHOO, Hock Eng; AZLAN, Azrina; TANG, Sou Teng; LIM, See Meng. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 1361779, jan. 2017. SNF Swedish Nutrition Foundation. <http://dx.doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.

KUMAR, Kodli Basanth; RAJITHA, Akula; RAO, A. Kakoli; ALAM, Khursheed; ALBAWI, Ali; SETHI, Gaurav. SMART Materials for Biomedical Applications: advancements and challenges. **E3S Web of Conferences**, [S.L.], v. 430, n. 0, p. 1-10, jan. 2023. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202343001133>.

LALEH, G.H.; FRYDOONFAR, H.; HEIDARY, R.; JAMEEI, R.; ZARE, S. The Effect of Light, Temperature, pH and Species on Stability of Anthocyanin Pigments in Four Berberis Species. **Pakistan Journal of Nutrition**. Pakistan, p. 90-92. jan. 2006.

LEE, J. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruits juices, beverages, natural colorants and wines by the pH differential method: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 5, p. 1269-1278.

LI, Fengfeng; ZHAO, Hengtian; XU, Ruiru; ZHANG, Xiuling; ZHANG, Wentao; DU, Meiling; LIU, Xiaochen; FAN, Lili. Simultaneous optimization of the acidified water extraction for total anthocyanin content, total phenolic content, and antioxidant activity of blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L.) using response surface methodology. **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 2968-2976, 10 ago. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.1152>.

LIU, Danfei; ZHANG, Changfan; PU, Yumei; CHEN, Siyuan; LIU, Lei; CUI, Zijie; ZHONG, Yunfei. Recent Advances in pH-Responsive Freshness Indicators Using

Natural Food Colorants to Monitor Food Freshness. **Foods**, [S.L.], v. 11, n. 13, p. 1-10, 25 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11131884>.

LY, Bao Chau K.; DYER, Ethan B.; FEIG, Jessica L.; CHIEN, Anna L.; BINO, Sandra del. Research Techniques Made Simple: cutaneous colorimetry. **Journal of Investigative Dermatology**, [S.L.], v. 140, n. 1, p. 3-12, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>.

MAESTRI, G. **Efeito piezoelétrico em têxteis inteligentes utilizando malhas por trama**. 2022. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

MARTINS, Quesli. **Funcionalização de Tecidos com Nanopartículas e Recobrimentos Biopoliméricos Visando Proteção Contra Mosquitos**. 2024. 123f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Têxtil, Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2024.

MARTINS, Quesli; COSTA, Cristiane da; BIERHALZ, Andrea C. K. Cotton Fabric Functionalized With Chitosan and Neem Seed Oil Aiming Repellent Textile Applications. **Proceedings of The 17Th Brazilian Polymer Conference**, Joinville, v. 0, n. 0, p. 1-5, 02 nov. 2023.

MERCK. **Buffer Reference Center**. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/technical-documents/protocol/protein-biology/protein-concentration-and-buffer-exchange/buffer-reference-center#citric>. Acesso em: 04 jun. 2024.

MERZ, Barbara et al. A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. I.], v. 153, p. 625–632, 2020. Disponível em: Acesso em: 7 jul. 2024.

NAFADY, Ayman; AL-ENIZI, Abdullah M; ALOTHMAN, Asma A; SHAIKH, Shoyebmohamad F. Design and fabrication of green and sustainable vapochromic cellulose fibers embedded with natural anthocyanin for detection of toxic ammonia. **Talanta**, [S.L.], v. 230, n. 1, p. 1-12, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122292>.

PETKOVSKA, Jovana; GESKOVSKI, Nikola; MARKOVIC, Darka; DIMOVA, Vesna; MIRAKOVSKI, Dejan; RADETIC, Maja; JORDANOV, Igor. Chitosan-pectin multilayer coating with anthocyanin grape dye as pH indicating wound dressing: synthesis and characterization. **Carbohydrate Polymer Technologies And Applications**, [S.L.], v. 7, p. 100438, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100438>.

SADILOVA, Eva; CARLE, Reinhold; STINTZING, Florian C. Thermal degradation of anthocyanins and its impact on color and in vitro antioxidant capacity. **Molecular Nutrition & Food Research**, [S.L.], v. 51, n. 12, p. 1461-1471, dez. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.200700179>.

SÁNCHEZ, José Cegarra. Têxteis inteligentes. **Revista Química Têxtil**, v. 82, p. 58-77, 2006.

SANTOS, Daniela Aparecida dos. **Funcionalização de substrato têxtil com partículas poliméricas carregadas com repelente visando proteção contra o mosquito *Aedes aegypti***. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SILVA, Lucas Souza da. **Obtenção de filamentos de alginato de cálcio com revestimento de quitosana para aplicações biomédicas**. 2022. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

SILVA, Marcelo Santos da; ALVES, Ricardo Elesbão; SILVA, Silvanda de Melo; COELHO, Maria Auxiliadora de Lima. Quantificação de Antocianinas Totais Determinadas na Casca e Na Polpa de Uvas Tintas Destinadas à Produção de Vinhos. **Simposio Brasileiro de Pós-Colheita**. Rio Verde, p. 0816-0819. jan. 2011.

STOPPA, Matteo; CHIOLERIO, Alessandro. Wearable Electronics and Smart Textiles: a critical review. **Sensors**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 11957-11992, 7 jul. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s140711957>.

SUI, Xiaonan; DONG, Xin; ZHOU, Weibiao. Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 163, n. 1, p. 163-170, 11. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.075>.

TANG, Bin; HE, Ying; LIU, Jun; ZHANG, Jin; LI, Jingliang; ZHOU, Ji; YE, Yong; WANG, Jinfeng; WANG, Xungai. Kinetic investigation into pH-dependent color of anthocyanin and its sensing performance. **Dyes And Pigments**, [S.L.], v. 170, n. 1, p. 1-8, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.107643>.

TAO, Xiaoming. **Smart fibres, fabrics and clothing**. Hong Kong: Woodhead Publishing, 2001. 336 p.

TEIXEIRA, Luciana Nascimento; STRINGHETA, Paulo César; OLIVEIRA, Fabiano Alves de. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Ceres**, [S.L.], v. 55, n. 4, p. 297-304, jan. 2008.

TEIXEIRA, Paula. **Incorporação de Quitosana em Têxteis Hospitalares Reutilizáveis**. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2015.

TORSKANGERPOLL, Kjell. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 89, n. 3, p. 427-440, fev. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.002>.

WALLACE, Taylor C.; GIUSTI, M. Monica. **Anthocyanins in Health and Disease**. Boca Raton: Crc Press, 2010. 368 p.

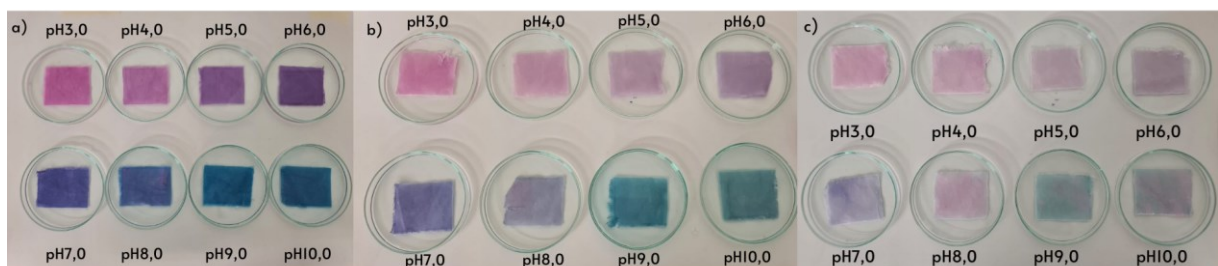
ZENG, Wei; SHU, Lin; LI, Qiao; CHEN, Song; WANG, Fei; TAO, Xiao-Ming. Fiber-Based Wearable Electronics: a review of materials, fabrication, devices, and applications. **Advanced Materials**, [S.L.], v. 26, n. 31, p. 5310-5336, 18 jun. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/adma.201400633>.

Zhao, X., Wang, Y., & Li, J. (2023). Molecular stability and color expression of anthocyanins in different pH conditions. **Journal of Food Chemistry**, 415, 13588

APÊNDICE A – Fotografias dos ensaios de sensibilidade ao pH

A figura S1 apresenta as imagens obtidas durante os ensaios da sensibilidade ao pH realizados nas amostras de 100% algodão, (a) amostras impregnadas somente com o extrato das antocianinas; (b) amostras impregnadas com o extrato mais quitosana em solução; (c) amostras impregnadas com extrato de antocianina e revestida com quitosana.

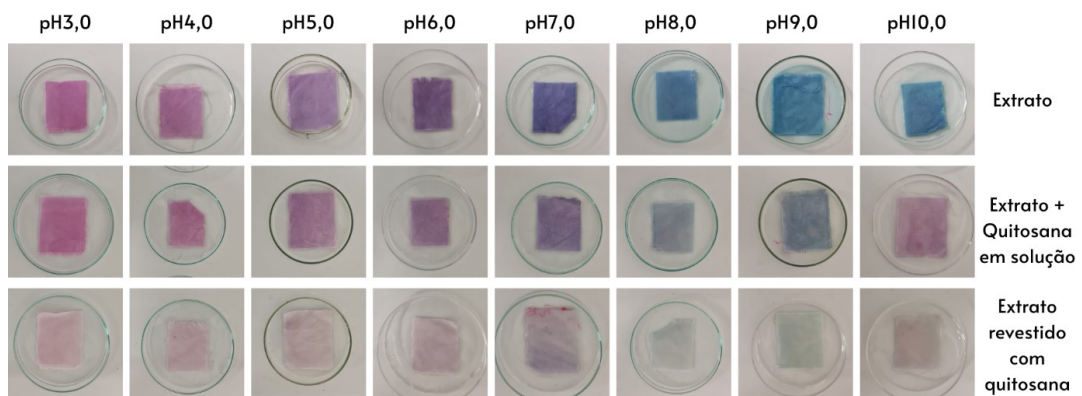
Figura S1: Sensibilidade ao pH



Fonte: elaborado pela autora

A figura S2 apresenta o comportamento de todas as amostras impregnadas, nos diferentes banhos, após a exposição por 72h à luz solar.

Figura S2: Sensibilidade com amostras expostas à luz solar



Fonte: elaborado pela autora