

GreenFlux – Uma nova abordagem sustentável à higiene menstrual.



Escola Secundária da Maia
Ana Catarina Miranda,
Francisca Teixeira,
Inês Machado.

Resumo

A saúde menstrual é um tema negligenciado pela comunidade científica. Esta lacuna realça a necessidade em assegurar a sustentabilidade e segurança da saúde feminina através de alternativas inovadoras para os produtos menstruais tradicionais que geram um elevado impacto ambiental e contêm substâncias nocivas. Este projeto tem como objetivo desenvolver produtos menstruais biodegradáveis a partir da celulose extraída da borra de café, promovendo uma solução ecológica e segura para a higiene íntima feminina. Compostos bioativos, com propriedades anti-inflamatórias, antifúngicas e antibacterianas, foram incorporados nos produtos conferindo benefícios para a saúde. A celulose foi obtida por várias etapas: i) hidrólise alcalina (3% NaOH, 1h, 90°C, 1:20g/mL); ii) branqueamento (2% NaClO, 1h, 70°C, 1:20g/mL); iii) secagem (80°C, 3h). Os bioativos foram extraídos da Lavanda através de um processo de maceração (água, 180 min, 100°C, 1:10g/mL). Os compostos obtidos foram incorporados numa pasta com alginato para a produção de filmes e impressões 3D. Os filmes de celulose, que constituem uma das camadas dos pensos higiénicos, foram produzidos com diferentes espessuras (1, 2 e 3mm), enquanto os protótipos de tampões foram impressos em diâmetros distintos (1,3, 1,7 e 3cm). A celulose foi caracterizada por FTIR, TGA e SEM, confirmando-se a sua composição e estrutura. O extrato final obtido apresenta um conteúdo celulósico de 66%. A análise pelo método de *Folin-Ciocalteu* confirmou a presença dos compostos fenólicos. Estes resultados demonstram que a utilização de resíduos orgânicos pode resultar numa alternativa sustentável e segura para a higiene menstrual.

Palavras-chave:

Higiene Menstrual, Sustentabilidade, Celulose, Borra de Café, Bioativos, Lavanda

Abstract:

The scientific community neglects menstrual health. This gap highlights the need to ensure the sustainability and safety of women's health through innovative alternatives to traditional menstrual products that generate a high environmental impact and contain harmful substances. This project aims to develop biodegradable menstrual pads and tampons from cellulose extracted from coffee grounds, promoting ecological and safe protection for feminine intimate hygiene. Bioactive compounds with anti-inflammatory, antifungal and antibacterial properties were incorporated into the products to promote health benefits. Cellulose was obtained by several steps: i) alkaline hydrolysis (3% NaOH, 1h, 90°C, 1:20g/mL); ii) bleaching (NaClO 2%, 1h, 70°C, 1:20g/mL); iii) drying (80°C, 3h). Bioactives were extracted from Lavender by the maceration process (water, 180 min, 100°C, 1:10g/mL). Then, the obtained compounds were incorporated in a paste with alginate for producing films and 3D printing. The cellulose films that constitute one layer of pads were produced with different thicknesses (1, 2 and 3mm), while the

tampons prototypes were printed in different diameters (1.3, 1.7 and 3cm). Cellulose was characterised by FTIR, TGA and SEM, where the composition and morphology were confirmed. The final extract obtained has a cellulose content of 66%. Analysis using the *Folin-Ciocalteu* method confirmed the presence of phenolic compounds. These results demonstrate that using organic waste and natural compounds can result in a sustainable, safe and beneficial alternative for menstrual hygiene.

Keywords:

Menstrual Hygiene, Sustainability, Cellulose, Coffee Grounds, Bioactives, Lavender

Introdução

A utilização de produtos menstruais é fundamental para uma grande parte da população, sendo indispensável garantir a sua segurança e sustentabilidade.

Recentemente, estudos vieram revelar a presença de componentes como ftalatos e parabenos em pensos e tampões de higiene menstrual (Marroquin et al., 2024). Para além disso, também foi comprovada a presença de metais pesados (como chumbo, cádmio e arsénio) nestes produtos (Shearston et al., 2024).

Foi com base nesta preocupação que foi criada a GreenFlux, iniciativa dedicada a desenvolver uma alternativa inovadora aos produtos menstruais tradicionais. O objetivo deste projeto é proteger a saúde das mulheres, eliminando compostos nocivos da sua composição já que: “Menstrual products are used for approximately 5 years of cumulative exposure time and are in contact with tissue that is particularly absorbent.” (Marroquin et al., 2024). Atuando, assim, em prol do objetivo número 3 (Saúde de Qualidade) dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. A iniciativa tem igualmente o objetivo de reduzir o seu impacto ambiental, minimizando o uso de plásticos, sendo que, pessoas que menstruam gastam, em média, 10.000 produtos de higiene menstrual ao longo da sua vida. O uso de produtos menstruais descartáveis, feitos de plástico e embalados em plástico, produz uma grande quantidade de resíduos (Stewart et al., 2009), que contribuem significativamente para a poluição dos oceanos, afetando a biodiversidade marinha e os ecossistemas costeiros. Deste modo, GreenFlux contribui também para o objetivo número 9 (Produção e Consumo Sustentáveis) dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Os pensos higiénico são constituídos por várias camadas, nomeadamente um núcleo absorvente, uma película adesiva e podem conter fragrâncias e aditivos (Earth, 2022). Como uma alternativa sustentável ao núcleo absorvente este estudo visa desenvolver um filme produzido a partir de celulose extraída da borra de café. Outro produto menstrual muito recorrente é o tampão. Este é maioritariamente constituído pelo núcleo absorvente revestido por uma película polimérica e, pode também conter aditivos (Earth, 2022). Assim, será também projetada a produção de uma alternativa mais ecológica para este produto. Em ambos os produtos serão utilizadas unicamente matérias-primas orgânicas garantindo a sua ecoeficiência e segurança.

O mercado do café representa 5% da indústria alimentar da economia nacional (Nielsen, 2016), o que leva à acumulação de uma grande quantidade de borra de café. Esta constitui um resíduo alimentar utilizado na fertilização de solos devido à sua composição rica em polissacarídeos, como celulose, e compostos antioxidantes (Luo et al., 2024). No entanto, a sua produção

continua muito superior à sua reutilização, tornando-a um subproduto enriquecido com necessidade de valorização.

A celulose ($C_6H_{10}O_5$) é o biopolímero mais abundante na terra, a sua unidade repetitiva é composta por duas moléculas de glicose eterificadas por ligações β -1,4-glicosídicas (dos Santos et al., 2016). Esta pode ser extraída de fontes naturais, como a madeira, cascas, sementes e folhas (Taherzadeh & Karimi, 2008). A borra de café, sendo um subproduto do grão de café, contém entre 8 a 24% de celulose (Luo et al., 2024). Assim, esta é considerada uma fonte abundante e económica de celulose. A extração de celulose de fontes naturais ocorre por processos simples como hidrólises (alcalina, ácida ou enzimática) (Pereira et al., 2019).

Os compostos fenólicos, ricos em propriedades antifúngicas, antibacterianas e anti-inflamatórias (Ferreira, 2014), estão presentes em plantas, flores e folhas. Estes podem ser extraídos por metodologias verdes simples, como maceração. A Lavanda é uma planta de flor que cresce em solo mediterrâneo e é reconhecida pelo seu odor característico. Esta contém mais de 100 constituintes, entre os quais compostos fenólicos como o linalol (Jeddi et al., 2023).

O alginato de sódio ($C_6H_7NaO_6$) é um composto naturalmente presente nas paredes celulares de algas castanhas e é extraído através da reação com carbonato de sódio (Campos et al., 2022). Este composto é utilizado na indústria como espessante e emulsificante, sendo recorrentemente encontrado no desenvolvimento de pastas e hidrogéis (Avendaño-Romero et al., 2013). Na produção de filmes, o alginato é o composto mais utilizado devido à formação de soluções com elevada viscosidade e facilidade de reticulação com um sal.

Com base nestes factos os produtos menstruais serão projetados a partir de uma matriz entre a celulose e o alginato, com a incorporação de bioativos extraídos da Lavanda (Figura A.1- Anexo A).

Materiais e Métodos

Materiais

A biomassa, borra de café, foi fornecida por uma confeitaria local da Maia (Porto, Portugal). A Lavanda foi comprada a uma florista local, sendo as flores de origem nacional.

A celulose microcristalina comercial (CAS NO. 9004-34-6) foi adquirida da MP Biomedicals, LLC (Germany). O hidróxido de sódio (NaOH) foi comprado à LabKem (CAS NO. 1310-73-2) e o hipoclorito de sódio a 10% (NaClO) à Limpolar (CAS NO. 7681-52-9). O reagente de Folin-Ciocalteu (CAS NO. 7732-18-5) e o carbonato de sódio (CAS NO. 497-19-8) foram adquiridos da AppliChem Panreac e o ácido gálico (CAS NO. 5995-86-8) da Acros Organics. O alginato de sódio (CAS NO. 27660-296) foi comprado à VWR Chemicals e o cloreto de cálcio (CAS NO. 10043-52-4) que foi comprado à Merck.

As águas utilizadas (destilada, ultrapura e desionizada) foram obtidas através do tratamento de água corrente por sistemas próprios de purificação da água na instituição de acolhimento.

Extração da celulose da borra de café

A isolamento da celulose a partir da borra de café, um resíduo lignocelulósico abundante, realizou-se com base em metodologias previamente propostas por Kumar et al. (2024) e Luo et al. (2024). O processo iniciou-se com a secagem da borra de café em estufa a 80°C por 3 horas, etapa essencial para reduzir a humidade e prevenir interferências nos processos subsequentes. Esta etapa promoveu a conservação do material, facilitando a extração de celulose. Em seguida, foi

realizada a hidrólise alcalina com solução de NaOH a 3% (1:20g/mL) a 90°C por 1 hora, sob agitação. Este tratamento químico visa romper ligações lignocelulósicas, removendo hemicelulose e lenhina, expondo a celulose e promovendo a despolimerização parcial das cadeias. A mistura foi filtrada e lavada com água desionizada até atingir pH neutro, assegurando a eliminação completa de resíduos químicos e impurezas. A fração sólida foi seca em estufa a 80°C durante 3 horas. Por fim, o branqueamento da celulose foi conduzido utilizando solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 2% (1:20g/mL) a 70°C por 1 hora sob agitação contínua. Este processo oxidativo é essencial para remover compostos cromóforos e conferindo uma cor desejável para aplicações nos filmes e protótipos de tampão. A celulose obtida foi filtrada, lavada e seca em estufa a 80°C por 3 horas (Figura A.2).

As partículas de celulose foram caracterizadas através de ensaios de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análise termogravimétrica (TGA) e análise de SEM (Scanning Electron Microscopy). As análises utilizaram como referência o controle positivo de uma celulose microcristalina comercial.

Extração de bioativos de Lavanda

A extração dos bioativos da planta de lavanda foi realizada por um processo de maceração, um método tradicional de extração sólido-líquido. O procedimento consistiu em adicionar a biomassa a água desionizada numa proporção 1:10g/mL, mantendo a mistura sob agitação a 100°C durante 2h. Posteriormente, a mistura foi liofilizada, de forma a se evaporar o solvente e se recuperar o extrato na sua forma sólida.

Análise do teor total de fenóis - Método de *Folin-Ciocalteu*

A determinação do teor total de fenóis realizou-se através do método de *Folin-Ciocalteu*. O procedimento foi baseado em Fernandez-Agullo et al. (2014). Para a análise preparou-se uma solução aquosa do extrato na concentração de 1mg/mL, que foi diluída 10 vezes para obter uma tonalidade clara, garantindo baixa concentração. O reagente de *Folin-Ciocalteu* foi também diluído 10x em condições sem incidência de luz, e preparou-se uma solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) a uma concentração de 75g/L. A mistura para análise foi preparada com a adição de 0,5mL da solução de extrato diluída, 2,5mL da solução de *Folin-Ciocalteu* e 2mL da solução de Na₂CO₃. A mistura foi colocada em banho-maria a 50°C por 5 minutos, seguindo-se de 10 minutos de repouso em ambiente escuro à temperatura ambiente. Como controlo preparou-se uma mistura de iguais proporções, onde se substituiu a solução de extrato por água destilada.

A absorvância das amostras foi medida por espectrofotómetro a 760nm. A cuvete foi limpa com água destilada 3x e, em seguida, as amostras foram inseridas para medição, sendo os valores registados. A curva de calibração (Figura A.3) Erro! A origem da referência não foi encontrada., foi traçada com a leitura das absorvâncias, nas mesmas condições, de soluções de ácido gálico em concentrações conhecidas (1, 10, 20, 30, 40 e 50µg/mL). A reta de calibração, presente na Equação 1, foi determinada por regressão linear e encontra-se representada na Figura 3 do Anexo A. A equação contém um coeficiente de correlação (R²) superior a 0,99. A concentração de fenóis totais é expressa em mg de ácido gálico equivalente (GAE) por grama de extrato seco. A concentração do extrato foi calculada considerando o fator de diluição e a curva de calibração, como expresso na Equação 2.

$Absorv\tilde{a}ncia = 0,0101 \times C (\mu g \text{ GAE}/mL \text{ solu\c{c}\~{a}o}) + 0,0082$	(1)
$C (mg \text{ GAE}/g \text{ extrato seco}) = \frac{Absorv\tilde{a}ncia - 0,0082}{0,0101} \times Fator \text{ Dilui\c{c}\~{a}o}$	(2)

Produção dos produtos menstruais

A produção dos filmes foi realizada explorando as propriedades mecânicas e funcionais do biopolímero de celulose. Inicialmente, preparou-se uma solução de alginato de sódio (0,025g/mL) dissolvendo o alginato em água ultrapura, com agitação e temperatura (50°C). A celulose foi adicionada lentamente a esta solução, em igual proporção. O extrato de lavanda foi incorporado na pasta formada, numa concentração de 0,5%, mantendo-se a agitação por mais 20 minutos. A formação dos filmes realizou-se com a utilização do *knif coater*, onde se controlou a espessura dos mesmos (1, 2 e 3mm). Para tal, a pasta produzida foi depositada numa placa de acrílico e imediatamente espalhada com o aparelho. A reticulação foi promovida pela submersão do filme numa solução aquosa de cloreto de cálcio a 3% durante 1 hora. Posteriormente, substituiu-se a solução de cloreto por água destilada e o filme manteve-se submerso por mais 72 horas. Por fim, os filmes secaram à temperatura ambiente.

A criação dos protótipos de tampão seguiu a mesma metodologia abordada anteriormente, com algumas diferenças: i) quantidade de sólidos total (5, 7,5 e 10%); ii) proporção entre alginato/celulose (1:1, 2:1); iii) tempo de reticulação (1, 3, 5 e 24h); iv) tempo de lavagem (48h); v) forma de impressão cilíndrica com diferentes diâmetros (1,3; 1,7 e 3cm). A reticulação foi igualmente assegurada pela solução de cloreto de cálcio, seguindo-se da lavagem e secagem à temperatura ambiente.

Resultados e Discussão

Extração da celulose da borra de café

Com base no procedimento mencionado previamente, a celulose foi extraída a partir de uma biomassa inicial de 20g. O processo de extração apresentou um rendimento total de 30,23%, dividido em 38,05% na etapa de hidrólise e 79,42% na etapa de branqueamento.

Caracterização das partículas de celulose

A análise de FTIR verificou que a biomassa contém compostos celulósicos e não celulósicos, como ácido clorogénico e cafeína. A Figura 1 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** apresenta os espectros obtidos para as análises da celulose comercial, borra de café e extratos após cada etapa do processo. As bandas presentes em todas as amostras a 2919 e 2850cm⁻¹ indicam a presença e vibração de ligações C-H, presentes em compostos orgânicos, já a banda a 3353cm⁻¹ refere-se à ligação O-H da água. A borra de café apresenta 2 picos característicos da vibração da ligação C=O do ácido clorogénico e da cafeína a 1739 e 1641cm⁻¹ (Luo et al., 2024). Verifica-se também a existência de celulose através da observação de picos a 1151, 1029, 934 e 862cm⁻¹ referentes às ligações C-O, C-O-H em polissacarídeos, C-O-C assimétrica e β-1,4-glicosídica, respetivamente (Lim & Foo, 2024; Luo et al., 2024). Estes picos são característicos de ligações presentes na estrutura da celulose e encontram-se igualmente presentes na celulose comercial.

Observa-se ainda, que após o processo de extração da celulose os picos referentes aos compostos não celulósicos ficaram atenuados, enquanto os picos característicos das ligações presentes na celulose ficaram mais intensos. Esta intensificação prova que o processo de extração foi eficiente em isolar a celulose removendo outros compostos da nossa matéria-prima.

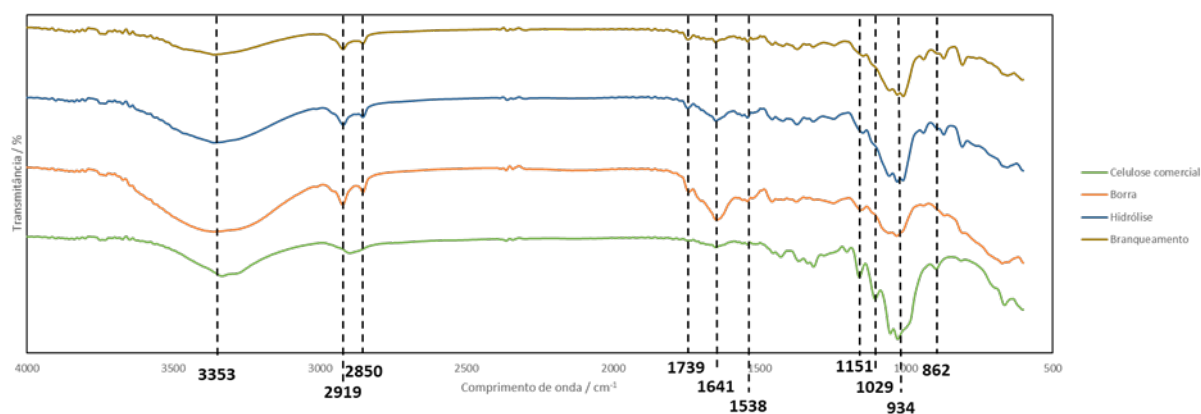


Figura 1. Espectro de FTIR da celulose comercial (verde), borra de café (laranja), extrato após a hidrólise (azul) e extrato final após branqueamento (amarelo torrado).

A análise termogravimétrica apresenta a degradação da amostra, em massa, ao longo do aumento de temperatura podendo-se, desta forma, concluir à cerca da composição das amostras. A Figura 2 apresenta o termograma das amostras de celulose comercial, borra de café e extratos após cada etapa do processo. Pela análise do termograma da celulose comercial observa-se que esta contém cerca de 84% de celulose que se degrada entre os 240 e os 370°C.

Em geral, verifica-se que as restantes amostras apresentam 3 curvas de degradação, a primeira antes dos 100°C refere-se à perda de alguma água presente nas amostras, a segunda referente à degradação da celulose e, por fim, uma curva entre os 400 e 470°C, que se relaciona com a banda de temperatura de degradação da lenhina. Após os 500°C observa-se que as amostras não se degradaram por completo o que indica a existência de matéria inorgânica na sua composição.

Desta forma, concluiu-se que a biomassa contém cerca de 55% de celulose, 17% de lenhina e 27% de cinzas. O aumento gradual da perda de massa a aproximadamente 300°C após os processos de extração verifica a eficiência destes em isolar a celulose a partir de fontes naturais. O processo de hidrólise conseguiu purificar o extrato em celulose removendo lenhina, enquanto o processo de branqueamento foi mais eficiente na remoção de matéria inorgânica. O extrato final contém 66% de celulose, 18% de lenhina e 15% de outros compostos não celulósicos.

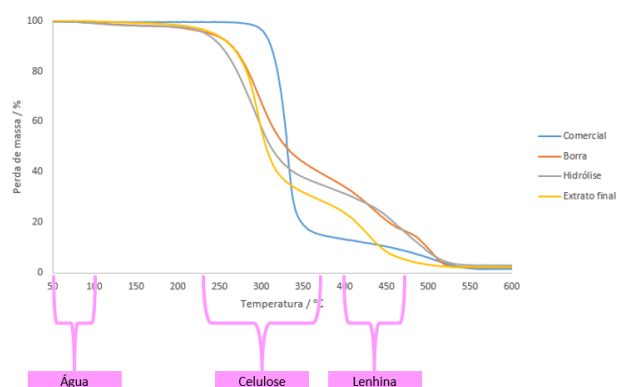


Figura 2. Termogramas da celulose comercial (azul), borra de café (laranja), extrato após a hidrólise (cinzento) e extrato final após branqueamento (amarelo torrado).

O resultado obtido encontra-se de acordo com o estudo prévio encontrado na literatura, onde a celulose foi extraída a partir da borra de café recolhida na China pelas mesmas condições de

hidrólise. Este estudo originou extratos com um conteúdo em celulose entre 60 e 65% e lenhina entre 20 a 25%, intervalos onde se posicionam os resultados obtidos (Luo et al., 2024).

A análise de SEM apresenta a estrutura e morfologia das partículas obtidas. Na Figura 3 encontram-se as imagens obtidas para a celulose extraída (Figuras 3.B, C e D), assim como o controlo da celulose comercial (Figura 3.A). Por observação da figura percebe-se que os dois tipos de celulose contêm estruturas distintas, a celulose comercial apresenta partículas alongadas e estreitas, com tamanhos entre 20 e 90µm. Contrariamente, as partículas de celulose extraídas da borra do café apresentam-se mais robustas e com elevada afinidade para agregação. Os complexos de agregação apresentam tamanhos superiores a 200µm.

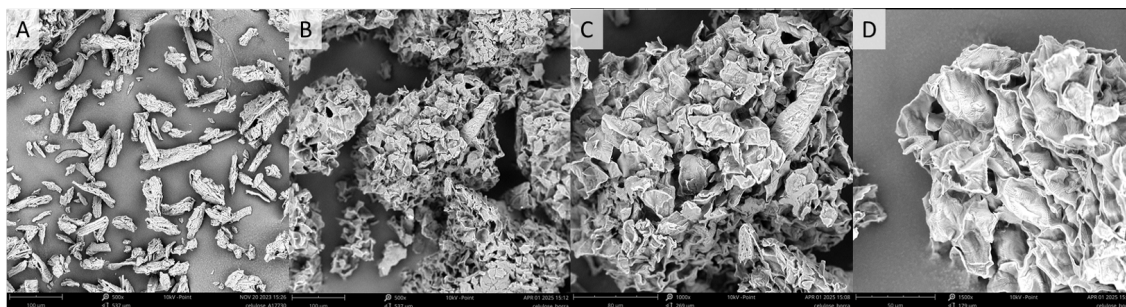


Figura 3. Imagens SEM da celulose comercial com ampliação de 500x (A), e das partículas de celulose obtidas com ampliações de 500x (B), 1000x (C) e 1500x (D).

Extração de Bioativos de Lavanda

O extrato de bioativos obtido pelo método de maceração foi caracterizado pelo método de *Folin-Ciocalteu* quanto ao seu teor em compostos fenólicos. O valor de absorvância medido foi convertido na composição fenólica do extrato através da Equação 2.

O procedimento apresentou um rendimento em fenólicos de 98,91mg GAE/g Lavanda seca e um rendimento em massa de 12,4%. Pode concluir-se que os rendimentos foram bastante positivos. A nível de rendimento mássico, este apresenta-se elevado, uma vez que rendimentos inferiores a 5% foram reportados na literatura, como o valor de 3,27% na extração de bioativos por maceração com água através de folhas de noz da Indonésia (Okselni et al., 2024). Quanto ao rendimento em fenólicos este apresenta um resultado superior ao obtido na extração a partir de folhas de noz, de 36,96mg GAE/g folhas secas (Okselni et al., 2024), mas inferior ao extrato obtido através de um processo de maceração com água a temperaturas elevadas (150 – 210 °C) a partir de folhas de pimenteira, que variou entre 120,10 e 184,99mg GAE/g folhas secas (Ali & Chun, 2025).

Produção de filmes de celulose e protótipos de tampões

Para o desenvolvimento dos produtos propostos foram realizados vários testes de modo a alcançar o melhor resultado. Na produção da camada absorvente dos pensos higiénicos, estudou-se a espessura do filme, o tempo de lavagem e o modo de secagem. Verificou-se que para que o produto final (Figura A.4) fosse maleável a espessura não deveria ser superior a 1mm. Relativamente ao tempo de lavagem do filme após reticulação concluiu-se que tempos superiores provocavam menores mudanças no aspeto dos filmes, pelo que se utilizaram 72 horas de lavagem. Desta forma, o produto final não enrolava, algo que tinha acontecido nos filmes testados com tempos de lavagem inferiores. A secagem mais eficiente ocorreu no ambiente mais inerte possível de modo a diminuir ao máximo a oxidação do filme.

Nos protótipos de tampões (Figura A.5), variou-se a percentagem de sólidos total, a proporção alginato/celulose, o tempo de reticulação e os diâmetros de impressão. Verificou-se que para o produto não diminuir drasticamente o seu tamanho após a secagem, o teor de sólidos teria de ser elevado. Relativamente ao tempo de reticulação conclui-se que tempos superiores mantinham a forma cilíndrica dos produtos. O diâmetro de impressão selecionado foi o maior, uma vez que este produziu protótipos mais realistas. Desta forma, verificou-se que as melhores condições seriam 10% de sólidos, na razão de 1:1 de alginato/celulose, com 24 horas de reticulação, 48 horas de lavagem e um diâmetro de impressão de 3cm.

Realizou-se um teste de absorção com água destilada, onde se observou que os produtos desenvolvidos não possuem capacidade absorvente. Esta diferença com os produtos menstruais de base celulósica poderá estar relacionada com o tipo de celulose obtida, celulose microcristalina, ou com a densa matriz polimérica formada entre o alginato e a celulose. Normalmente, a celulose utilizada nos produtos menstruais convencionais é microfibrilar e encontra-se na sua forma livre e não ligada a outro polímero, como o alginato. Esta matriz robusta ocorre por ligações de hidrogénio fortes entre os grupos hidroxilo (-OH) dos dois polímeros. Esta ligação não deixa grupos livres para a ligação com moléculas de água ($-OH^- + H^+$).

De forma a se comprovar a presença dos 2 extratos obtidos nos filmes produzidos realizou-se uma análise FTIR aos mesmos. Na Figura 4 encontra-se o espetro obtido para os dois extratos e para o filme produzido, encontram-se também representados a laranja os comprimentos de onda que estabelecem a relação entre o extrato de celulose e o filme, a verde os que relacionam o extrato de Lavanda com o filme e a azul os que aparecem nos três espetros.

Analizando os 3 espetros é possível concluir que os filmes produzidos contêm ambos os extratos, pois observa-se que as ligações presentes no filme se encontram divididas entre os dois extratos. Para além disso, a banda a 3300cm^{-1} ficou menos intensa no filme o que poderá estar relacionado com o rearranjo na estrutura do filme causado pelas ligações entre os grupos hidroxilo (Ali & Chun, 2025).

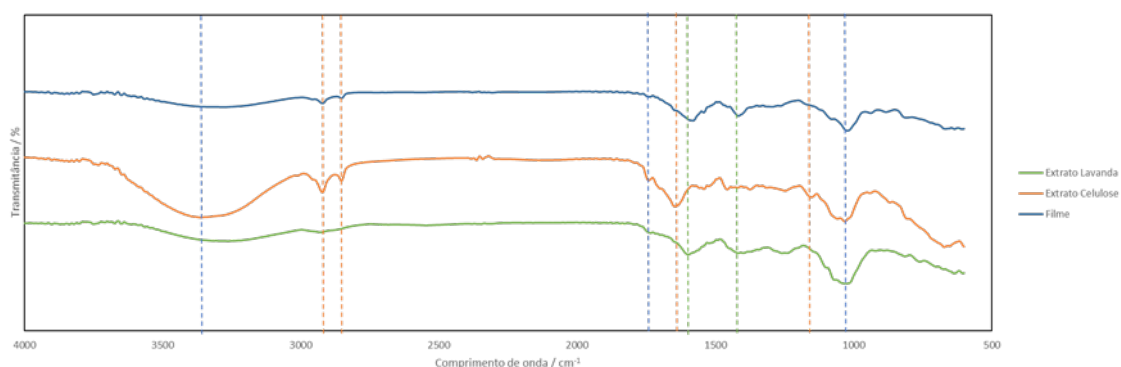


Figura 4. Análise FTIR do extrato de celulose (laranja), filme produzido (azul) e do extrato de Lavanda (amarelo torrado).

Para o efeito da produção de protótipos utilizaram-se pastas de matriz com alginato. No entanto, os resultados demonstram a necessidade de otimização do processo de produção. No futuro, formas de incorporar a celulose sem recorrer ao uso de alginato teriam de ser estudadas, assim como a capacidade absorvente dos produtos.

Conclusão

A celulose foi extraída a partir da borra de café com um rendimento de 30% e uma pureza de 66%. Análises de FTIR e TGA comprovaram a remoção de componentes não celulósicos, assim como a intensificação no conteúdo celulósico.

Compostos bioativos foram obtidos por uma maceração simples a partir da Lavanda com um rendimento mássico de 12% e um rendimento fenólico de 98,9mg GAE/g Lavanda seca.

Os extratos obtidos foram incorporados numa matriz polimérica para a produção de produtos menstruais sustentáveis, com propriedades antifúngicas, antibacterianas e anti-inflamatórias. As condições de produção foram testadas até se encontrarem os parâmetros mais favoráveis, que foram usados para a produção dos protótipos de pensos e tampões. Realizaram-se análises de FTIR para confirmar a presença dos extratos obtidos e estudos de absorção de água para testar a capacidade absorvente dos mesmos. Os produtos não possuem capacidade absorvente o que poderá estar relacionado com o tipo de celulose obtida ou com as ligações de hidrogénio formadas entre os grupos hidroxilo. Desta forma, o objetivo principal foi atingido com a produção de filmes e protótipos de tampões utilizando celulose e compostos bioativos da Lavanda. No entanto, os resultados sugerem a necessidade de uma otimização no processo de desenvolvimento dos produtos, em particular, na remoção do alginato da sua composição.

Tabela de Custos

Reagente	Número CAS	Fornecedor	Custo
Sodium hydroxide (NaOH)	1310-73-2	Fisher	24,85 €/500g
Sodium hypochlorite (NaClO)	7681-52-9	Limpolar	28,04 €/500 mL
Sodium alginate	9005-38-3	VWR Chemicals	126 €/1kg
Calcium chlorite (CaCl ₂)	10043-52-4	Sigma-Aldrich	38,60 E/100 g
Commercial microcrystalline cellulose	9004-34-6	MP Biomedicals	34,80 €/100g

Prestação de serviços	Custo	Tempo de execução	Custo final
TG	100 €/dia	2 dias (~20h)	200 €
FTIR	50 €/h	30 min	50 €
Análise Folin-Ciocalteu	50 €	1 h	50 €

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa gratidão pela oportunidade de trabalhar nos laboratórios, uma experiência enriquecedora e de grande aprendizagem. Um agradecimento especial à Doutora Isabel Martins, à Doutora Andreia Ribeiro e à Engenheira Joana Lains do laboratório SRE/CM do Departamento de Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela paciência, dedicação e pelo valioso conhecimento que nos transmitiram ao longo deste percurso.

Gostaríamos, também, de expressar o nosso agradecimento por todas as oportunidades que nos foram proporcionadas durante este ano letivo pelo nosso estabelecimento de ensino. Agradecemos, especialmente, à professora Luísa Santos que nos ajudou sempre que necessário, nos motivou e inspirou a fazermos o que nunca acreditamos ter capacidade para.

Fazemos um agradecimento a todas as pessoas que menstruam, sabemos que falar sobre menstruação continua a ser um desafio, mas acreditamos que, juntas, estamos a romper tabus e a promover mais conhecimento e bem-estar para todas. Cada conversa, cada experiência compartilhada e cada passo dado em direção ao autocuidado e faz a diferença. Obrigada por fazerem parte desta mudança!

Referências bibliográficas

- Ali, M. S., & Chun, B.-S. (2025). Characterization of chitosan-based packaging film incorporating betel leaves phenolic compounds recovered via subcritical water extraction. *Food Bioscience*, 106125.
- Avendaño-Romero, G., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 87-96.
- Campos, É. d. C., Santana, L. R., & Carreño, N. L. V. (2022). Extração de alginato de sódio da macroalga *Durvillaea antarctica*.
- dos Santos, F. A., Iulianelli, G. C., & Tavares, M. I. B. (2016). The use of cellulose nanofillers in obtaining polymer nanocomposites: properties, processing, and applications. *Materials Sciences and Applications*, 7(5), 257-294.
- Earth, W. s. V. f. t. (2022). *What's In Your Period Product?* <https://womensvoices.org/report-whats-in-your-period-product/>
- Fernandez-Agullo, A., Freire, M. S., Antorrena, G., Pereira, J. A., & Gonzalez-Alvarez, J. (2014). Effect of the extraction technique and operational conditions on the recovery of bioactive compounds from chestnut (*Castanea sativa*) bur and shell. *Separation Science and Technology*, 49(2), 267-277.
- Ferreira, A. R. A. (2014). *Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos* [sn]].
- Jeddi, M., El Hachlafi, N., El Fadili, M., Benkhaira, N., Al-Mijalli, S. H., Kandsi, F., Abdallah, E. M., Ouaritini, Z. B., Bouyahya, A., & Lee, L.-H. (2023). Antimicrobial, antioxidant, α -amylase and α -glucosidase inhibitory activities of a chemically characterized essential oil from *Lavandula angustifolia* Mill.: in vitro and in silico investigations. *Biochemical Systematics and Ecology*, 111, 104731.
- Kumar, S. N., Johnsi, M., Shalini, V. A., Kavitha, N., & Balasubramanian, N. (2024). Cellulose nanofibril separator from *Coffea arabica* waste for supercapacitor applications. *Industrial Crops and Products*, 214, 118459.
- Lim, K., & Foo, K. (2024). Facile preparation of multifunctional cellulose nanocrystals from coffee residue via hydrothermal technique: Prolific roles on the water purification, antibacterial and antifungal applications. *Journal of Water Process Engineering*, 67, 106264.
- Luo, X., Zhou, L., Wang, Y., Xiang, J., Zhang, H., Tao, R., Li, J., Wang, B., & Chen, R. (2024). Spent coffee ground-based cellulose nanofiber/reduced graphene oxide aerogel for efficient solar-driven interfacial evaporation via directional freezing technology. *Industrial Crops and Products*, 214, 118528.
- Marroquin, J., Kiomourtzoglou, M. A., Scranton, A., & Pollack, A. Z. (2024). Chemicals in menstrual products: a systematic review. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 131(5), 655-664.

- Nielsen. (2016). *Café: Consumo de cápsulas aumenta em Portugal*. <https://sol.sapo.pt/2016/04/14/cafe-consumo-de-capsulas-aumenta-em-portugal/>
- Okselni, T., Tasfiyati, A. N., Juliadmi, D., Handayani, U. F., Saputri, A., Dewi, R. T., & Septama, A. W. (2024). An extraction technique to reach the effective radical scavenging constituents from the leaves of Indonesian malva nut tree (*Scaphium macropodum*): A comparative study of maceration, heat-assisted, ultrasound-assisted, and microwave-assisted extraction. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55, 102999.
- Pereira, N. R. L., Anjos, F., & Magnago, R. F. (2019). Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose. *Revista Virtual de Química*, 11(4), 1165-1179.
- Shearston, J. A., Upson, K., Gordon, M., Do, V., Balac, O., Nguyen, K., Yan, B., Kioumourtzoglou, M.-A., & Schilling, K. (2024). Tampons as a source of exposure to metal (loid) s. *Environment International*, 190, 108849.
- Stewart, K., Powell, M., & Greer, R. (2009). An alternative to conventional sanitary protection: would women use a menstrual cup? *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 29(1), 49-52.
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, 9(9), 1621-1651.

Anexo:

- Anexo A