



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

JOÃO GABRIEL MONTEIRO FERREIRA

**PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO DE PÓ MAGNÉTICO PRETO
REVELADOR DE IMPRESSÕES PAPILARES LATENTES A PARTIR
DO CAROÇO DE *EUTERPE OLERACEA*, MART E CAREPA DE
LAMINAÇÃO**

ANANINDEUA

2024

JOÃO GABRIEL MONTEIRO FERREIRA

**PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO DE PÓ MAGNÉTICO PRETO
REVELADOR DE IMPRESSÕES PAPILARES LATENTES A PARTIR
DO CAROÇO DE *EUTERPE OLERACEA*, *MART* E CAREPA DE
LAMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial, para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, da Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus Universitário de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Me. Alacid do S. Siqueira Neves

ANANINDEUA

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

F383p Ferreira, João Gabriel Monteiro

Produção e formulação de pó magnético preto revelador de impressões papilares latentes / João Gabriel Monteiro Ferreira. – Ananindeua, 2024.
55 f.: il.: color., tab.

Orientador: Prof. Me. Alacid do S. Siqueira Neves

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia de Materiais, Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2024.

1. Ciências forenses. 2. Pó revelador magnético. 3. Carvão de açaí. 4. Carepa de laminação. 5. Impressões papilares latentes. I. Neves, Alacid do S. Siqueira. II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 620.11

Bibliotecária Responsável: Ociane Monteiro Ferreira – CRB/2-1318

JOÃO GABRIEL MONTEIRO FERREIRA


**PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO DE PÓ MAGNÉTICO PRETO
REVELADOR DE IMPRESSÕES PAPILARES LATENTES A PARTIR
DO CAROÇO DE *EUTERPE OLERACEA*, MART E CAREPA DE
LAMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial, para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, da Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus Universitário de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará.

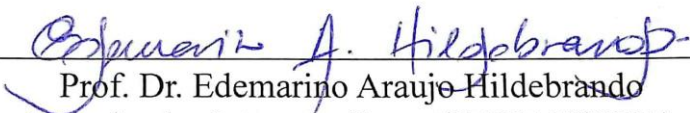
Data da Aprovação: 30/04/2024.

Conceito: Excelente

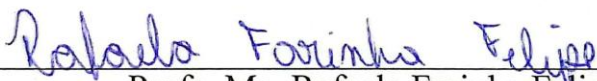
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira Neves
Orientador – Femat/CANAN/UFPA



Prof. Dr. Edemarino Araujo Hildebrando
Examinador Interno – Femat/CANAN/UFPA



Profa. Ma. Rafaela Farinha Felipe
Examinadora Externa – Faci Wyden

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente ao Senhor Jesus Cristo e Nossa Senhora de Nazaré, por me sustentarem nessa longa jornada fazendo que eu possa concluir a graduação mesmo com todas as dificuldades. Agradeço aos meus pais Wylderson Ferreira e Ociane Ferreira, por serem os melhores pais que eu poderia ter, por me ampararem, me sustentarem nos momentos bons e principalmente nos ruins, demonstrando o real significado de amor, eu amo muito vocês! Agradeço também aos meus avós por fazerem parte da minha criação contribuindo nessa jornada e as minhas tias Orilene Monteiro e Odicléia Monteiro que me ajudaram nessa etapa.

Agradeço a Andreza Dias por dividir a vida comigo, e me apoiar durante todos os períodos da graduação e na vida.

Agradeço ao meu Orientador Professor Alacid Neves, por ter embarcado nessa jornada comigo, doando seu tempo, conhecimento e suas experiências para que eu possa ser um excelente profissional, obrigado por acreditar no meu potencial como pessoa e graduando.

Agradeço aos membros da banca, Professor Edemarino Hildebrando e Professora Rafaela Felipe, por fazerem parte da minha caminhada acadêmica e avaliar a nossa pesquisa científica.

Agradeço aos professores, Deibson Costa e Emerson Cardoso, por cederem as dependências do LAMPS e do CATALISE e por todas as conversas ao longo desses anos. Agradeço ao Museu Paraense Emílio Goeldi e ao Professor Hilton Junto com o Denys Ferreira pela paciência na realização das análises microscópicas, ao Aldemir Sotero do Instituto de Geociências (LCM) pelas caracterizações químicas e mineralógicas, a USIMAT por cederem seus colaboradores e seus equipamentos para realização da pesquisa e aos Papiloscopistas Herisson Texeira e Carlos Augusto Júnior por nos ajudarem a desenvolver os testes no laboratório de Papiloscopia da Polícia Civil, meu muito obrigado a todos. Agradecer ao meu amigo Matheus Rodrigues, por me proporcionar a possibilidade de visita ao Laboratório de Papiloscopia da Polícia Civil.

Agradeço os meus amigos do LAFOC, Andrio Pinheiro, Jennifer Pena, Luiz Guilherme, Maria Eduarda, Michele Santos e Rochelle Matos, muito obrigado por todo apoio e amizade, sem vocês essa caminhada seria mais difícil e sem graça. Agradeço aos amigos que a Atlético Mercúrio pode me proporcionar.

Agradeço aos professores e servidores da FEMat pois sem vocês esse curso e todos os Engenheiros de Materiais do *Campus* Ananindeua não existiriam. Externo meus agradecimentos a UFPA, por me proporcionar excelente crescimento pessoal e profissional.

“Demore o tempo que for para decidir o que você quer da vida, e depois que decidir não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir”

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

O pó revelador de impressões digitais é uma das técnicas que compõem as ciências forenses, e uma das mais antigas utilizadas para a identificação humana. Apesar de ser uma técnica de fácil utilização e de bastante aplicação, no Brasil ela esbarra nos altos valores para a importação do pó revelador, fazendo com que a técnica não seja economicamente acessível. Assim, essa pesquisa busca utilizar como matérias-primas, subprodutos que possuam descartes inapropriados ou com pouco reaproveitamento, para que o pó revelador possua um custo de produção mais acessível e para o reaproveitamento de materiais que antes fossem descartados. Por isso, no presente trabalhou buscou-se desenvolver um pó preto magnético, a partir do caroço de açaí, que é um resíduo proveniente do despulpamento do fruto para o consumo, e da carepa de laminação, que é um subproduto pós etapa de lingotamento proveniente das indústrias, e grafite em pó. O produto desenvolvido foi caracterizado através de análises imediatas, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia por Energia Dispersiva (MEV/EDS), Fluorescência de Raios X (FRX), Difractometria de Raio X (DRX). Posteriormente, foram realizados testes para a verificação da qualidade da revelação das Impressões Papilares Latentes (IPL's). Após as caracterizações observa-se que o pó formulado produziu boas revelações de impressões digitais, podendo ser utilizado de modo satisfatório como pó revelador.

Palavras-chave: ciências forenses; pó revelador magnético; caroço de açaí; carepa de laminação; impressões papilares latentes.

ABSTRACT

Fingerprint revealing powder is one of the techniques that make up forensic sciences, and one of the oldest used for human identification. Despite being an easy-to-use and widely applied technique, in Brazil it faces high prices for importing the developer powder, making the technique not economically accessible. Thus, this research seeks to use as raw materials, by-products that have inappropriate disposal or little reuse, so that the developing powder has a more affordable production cost and for the reuse of materials that were previously discarded. Therefore, in the present work we sought to develop a magnetic black powder, from açai cart, which is a residue resulting from the pulping of the fruit for consumption, and mill scale, which is a post-casting stage by-product originating from industries, and powdered graphite. The developed product was characterized through immediate analyses, Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (SEM/EDS), X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffractometry (XRD). Subsequently, tests were carried out to verify the quality of the development of Latent Papillary Prints (IPL's). After the characterizations, it was observed that the formulated powder produced good fingerprint development and can be used satisfactorily as a revealing powder.

Keywords: forensic sciences; magnetic developing powder; açai seed; mill scale; latent papillary impressions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de vucetich	17
Figura 2 – Pontos característicos das impressões digitais	19
Figura 3 – Pincéis para aplicação de pó revelador. a) Pincel magnético, b) Pincel de fibra de vidro, c) Pincel esfregão	20
Figura 4 – Material coletado	23
Figura 5 – Carepa de laminação	25
Figura 6 – Grafite em pó vonder	26
Figura 7 – Fluxograma da metodologia abordada	27
Figura 8 – Processamento das MP's	28
Figura 9 – Euterpe oleracea, mart (caroço de açaí) e partes do reator	29
Figura 10 – Reator produzido para pirolise	29
Figura 11 – Amostras de carvão vegetal de Euterpe oleracea, Mart. a) AM01, b) AM02....	30
Figura 12 – Matérias primas já pulverizadas e com granulometria para a formulação. a) Pó de AM01, b) Pó de AM02, c) CL, d) Grafite em pó	32
Figura 13 – Pinceis com pó revelador. a) Pó produzido, b) Pó comercial utilizado pela PC/PA	36
Figura 14 – O pó revelador. a) Pó revelador 01, b) Pó revelador 02	37
Figura 15 – Material restante da análise de MV	38
Figura 16 – Matéria inorgânica restante após a taxa de aquecimento	39
Figura 17 – Micrografias das MP's. a) AM01, b) AM02, c) CL, d) Grafite em pó	41
Figura 18 – Micrografia do pó revelador. a) Pó 01 b) Pó 02	42
Figura 19 – Gráfico da relação do volume do particulado com a área superficial	42
Figura 20 – MEV/EDS do pó 01	43
Figura 21 – MEV/EDS do pó 02	44
Figura 22 – Difratoograma do pó 01	46
Figura 23 – Difratoograma do pó 02	47
Figura 24 – IPL's Reveladas em vidro. a) Pó 01, b) Pó 02 e c) Pó comercial	48
Figura 25 – Revelação de IPL's em papel A4. a) Pó 01, b) Pó 02, c) Pó comercial cedido pela PC/PA	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Vucetich	18
Tabela 2 – Composição química do caroço de açaí	23
Tabela 3 – Composições dos pós reveladores	31
Tabela 4 – Composição adotada em porcentagem do pó revelador	31
Tabela 5 – Parâmetros de umidade obtidos	37
Tabela 6 – Parâmetros de material volátil	38
Tabela 7 – Parâmetros obtidos do teor de cinzas	39
Tabela 8 – Parâmetros de CF	40
Tabela 9 – Elementos presentes na amostra de pó revelador 01 analisada via EDS	44
Tabela 10 – Elementos presentes na amostra de pó revelador 02 analisada via EDS	45
Tabela 11 – FRX dos pós reveladores	46

LISTA DE ABREVIATURAS

AFIS	Automatic Fingerprint Identification System
AM 01	Amostra 01 de carvão vegetal
AM 02	Amostra 02 de carvão vegetal
CL	Carepa de Laminação
DRX	Difratometria de Raios -X
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
FRX	Fluorescências de Raios -X
INTERPOL	Organização Internacional de Polícia Criminal
IP	Impressões Papilares
IPL	Impressões Papilares Latentes
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MP's	Matérias Primas
PC/PA	Polícia Civil do Estado do Pará
PÓ 01	Pó revelador de impressões digitais formulado com AM 01
PÓ 02	Pó revelador de impressões digitais formulado com AM 02

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 JUSTIFICATIVA	14
3 OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo geral	15
3.2 Objetivos específicos	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 Papiloscopia	16
4.2 O processo de identificação humana	17
4.3 O pó revelador	19
4.3.1 Pó revelador magnético	20
4.4 Interação física	21
4.4 Matérias-primas para produção do pó revelador	22
4.5.1 Carozo de açaí (<i>Euterpe oleracea</i> , Mart)	22
4.5.1.1 O processo de pirolise do carozo de açaí	24
4.5.2 Carepa de laminação	24
4.5.3 Grafite em pó	25
5 METODOLOGIA DA PESQUISA	27
5.1 Metodologia	27
5.1.1 Produção do pó revelador magnético preto	27
5.2 Caracterizações	32
5.2.1 Teor de umidade da amostra	32
5.2.2 Material volátil (MV)	33
5.2.3 Caracterização por teor cinzas (TC)	33
5.2.4 Caracterização por teor de carbono fixo (CF)	34
5.2.5 Micrografia eletrônica de varredura (MEV)	35
5.2.6 Espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS)	35
5.2.7 Fluorescência de raios X (FRX)	35
5.2.8 Difratométrica de raios X (DRX)	36
5.2.9 Teste do empornamento	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 O pó revelador	37
6.2 Teor de umidade da amostra	37
6.3 Material volátil (MV)	38
6.4 Teor de cinzas (TC)	39
6.5 Carbono fixo (CF)	40
6.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	40
6.7 Espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS)	43
6.8 Fluorescências de raios X (FRX)	45
6.9 Difratométrica de raios X (DRX)	46
6.10 Teste do empornamento	47
7 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE – SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	55

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros indícios de impressões digitais como característica individual humana é tão antiga que seus primeiros relatos são datados a partir da pré-história humana, onde já haviam impressões digitais em tijolos neolíticos localizados na Cisjordânia datados há mais de 7000 a.C, que possivelmente foram utilizados para criar um registro de atividade humana. Ao longo de milhares de anos, as análises e estudos a respeito das impressões digitais vieram se aprofundando e desenvolvendo-se (Figini, 2012).

Porém, apenas em 1892 as impressões digitais foram utilizadas pela primeira vez para solucionar crimes, desde então têm sido consideradas de suma importância para a identificação tanto de vítimas quanto de autores de crimes (Souza; Oliveira Neto, 2021).

O processo de revelação de impressões digitais é considerado uma das áreas de mais importância na criminalística, visto que através dessa técnica é possível fazer uma satisfatória identificação da participação de determinado indivíduo na cena de um crime e por tanto é utilizada como referência para o estudo de outros métodos de identificação humana (Figini *et al.*, 2003).

As ciências criminais por meios de procedimentos técnicos-científicos são responsáveis por buscar indícios e provas consistente com respaldo jurídico que garantam a identificação de possíveis infratores, desta forma a perícia criminal possui extrema relevância para a sociedade no geral (Araújo, 2021). As técnicas de identificação de provas criminais vêm em evolução ao longo do tempo, onde a escolha adequada é de fundamental importância, pois permite a identificação em diversas superfícies usando métodos químicos e físicos diferentes (Balsan *et al.*, 2019).

Quando há uma chamada de crime a perícia procura pelas impressões digitais deixadas na cena do crime, que é conhecida como impressões papilares latentes, essa informação encontrada é cruzada com informações em um banco de dados internacional chamado *Automatic Fingerprint Identification System* (AFIS), administrado pela Organização Internacional de Polícia Criminal (INTERPOL), onde os países usuários desse sistema podem identificar criminosos que possam ter cometido crimes internacionais (Interpol, 2020).

Dessa forma, a técnica do empoamento é um método de revelação de impressões papilares latentes utilizada pelas ciências criminais, as quais consistem no uso de um pó que contraste e revele as impressões digitais na cena dos crimes. É importante frisar que existem diversos tipos de pó revelador com características específicas e colorações variadas, e que cada um desses pode ser utilizado em situações criminais específicas (Figini *et al.*, 2003).

Entretanto apesar da sua grande importância para a criminalística esta ciência é pouco abordada pelas Universidades e centros de pesquisas, pelo fato das poucas parcerias com os laboratórios policiais e os poucos incentivos financeiros no setor, justificando a baixa produção científica na área, não formando uma rede de pesquisas abrangente (Treiber; Leta, 2022).

O Brasil ocupa a 14^o posição mundial quando se trata de pesquisa científica forense, correspondendo a cerca de 1,5% de toda produção no mundo, onde países como China, Estados Unidos, Inglaterra, Índia e Austrália produzem juntos cerca de 75% de toda produção forense mundial (Souza; Oliveira Neto, 2021).

Dessa maneira, escolheu-se a carepa de laminação e o produto resultante da pirolise do caroço de açaí, que são materiais em abundância na região norte do país, para a produção de pó revelador magnético preto, sendo uma alternativa de menor valor, ambientalmente correta e corroborando para a produção científica forense brasileira.

2 JUSTIFICATIVA

Os pós reveladores de impressões digitais são um dos métodos mais utilizados nas análises forenses, devido ao custo relativamente baixo em comparação a outros métodos e sua eficiência na revelação das impressões digitais.

O Brasil faz uso da importação de pós reveladores para que os criminalistas possam fazer as análises das cenas criminais, tornando-se assim um material com alto valor agregado e pouca disponibilidade no mercado.

Em consoante a análise, a grande disponibilidade dos resíduos de caroço de açaí estão presentes em abundância na região metropolitana de Belém e parte das vezes não possuem destinação inadequada e poucas pesquisas na área para formulação de pó revelador.

Já a carepa de laminação, resíduo industrial do processo de aquecimento dos lingotes de aço da aciaria, possui pouca disponibilidade para múltiplos usos de pesquisas e de reaproveitamento desse material.

Dessa forma, justifica-se a pesquisa pela necessidade de alternativas viáveis para esses resíduos e pela pouca disponibilidade de informações a respeito da formulação e produção de material revelador de impressões digitais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal a produção de um pó revelador negro com características magnéticas a partir da pirolise do caroço de açáí (*Euterpe oleracea Mart*) e adição de Carepa de Laminação (resíduo da indústria siderúrgica) e grafite em pó.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar a temperatura de pirólise na qualidade do pó revelador
- Realizar caracterizações físico-químicas das matérias-primas (MP's) e do produto final.
- Verificar a morfologia das matérias-primas (MP's) e do produto final.
- Verificar o processo de aderência e adesão em superfícies horizontais de papel A4 e vidro convencional.
- Analisar a qualidade das revelações das Impressões Papilares Latentes (IPL's).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente tópico iremos contextualizar o tema proposto dentro do campo de estudo das ciências criminais, mais especificamente a papiloscopia e datiloscopia, dando embasamento e fundamentação teórica visando orientar a metodologia da pesquisa para a realização prática dos experimentos posteriores.

4.1 Papiloscopia

A palavra Papiloscopia deriva do greco-latino (papila = papila; Skôpein = examinar), sendo assim, a ciência da identificação humana a partir da pesquisa e análise a respeito das papilas dérmicas e das cristas de fricção epidérmicas. Dessa forma, estuda a identificação de indivíduos por meio dos desenhos existentes nas faces internas dos dedos das mãos e pés que ficam impressos em superfícies através do contato (Silva,2016).

Diante dos diversos métodos de identificação humana a papiloscopia se tornou um dos mais utilizados por possuir bases científicas e princípios sólidos como a perenidade, imutabilidade, variabilidade e classificabilidade que mesmo com os desgastes ao longo da vida, seja pelo trabalho exercido ou por acidente, confere aos seres vivos impressões digitais únicas e que não podem ser trocados ou alteradas, tornando assim uma ciência exata que desde meados do século XX é reconhecida como prova material, sendo aceita por todos os tribunais no mundo (Figini, 2012).

O objeto de estudo da papiloscopia se divide em três grandes áreas, datiloscopia que analisa as impressões digitais que é formada pelos dedos das mãos, a quiroscopia que estuda a as impressões palmares, que são formadas pela palma da mão, e a podoscopia que trata dos desenhos formados pela planta e dedo dos pés (Figini, 2012).

Pelo fato das análises papiloscópicas serem delicadas, é necessário que se mantenha um cuidado nas cenas criminais e na coleta de material para que não haja danos nas provas obtidas, seguindo assim procedimentos expressos em leis específicas que norteiam as áreas de atuação (Aguiar Filho; Maciel, 2021).

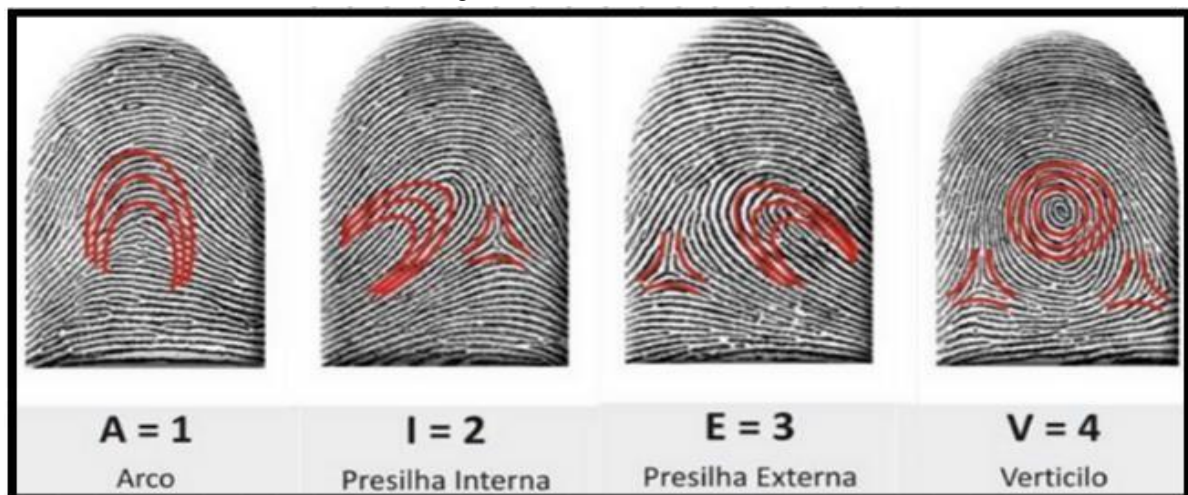
4.2 O processo de identificação humana

A pele é uma membrana que recobre a superfície do corpo humano, sendo dividida em basicamente duas partes: a derme e a epiderme, onde a segunda é a parte mais externa, que recobre a derme, na primeira estão localizadas as papilas, que são pequenos relevos sanguíneos que ajudam no tato. Outros elementos que podem ser observados na pele, são as glândulas sebáceas, sudoríparas, que são responsáveis pela excreção da gordura e do suor do corpo humano, podem ser encontrados também as estrias, vales e poros (Maia, 2012).

As cristas papilares são partes fundamentais da pele humana, sendo encontradas nas partes plantares e palmares do corpo humano. É na epiderme que as cristas papilares e os sucros interpapilares são formados dando origem assim aos desenhos digitais, mais conhecidos como impressões digitais (Maia, 2012). Assim, as impressões digitais são marcas únicas de cada indivíduo que são deixadas impressas sobre a superfície que é tocada através de resíduos de suor, gordura, aminoácidos e proteínas (Oliveira; Correia, 2018).

O antropólogo, policial e inventor Juan Vucetich, em 1891 criou o sistema datiloscópico que é até os dias de hoje usado como base para análises de ciência forense, em tese o método divide as impressões digitais em três sistemas: basilar, marginal e central (BBC, 2023). Os tipos de impressões variam e são determinadas a partir do delta, que são triângulos formados pelas cristas papilares. O delta é a base do sistema de Vucetich, caso as impressões não apresentem delta, são definidas como arcos, caso o delta fique à esquerda são presilhas externas, caso fiquem à direita são presilhas internas e caso apresentem dois deltas e um círculo central é o verticilo (Wenceslau, 2019). A Figura 1 mostra a simplificação desse sistema.

Figura 1 – Sistema de vucetich.



Fonte: Wenceslau, 2019

Existem quatro princípios básicos que ajudam nos processos de identificação humana através das impressões digitais, entre eles, a perenidade o qual indica que as cristas e sucros que compõem as impressões permanecem os mesmos desde a vida intrauterina até a decomposição do indivíduo, a imutabilidade no qual as cristas não se modificam conforme os anos mantendo sua disposição original, a variabilidade no qual a probabilidade de dois seres humanos possuírem os mesmos desenhos datiloscópicos nas extremidades dos dedos é extremamente baixas e pôr fim a classificabilidade que é a capacidade de agrupar em um sistema de arquivos de forma simplificada permitindo a consulta facilitada, que ajuda de forma significativa as áreas de identificação civil e criminal (Poletti, 2021). Assim a Tabela 1, demonstra o que foi proposto por Vucetich.

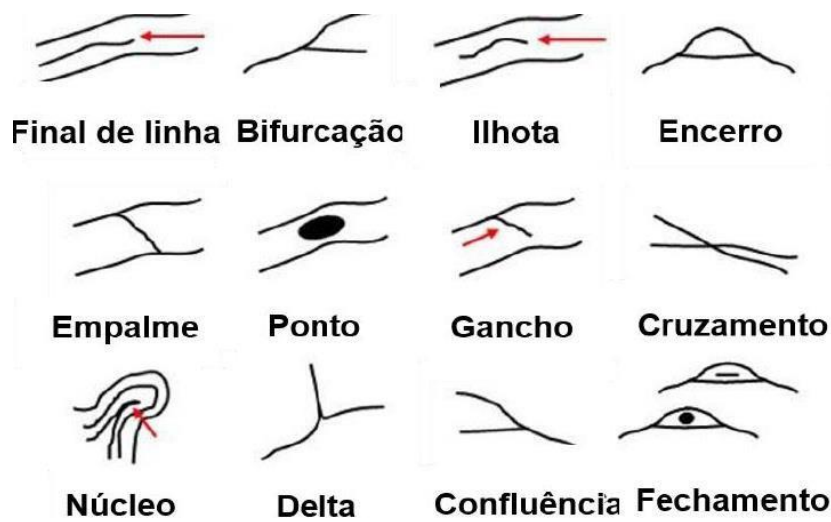
Tabela 1 – Classificação de Vucetich.

Arco	Presilha Interna	Presilha Externa	Verticilo
Impressão digital composto por um sistema de linhas que vão de uma extremidade a outra no dedo com ausência de delta.	Sistema datiloscópico que possui um delta a direita do observador e um sistema de linhas que parte da extremidade esquerda do dedo até o centro do núcleo voltando ou tendendo a voltar ao local de partida	Sistema datiloscópico que possui um delta a esquerda do observador e um sistema de linhas que parte da extremidade direita do dedo até o centro do núcleo.	É o desenho da impressão digital composto por linhas que ficam retorcidas no meio do núcleo normalmente formando circunferências e contendo a presença de dois deltas, um em cada extremidade do dedo.

Fonte: Adaptado de Poletti, 2021.

Além das quatro classificações fundamentais, formuladas por Vucetich, é possível notarmos perturbações fisiológicas naturais, que podem ser descritos como pontos característicos ou minúcias e que ajudam no processo de identificação (Cabalero, 2012). A Figura 2, demonstra alguma dessas perturbações fisiológicas.

Figura 2 – Pontos característicos das impressões digitais.



Fonte: Poletti, 2021.

4.3 O pó revelador

A técnica do empoamento é utilizada desde o século XIX, e consiste na aplicação de material com granulometria adequada, sob a superfície e em seguida a retirada do excesso de material, fornecendo uma boa visibilidade e definição das impressões digitais. Essa técnica baseia-se nas interações, químicas, físicas e mecânicas entre o pó aplicado e a superfície em questão (Leitzke *et al.*, 2022). O princípio básico da revelação das impressões digitais é que o pó revelador possua um contraste de cor com a superfície aplicada (Cabalero, 2012).

Existem pós de diversas cores, formatos e composições químicas, onde cada um deve ser utilizado em circunstância adequada, onde o tipo de material, a orientação e a cor da superfície influenciam na escolha do revelador mais adequado (Carvalho *et al.*, 2021).

Em geral ao se falar de pós reveladores, existem quatro tipos, os regulares, metálicos, luminescente e termoplástico. Segundo Figini *et al.* (2003), no Brasil são utilizados predominantemente pó branco a base de carbonato de chumbo e o pó preto a base de negro de fumo, podendo haver certas variações de acordo com os componentes utilizados, sendo possível encontrar pós cinzas, dourados e prateados.

A Figura 3 demonstra uma comparativo dos pincéis utilizados para a revelação das IPL's.

Figura 3 – Pincéis para aplicação de pó revelador. a) Pincel magnético, b) Pincel de fibra de vidro, c) Pincel esfregão.



Fonte: Carvalho *et al.*, 2021.

O pincel magnético possui um ímã que propicia a interação com as partículas e a superfície, o pincel de fibra de vidro é mais utilizado para pó metálicos e o pincel esfregão é indicado para pós regulares (Carvalho *et al.*, 2021).

4.3.1 Pó revelador magnético

O pó revelador magnético é aquele que possui algum teor de ferro em sua composição, conferindo-lhe características magnéticas, geralmente acrescidos de material não magnético que ajudam na revelação e na distinção de cores o que possibilita vasta utilização (Figini *et al.*, 2003).

Sua aplicação é feita de forma diferente dos pós convencionais, pois é usado um bastão magnético que atrai as partículas ferrosas, formando as “cerdas” que ajudam a revelar as impressões digitais (Champod *et al.*, 2004). Por isso, é necessário que as partículas que compõem o pó revelador sejam pequenas, para que o ímã acoplado na ponta periférica do pincel, atraia as partículas ferrosas e os coloríficos, que não foram aderidas pelos substratos presentes na IPL's, ajudando na revelação (Silva, 2016).

O uso de pó magnético evita a escovação que é feita pelos pinceis convencionais, diminuindo assim o atrito, preservando as linhas formadas pelas digitais, porém é uma técnica de difícil aplicação em superfícies horizontais (Champod *et al.*, 2004). Sua aplicação é extremamente eficiente em superfícies porosas ou aquelas em que uma grande contaminação pode prejudicar a cena de crime.

O pó revelador magnético possui um alto valor agregado, visto que esse material não é produzido no Brasil e sim importado dos Estados Unidos e da Europa. Segundo a empresa americana Arrowhead Forensics (c2024), empresa que comercializa produtos de ciências forenses, 1 onça que é o equivalente a 29 gramas de pó revelador preto magnético é comercializado por cerca de US\$ 8,51 dólares, o que na cotação atual daria aproximadamente R\$ 45,00 reais. Cerca de 1000g do produto ficariam em torno de R\$ 1.5551,72, porém esses valores não incluem taxa de frete, taxas de importação, dentre outras, o que certamente aumentariam mais ainda este valor.

4.4 Interação física

A revelação das IPL's é baseada em reações físico-químicas entre as impressões deixadas nas superfícies e os agentes químicos e/ou pelo processo de adesão física com os agentes reveladores (Vandivel; Nirmala; Ambukumaran, 2021). Em geral ocorre um processo de adesão mecânica do pó com os resíduos úmidos e oleosos presentes nas IPL's, onde a ocorrência de reações químicas só foi ser estudadas mais profundamente a partir do século XXI, com a introdução de matérias nano particulados (Bleay, 2018).

A interação das partículas com a superfície ocorre através da relação atrativa de *Coulomb*, que descreve as forças elétricas entre partículas carregadas eletricamente. Dessa forma as IPLS's podem possuir cargas elétricas que contribuem para a adesão do pó com a superfície propiciando uma melhor revelação (Carvalho *et al.*, 2021).

O contato dos pinceis convencionais com a superfície durante o empouamento tende a eliminar parcialmente a carga elétrica que as IPL's possam possuir, assim dificultando ainda mais a revelação das digitais (Bley, 2018). Espera-se que a revelação das digitais sejam melhores com o Pó Magnético, devido a aplicação não ser feita com pincéis de cerda e sim com um específico.

Outro aspecto importante é que quanto menor for a partícula maior será sua área superficial proporcional ao tamanho da mesma partícula. Dessa forma, uma certa quantidade de partículas menores teria maior área superficial em relação a uma única macro partícula, assim as regiões

superficiais são de grande interesse por sua instabilidade termodinâmica favorecendo assim a reatividade química e as interações intermoleculares. Por possuírem maior energia livre essas regiões tornam-se altamente reativas e particularmente favoráveis aos processos de adesão (Carvalho *et al.*, 2021).

4.5 Matérias-primas para produção do pó revelados

As matérias primas utilizadas na produção do pó revelador magnético possuem características distintas com propriedades e funções específicas dentro da realização experimental, dessa forma busca-se entender de forma mais individual cada uma delas e os diferentes processos no qual essas foram submetidas.

4.5.1 Caroço e açai (*Euterpe oleracea Mart*)

O fruto do açai é muito comercializado na região norte do país, sendo bastante consumido como bebidas e base para produção de diversos alimentos. No ano de 2017 o Pará esteve como maior produtor de açai do país, com cerca de 1.274,056 de toneladas, outros estados como Amazonas aparecem em seguida, porém com números bem menos expressivos (Ferreira, 2019).

Para a comercialização do produto é necessário a retirada da polpa do fruto restando apenas o caroço propriamente dito, esse resíduo gerado muita das vezes não possuem uma destinação correta, dessa forma acabam parando nos rios e esgotos das cidades. Atualmente muitas vezes resíduos são destinados para oficinas de artesanatos no qual são transformados em bijuterias, movimentando a economia circular, outro destino é a utilização como fonte de combustível em indústrias de materiais cerâmicos, porém não é suficiente para suprir toda demanda necessária (Ferreira e Silva, 2021). Dessa forma, existem diversas pesquisas da utilização de caroço de açai como biomassa, fertilizantes e a utilização das suas fibras como material de reforço em compósitos entre outros. A Figura 4, demonstra o caroço de açai despulpado que foi coletado.

Figura 4 – Material coletado



Fonte: Autor, 2024.

Observa-se na Tabela 2, que os compostos celulose, hemicelulose e lignina quando somados apresentam altos teores de carbono e hidrogênio em suas moléculas, o que contribui de forma significativa no poder calorífero, demonstrando que o caroço de açaí pode ser utilizado como carvão obtido pelo processo de combustão ou pelo processo de pirolise. O carvão do caroço possui diversas aplicações porém poucas aplicações nas ciências forenses, dessa forma, busca-se utilizar suas propriedades para produção de pó revelador, sendo um substituto do negro de fumo, visto que ambos são sólidos amorfos e possuem um alto teor de carbono, cor idêntica (preto), e a possibilidade de trabalhabilidade do tamanho de partícula, que são características do negro de fumo, contando que o carvão do caroço de açaí é um produto derivado de reciclagem, mais barato e menos nocivo ao meio ambiente (Facci, 2022).

Tabela 2 – Composição química do caroço de açaí

Celulose	34,41%
Umidade	13,60%
Hemicelulose	12,26%
Extrato Alcoólico	9,32%
Lignina	7,72%
Proteínas Brutas	4,34%
Extrato Estéreo	3,01%
Extrato Aquoso	2,80%
Cinzas	1,34%

Fonte: Adaptado de Silva, 2021.

4.5.1.1 O processo de pirólise do Carvão de Açai

O processo de pirolise do carvão vegetal, diferentemente da combustão, decorre através do aquecimento do Carvão de Açai, ou de outra fonte energética, sob atmosfera com teor de oxigênio reduzido, onde a degradação térmica desse material ocorrer sob condições controladas de oxigênio, transformando assim a matéria em carvão vegetal. Trata-se de um processo de oxirredução onde uma grande parte da biomassa é convertida em carbono, uma parte é transformada em gases e a terceira parte é oxidada (Sato, 2018).

Consiste em um aquecimento gradativo a temperaturas que podem variar entre 350°C a 500°C (Ferreira e Silva, 2021). É possível observarmos que alguns autores podem elevar essa temperatura a algo entre 550°C a 600°C, que é o caso do presente trabalho.

De forma geral, o processo de pirólise ocorre em três etapas, sendo a primeira (1ª) entre 120 a 300 °C, a biomassa passa pelo processo de desidratação, perda de água pela elevação da temperatura, e dá-se início a etapa de degradação da lignocelulose, dando início a formação de radicais livres provenientes da ação térmica sobre o oxigênio do ar e das moléculas, assim como das impurezas. A segunda etapa (2ª) ocorre entre 300 e 600 °C, onde há liberação de alcatrão (substância escura, que advém da destilação de matéria orgânica), os quais podem ser liberados ou reagir com outras moléculas presentes. Ainda na segunda etapa em temperaturas entre 500 e 600 °C, os radicais livres podem ficar presos nos poros do material aumentando seu potencial de reatividade, nessa etapa há liberação de massa na forma de materiais voláteis sendo a causa principal da perda de rendimento dos sólidos. E por fim, a terceira (3ª) e última etapa onde ocorre a temperaturas acima de 600 °C, havendo transferência de massa e calor, nessa fase ocorre a liberação de Nitrogênio, Oxigênio e Hidrogênio gerando maior produção de gases, fazendo com que a concentração de Carbono aumente na biomassa (Sato, 2018).

4.5.2 Carepa de laminação

A carepa de laminação é considerada um coproduto das indústrias de laminação e lingotamento de barras metálicas, que é gerada a partir da oxidação superficial do aço submetido a processos severos de mudanças de temperatura, meio corrosivo ou ação do tempo (Castro, 2021).

Segundo a NBR 10004/2004, as carepas são classificadas como resíduos classe I, ou seja, um resíduo perigoso, com sua composição variando de acordo com a composição do

aço que é trabalhado. Em geral, possui alto teor de óxido de ferro que são gerados pelos processos de oxidação (Felipe, 2019).

Existem diversos estudos a respeito das aplicações das carepas, geralmente nos ramos de produção de cerâmicas, estudos siderúrgicos e compósitos, porém pouco se entende a aplicação das carepas nos estudos papiloscópicos.

Por possui características metálicas que lhes conferem caráter magnéticos e coloração escura, as carepas foram utilizadas no presente trabalho como a gente metálico na produção de pó revelador magnético preto, pois é ela quem irá conferir o caráter magnético ao pó revelador. A Figura 5, demonstra a carepa de laminação utilizada no presente estudo.

Figura 5 – Carepa de laminação



Fonte: Autor, 2024.

4.5.3 Grafite em pó

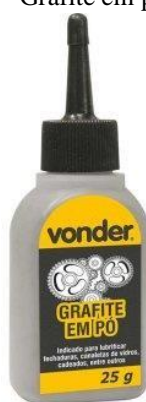
O grafite é um material formado predominantemente por Carbono em sua forma alotrópica estável. O grafite é formado pelo empilhamento de folhas de grafeno. É um semimetal, uma vez que sua cor varia do cinza escuro ao preto, além de possuir um brilho semimetalico. Suas características físico-químicas, como: alta temperatura de fusão, baixo coeficiente de atrito, baixo coeficiente de expansão térmica, boa condutividade elétrica e de calor, clivagem, ductibilidade sobre larga faixa de temperatura, efeito lubrificante, flexibilidade, plasticidade, quimicamente inerte e não toxica; qualificam o grafite para inúmeras aplicações industriais (Mendes, 2022).

As variações do grafite são determinantes para suas aplicações, podendo ser de origem natural ou sintética. O grafite de origem de origem natural tem três diferentes formas físicas; sendo a primeira a microcristalina ou amorfa, no qual apresenta uma cor terrosa, e com teor de carbono variando entre 60 e 85%; a segunda forma é conhecida como “flake” ou flocos cristalinos, que são encontrados normalmente nas rochas metamórficas e ígnea, com um teor de carbono maior que 85 %. E para finalizar, a “lump” é a forma natural mais rara é encontrado

em veios cristalinos bem definidos ou acumulados em pacotes ao longo dos contatos intrusivos entre pegmatitos e calcário, entre todas as formas naturais, apresenta o maior teor de carbono, superior a 90% (Palacio; Reis, 2020).

Existem diversos grafites em pó, que são comercializados, o grafite em Pó Vonder, (Figura 6) possui concentrações de grafite que variam entre 70% a 100% de pureza é um pequeno teor de quartzo não superior a 25%, sendo comercializado na cor preta e possuindo um brilho semimetálico (Grafite, 2019), essas características podem ajudar na revelação das impressões digitais, agindo como aglutinante nas partículas magnéticas.

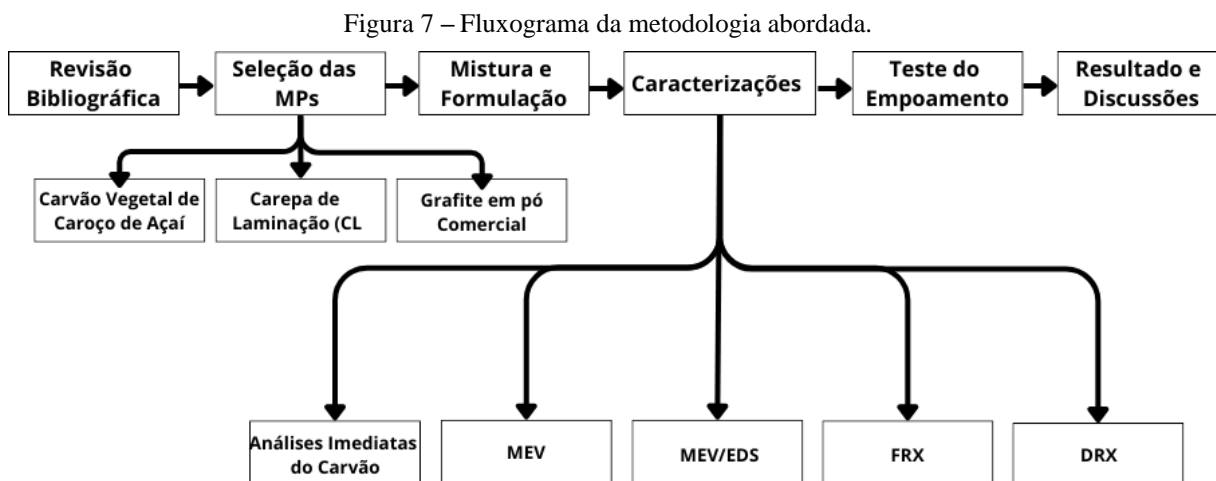
Figura 6 – Grafite em pó vonder.



Fonte: Vonder

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

A Figura 7 demonstra um fluxograma da metodologia abordada para a produção do trabalho científico.



Fonte: Autor, 2024.

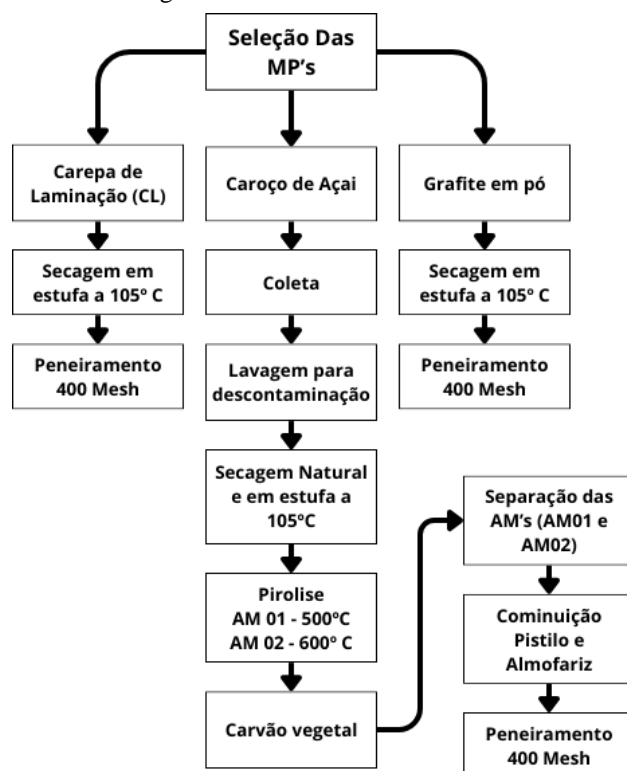
5.1 Metodologia

O processo metodológico do presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica em livros de referência, artigos e trabalhos acadêmicos, para o entendimento da prática experimental que será executada para a produção do pó revelador. Fluxogramas e figuras serão utilizados para aprofundar o entendimento e do assunto abordado.

5.1.1 Produção do pó revelador magnético preto

A produção do pó revelador negro magnético passa primeiramente pela seleção das matérias-primas e pela produção do carvão da *Euterpe Oleracea Mart*, planta nativa da região Norte conhecida popularmente como açai, esse processo é mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Processamento das MP's.



Fonte: Autor, 2024.

A *Euterpe oleracea*, Mart foi coletada da região metropolitana de Belém de um ponto de produção, ao todo foram coletados 7 kg do caroço de açaí, após a coleta foram feitas cerca de cinco lavagens prévias para a retirada de resíduos e impurezas presentes, havendo uma perda de massa de aproximadamente 250 g, passando para 6,750 kg. A matéria prima lavada foi previamente secada de forma natural por 7 dias, após a secagem natural pesou-se novamente o material, indicando uma perda de massa, passando para 4,938 kg. A Figura 9 mostra o caroço de açaí após os processos descritos anteriormente pronto para ser levado ao forno mufla para o processo de pirólise.

Figura 9 – *Euterpe Oleracea, Mart* (caroço de açaí) e partes do reator.



Fonte: Autor, 2024.

O material passou em uma estufa por cerca 24 horas a temperatura de 105°C, conforme Serrão *et al.* (2021), para que ocorra a evaporação dos líquidos presentes passando a ter massa de 3,422 kg.

Após todos os processos de secagem, houve a necessidade de produção de reatores para serem inseridos na mufla para a ocorrência da pirólise da *Euterpe Oleracea, Mart*, como evidencia a Figura 10.

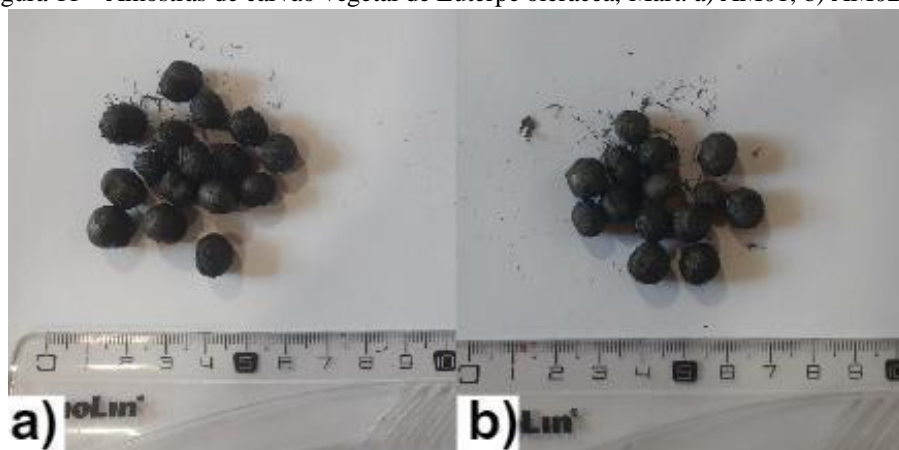
Figura 10 – Reator produzido para pirólise.



Fonte: Autor, 2024.

As amostras foram separadas em duas, AM01 e AM02, mostradas na Figura 11 (a), (b) e levadas ao forno mufla em temperatura de 500 e 600°C respectivamente por 2 horas para que ocorra a pirólise completa da matéria orgânica restando apenas o material carbono sólido provenientes do processo (Santos, 2022; Correa *et al.*, 2018).

Figura 11 – Amostras de carvão vegetal de *Euterpe oleracea*, Mart. a) AM01, b) AM02



Fonte: Autor, 2024.

Após a etapa de pirolise o carvão foi cominuído com o auxílio de pistilo e almofariz, para cominuir o material, em seguida, a amostra foi peneirada utilizando uma peneira de 60 mesh/250 microns, afim de selecionar a menor granulometria para posteriores análises imediatas do carvão vegetal utilizado, em seguida as AM's foram armazenadas em recipientes hermeticamente fechados, seguindo os procedimentos conforme a ASTM D2013/D2013M – 12 que tratam das práticas padrões para a preparação de amostras de carvão vegetal para análise.

Em consoante ao processo acima, as carepas de laminação, resíduos provenientes das indústrias siderúrgicas, foram levados a estufas em temperatura de 105°C por 24 horas, para retirada de umidade presente e passaram por peneiramento.

Todas as MP's passaram por seleção granulométrica através de peneiramento a seco. Segundo Champod (2004) entre 10 e 25 micrômetros seria a granulometria ideal para a formulação, para Gurbuz *et al.*, (2015) o ideal seria entre 57 e 67 micrometros, para que pudesse haver uma boa revelação em superfícies mais porosas, dessa forma, foi utilizado o material passante da peneira de 400 mesh da série tyler (38 micrometros), pois é uma granulometria intermediaria entre as já citadas em literaturas anteriores a fim de se obter uma granulometria similar para todas as matérias primas e que essa granulometria não apresentasse problemas de revelação em questão de porosidade do papel e do vidro (Vandivel; Nirmala; Ambukumaran, 2021). Posteriormente foram feitas mistura das MP's para formulação do pó revelador.

Após os processos de obtenção das MP's, baseou-se nas composições mencionadas por Figini *et al.* (2003, p. 37-38) e Figini (2012, p. 147-148), para as dosagens e formulação. A Tabela 3 demonstra as formulações citadas por Figini, no qual o negro de fumo foi substituído por carvão vegetal de caroço de açaí, a carepa de laminação foi utilizada como o agente

liberador de óxidos de ferro, conferindo características magnéticas ao pó revelador mais a adição de grafite em pó para características de fixação.

Tabela 3 – Composições dos pós reveladores

Pó revelador	Materiais Primas	Porcentagem
Negro de Fumo	Negro de fumo em pó	70%
	Grafite em pó	20%
	Acácia em pó	10%
Negro de Fumo	Negro de fumo em pó	60%
	Resina em pó	23%
	Terra de Fuller	17%
Pó de óxido de ferro	Óxido de ferro	50%
	Resina	25%
	Negro de fumo em pó	25%

Fonte: Adaptada de Figini *et al.*, 2003; Figini, 2012.

Na Tabela 4 observa-se, a composição adotada, para a formulação do pó revelador, tendo como base a Tabela 3.

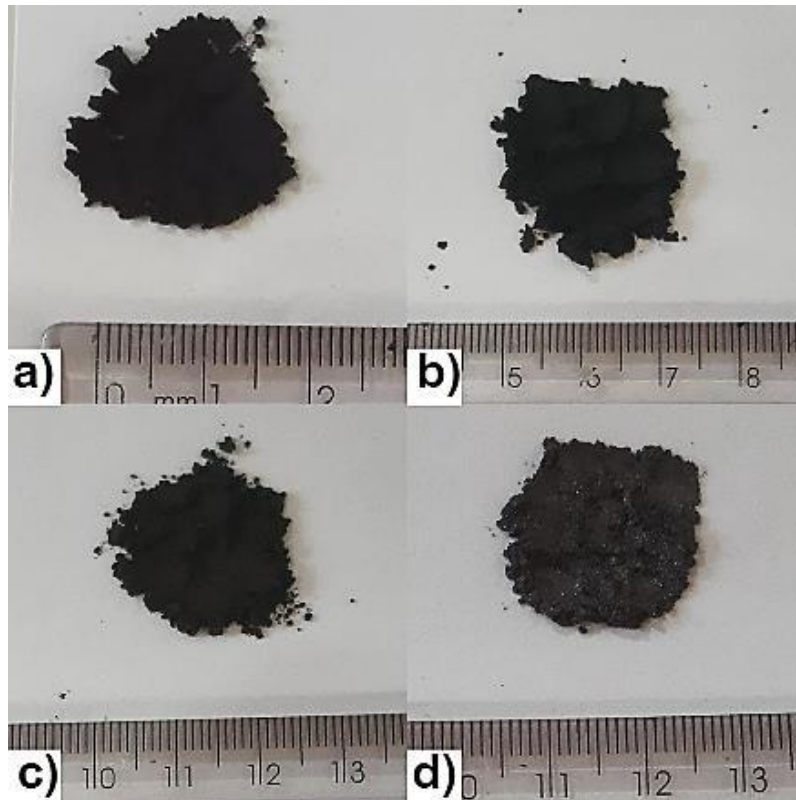
Tabela 4 – Composição adotada em porcentagem do pó revelador

Matéria Prima	Composição (%)
Carepa de laminação	40
Carvão vegetal	35
Gravite em pó	25

Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 12 a, b, c, d podem ser observadas as matérias-primas Pó de AM 01, Pó de AM 02, CL, Grafite em pó respectivamente, já pulverizadas e na granulometria citada para a posterior mistura.

Figura 12 – Matérias primas já pulverizadas e com granulometria para a formulação. a) Pó de AM01, b) Pó de AM02, c) CL, d) Grafite em pó



Fonte: Autor, 2024.

Após todos os processos de produção as caracterizações feitas foram de teor de umidade, material volátil, carbono fixo, teor de cinzas, MEV, MEV/EDS, DRX, FRX das matérias primas e do produto final, para um melhor entendimento da composição dos materiais e posterior teste de empornamento do pó para revelação das IPL's.

5.2 CARACTERIZAÇÕES

5.2.1 Teor de umidade da amostra

Para a determinação de teor de umidade é necessário a utilização da amostra previamente preparada. A amostra deve ser inserida em uma estufa com a temperatura uniforme a 105°C por cerca de 24 horas, em seguida as amostras devem ser levadas ao dessecador para que possam ser resfriadas sem absorver umidade, após essa etapa elas devem ser pesadas, a realização do processo baseou-se na norma ASTM 3173- 00.

Para o cálculo da umidade utilizou-se a Equação 1 abaixo:

$$UM \% = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A = peso da amostra utilizada, g

B = peso da amostra após secagem em estufa, g

UM = Umidade

5.2.2 Material volátil (MV)

Para realização da análise é necessário pesar 1g do carvão de caroço de açaí, e transferi-lo para um cadinho de porcelana previamente pesado e colocá-lo em forno mufla aquecido a temperatura de $950^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, após a inserção na forma é necessário a redução da temperatura para exatos 950°C , permanecer dentro da mufla por aproximadamente 7 minutos, é necessário retirar o cadinho do forno para o resfriamento dentro do dessecador e pesar em balança analítica.

A realização do processo experimental baseou-se na norma ASTM 3175-07 e para o cálculo do teor de material volátil na amostra utilizou-se a Equação 2:

$$MV \% = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A = peso da amostra utilizada, g

B = peso da amostra pós aquecimento na mufla, g

MV = Material Volátil

5.2.3 Caracterização por teor cinzas (TC)

Para determinação de cinzas de carvão, é necessário a utilização do forno mufla apresentando circulação de ar adequada e que seja capaz de ter sua temperatura regulada de 700

a 750°C. A temperatura em toda a área de trabalho do piso do forno deve ser mantida dentro dos limites de temperatura especificados.

Em seguida é necessário pesar entre 1g da amostra de carvão do caroço de açaí e transferir a amostra pesada para um cadinho de porcelana com tampa, para evitar absorção de umidade, previamente calcinado resfriado e pesado, e incinerar o cadinho sem tampa com a substância com aumento de temperatura gradativo, de tal forma que dentro de 1 hora a temperatura esteja entre 450° a 500°C, o aquecimento deve persistir de tal modo que ao final da 2 hora a temperatura da mufla alcance cerca 700° a 750°C, o aquecimento deve persistir por mais duas horas até que a temperatura final seja de 950°C em um total de 4 horas, por fim após a retirada do cadinho de porcelana é importante tampa-lo e utilizar um dessecador para o resfriamento adequado e por fim pesar a amostra.

Para calcular a porcentagem do teor de cinzas é necessário utilizar a Equação 3:

$$TC \% = \left[\frac{(A - B)}{C} \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A = peso da cápsula, tampa e resíduo de cinzas, g

B = peso da cápsula vazia e tampa, g

C = peso da amostra de análise utilizada, g

TC = teor de cinzas, g

Toda metodologia apresentada para análise de cinzas está de acordo com a norma ASTM D 3174 – 04, que determina o método de teste padrão para Cinza na Amostra de Análise de Carvão e Coque (Serrão *et al.*, 2021).

5.2.4 Caracterização por teor de carbono fixo (CF)

A análise por carbono fixo é um valor calculado, baseando-se na ASTM D 3172 – 89. A formula é expressa pela Equação 4 abaixo.

$$CF = 100 - [(UM \%) + (TC \%) + (MV\%)] \quad (4)$$

CF = Carbono fixo

UM % = Teor de Umidade

TC % = Teor de Cinzas

MV % = Teor de Material Volátil

5.2.5 Micrografia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi a técnica escolhida para a análise da morfologia das partículas, que compõem o pó revelador, visto que, os formatos dessas partículas interferem diretamente nos processos de adesão do pó com a superfície a ser empoadada.

A análise foi feita através de Microscópio Eletrônico de Varredura MIRA3, da Tesclan, utilizando a técnica de Elétron Secundário.

5.2.6 Espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS)

A técnica de EDS foi utilizada primordialmente no Pó revelador 01 e 02, já que sua formulação essencialmente é feita a partir de três matérias primas distintas, e para que as composições químicas em certos pontos fossem estudadas e que sua relação com o processo de revelação das impressões papilares latentes fosse entendida.

Para essas análises utilizou-se a Técnica do Elétron Retroespelhado para a geração das micrografias e o software OXFORD Instruments, para o entendimento das composições químicas em pontos escolhidos.

5.2.7 Fluorescência de raios X (FRX)

A técnica de Fluorescência de Raios X, foi utilizada para o melhor entendimento das composições químicas predominantes nos pós reveladores, para isso utilizou-se do espectrômetro WDS seqüencial, modelo *Axios Minerals* da marca PANalytical, com tubo de Raios-X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e máximo nível de potência 2,4 KW.

Os resultados obtidos foram comparados a outras análises feitas para o melhor entendimento das propriedades do pó revelador.

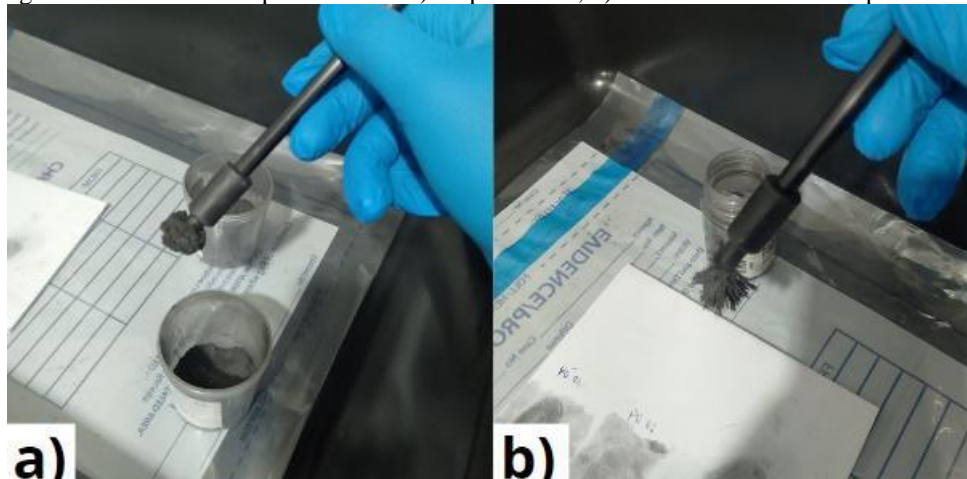
5.2.8 Difractometria de raios X (DRX)

A Difractometria de Raios X é uma técnica utilizada para a identificação de fases mineralógicas presentes em dadas amostras. A técnica foi utilizada para dar suporte e embasamento nas análises feitas em relação aos minerais existentes no material.

5.2.9 Teste do empoamento

Esse teste consiste na aplicação do pó revelado sob a superfície que se quer analisar com o auxílio de pincel magnético, para isso é necessário magnetizar a ponta do pincel que irá em contato com o pó, a Figura 13 ilustra o processo, em seguida passar as “cerdas” formadas com leveza sob a superfície para que as IPL’s não sejam danificadas no processo, sendo essa uma das vantagens da aplicação com pincel magnético (Carvalho *et al.*, 2021), em que se faz necessário a verificação da qualidade da revelação após cada aplicação, para em seguida as revelações serem fotografadas e comparadas com banco de dados. A realização da análise foi feita no laboratório papiloscópico da polícia civil do Pará e contou com o auxílio de Papiloscopistas especializados.

Figura 13 – Pinceis com pó revelador. a) Pó produzido, b) Pó comercial utilizado pela PC/PA



Fonte: Autor, 2024.

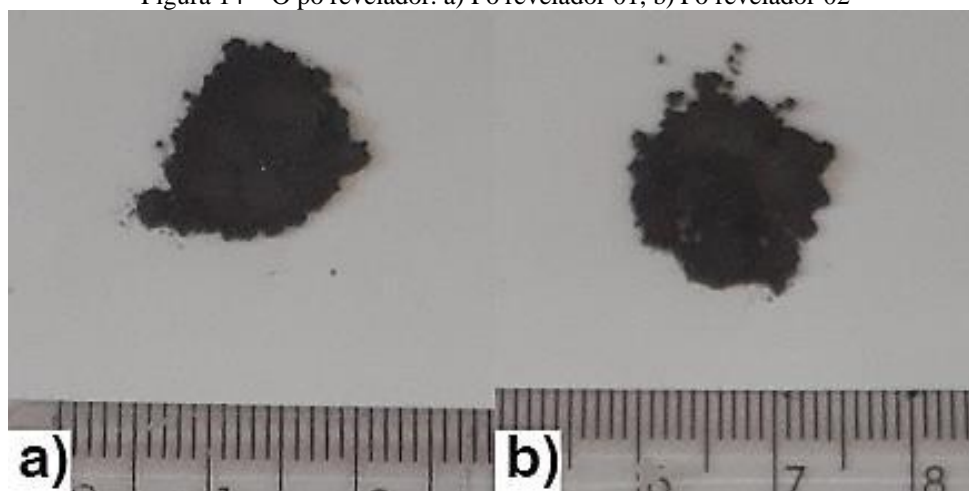
As impressões coletadas foram de dois doadores e foram depositadas na superfície de forma recente e em seguida coletadas, não havendo espaço de dias ou horas entre as IPL's e a coleta feita.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 O pó revelador

Após os processos de produção o resultado da formulação do pó revelador pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 – O pó revelador. a) Pó revelador 01, b) Pó revelador 02



Fonte: Autor, 2024.

Pelas análises visuais dos pós é possível observar uma baixa granulometria e coloração condizente com as matérias-primas utilizadas, assim se enquadrando na categoria de Pó revelador magnético preto.

6.2 Teor de umidade da amostra

O teor de umidade presente nas amostras de carvão vegetal está descrito na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Parâmetros de umidade obtidos	
Amostras	Umidade da amostra (%)
AM 01	2,395 ± 0,70
AM 02	3,093 ± 0,14

Fonte: Autor, 2024.

Em ambos os resultados é possível observarmos um baixo teor de água presente na amostra em comparação a outros materiais celulósicos de acordo com Oliveira *et al* (2016). Essa baixa umidade pode ser atribuída as diversas etapas de secagem e às altas temperaturas de pirolise no qual o caroço de *Euterpe oleracea*, Mart foi submetido.

Essa análise é de fundamental importância para encontrar o teor de carbono fixo presente na amostra.

6.3 Material volátil (MV)

O teor de Material Volátil nas amostras é descrito na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Parâmetros de Material Volátil.

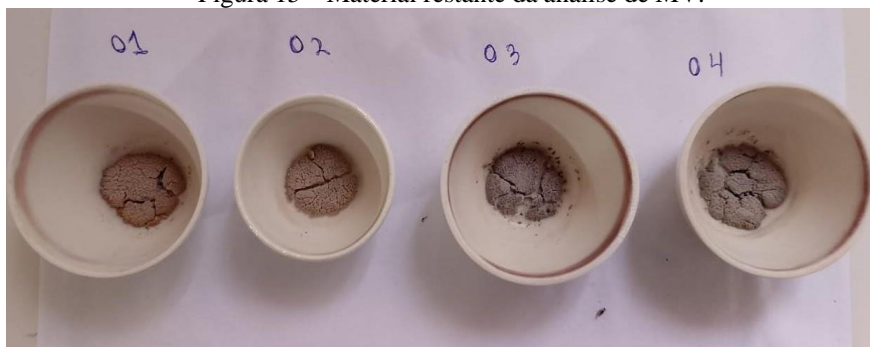
Amostras	Material Volátil (%)
AM 01	4,233 ± 0,34
AM 02	4,936 ± 1,05

Fonte: Autor, 2024.

O baixo coeficiente de materiais voláteis presentes na amostra se dá pelo fato que no processo de pirólise no qual o caroço de açaí foi submetido a maioria desses compostos são eliminados em temperaturas que variam entre 110° a 370° C, no qual o material em questão foi submetido a temperaturas de 500° e 600° C, dessa forma restando poucos compostos voláteis (Bentes, 2017).

Com a perda acentuada de voláteis é possível percebermos que se trata de uma matéria rica em carbono. O resultado final da análise pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Material restante da análise de MV.



Fonte: Autor, 2024.

6.4 Teor de cinzas (TC)

Após o processo experimental o teor de cinzas presente nas amostras de carvão vegetal estão descritas na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Parâmetros obtidos do teor de cinzas.

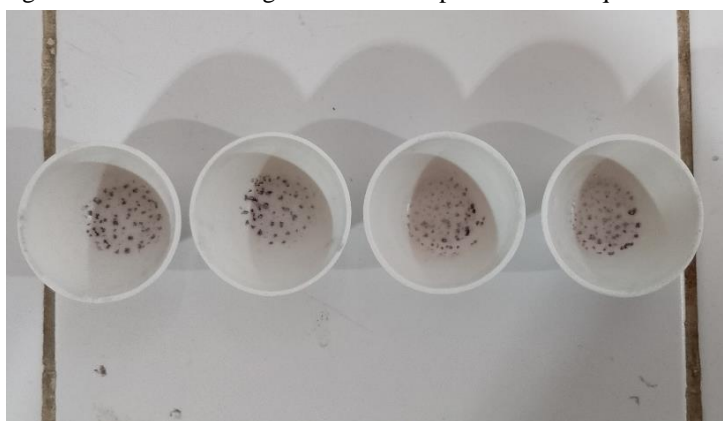
Amostras	Teor de Cinzas (%)
AM 01	3,387 ± 00
AM 02	3,990 ± 00

Fonte: Autor, 2024.

É possível observarmos valores para o teor de cinzas bem próximo entre as duas amostras que foram pirolisadas, fazendo com que a mudança de apenas 100°C no tempo de pirolise não influencie significativamente nas cinzas presente no material, toda via é possível notarmos uma significativa perda de massa do material que é associada a decomposição da celulose, hemicelulose e lignina, tanto pelo processo de pirolise quanto pelas altas temperaturas que a amostra é submetida, restando assim apenas resíduos inorgânicos (Bentes, 2017).

A alta presença de matéria orgânica com a predominância de carbono em sua composição ajuda no processo das ligações químicas entre a superfície engordurada com o pó revelador. A Figura 16 demonstra o resultado final da análise o qual o carvão vegetal foi submetido.

Figura 16 – Matéria inorgânica restante após a taxa de aquecimento.



Fonte: Autor, 2024.

6.5 Carbono fixo (CF)

Na Tabela 8 a seguir pode ser observado o teor de Carbono Fixo encontrado nas amostras de carvão vegetal utilizada, para a relação do Carbono com o processo de adesão das partículas com a superfície.

Tabela 8 – Parâmetros de CF.

Amostras	Cadinho	CF (%)
AM 01	01	89,833
AM 01	02	90,137
AM 02	03	88,931
AM 02	04	87,030

Fonte: Autor, 2024.

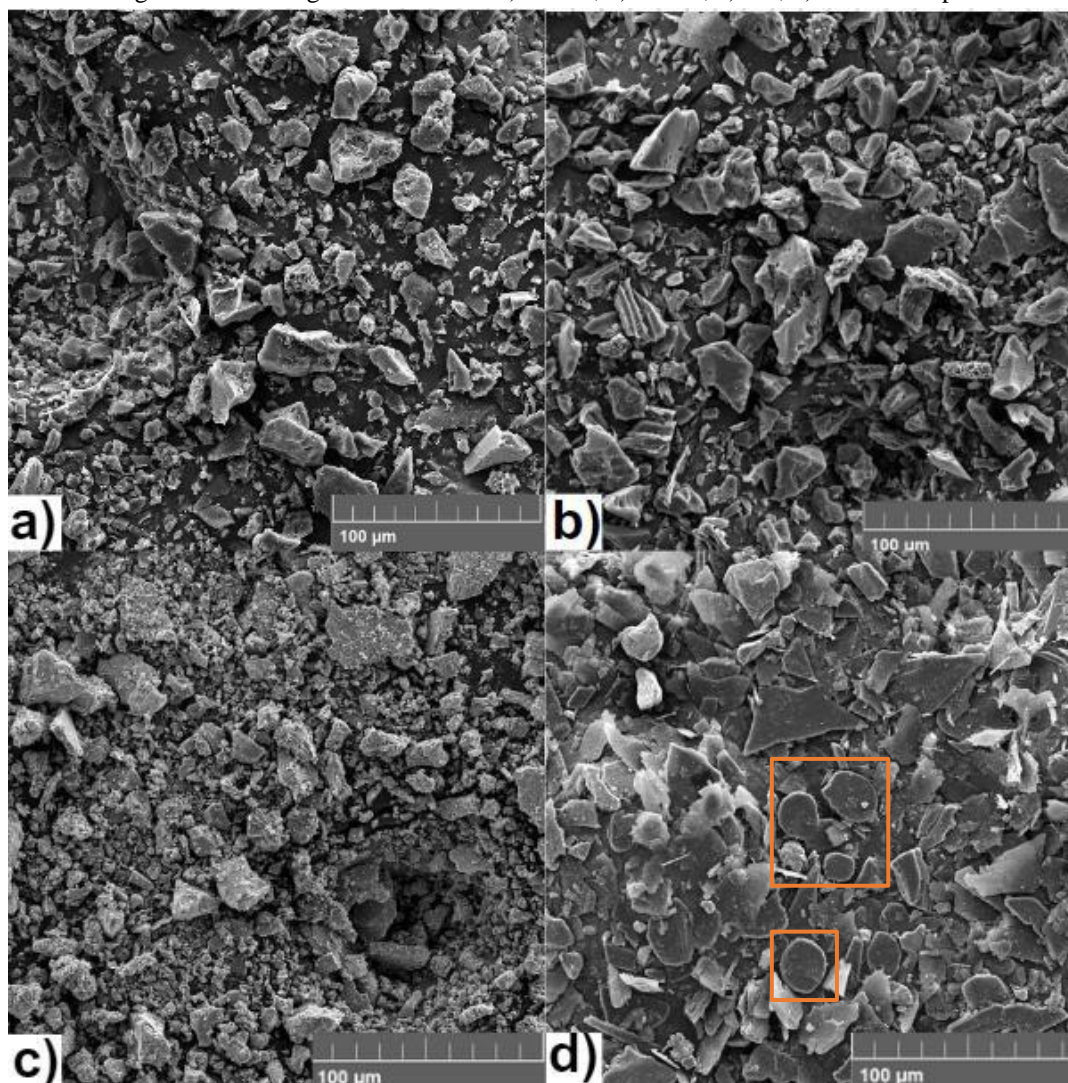
Nota-se que ambas as amostras de carvão vegetal que foram utilizadas para a fabricação do pó revelador, possuem uma alta concentração de Carbono, todos os parametros a cima de 87%. Essa análise é de suma importância pois o Carbono interage com os componentes orgânicos que estão presentes nas impressões digitais.

O Carbono presente no carvão vegetal e o Carbono dos compostos orgânicos das substâncias secretadas, que são formadas nas glândulas sebáceas, ecrinas e sudoríparas, interagem entre si formando ligações covalente, ou seja, ligações fortes e estáveis que tendem a melhorar a revelação das cristas papilares que estão incrustadas nas superfícies, para que sejam fotografadas e utilizadas como objeto de comparação com as impressões digitais disponíveis em bancos de dados (Silva, 2016).

6.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Através das microscopias obtidas, Figura 17, com ampliação de 100 micrometros é possível observar o formato bastante irregular das partículas, tanto das matérias primas quanto do produto final. Esse fato pode ser atribuído ao processo de moagem manual em que tanto a carepa quanto o carvão vegetal foram submetidos, o que não é visto no grafite em pó, onde pode-se observar a predominância de particulado esférico e regular (marcação laranja), já que o produto foi adquirido comercialmente e passou apenas pela seleção granulométrica através de peneiramento a seco.

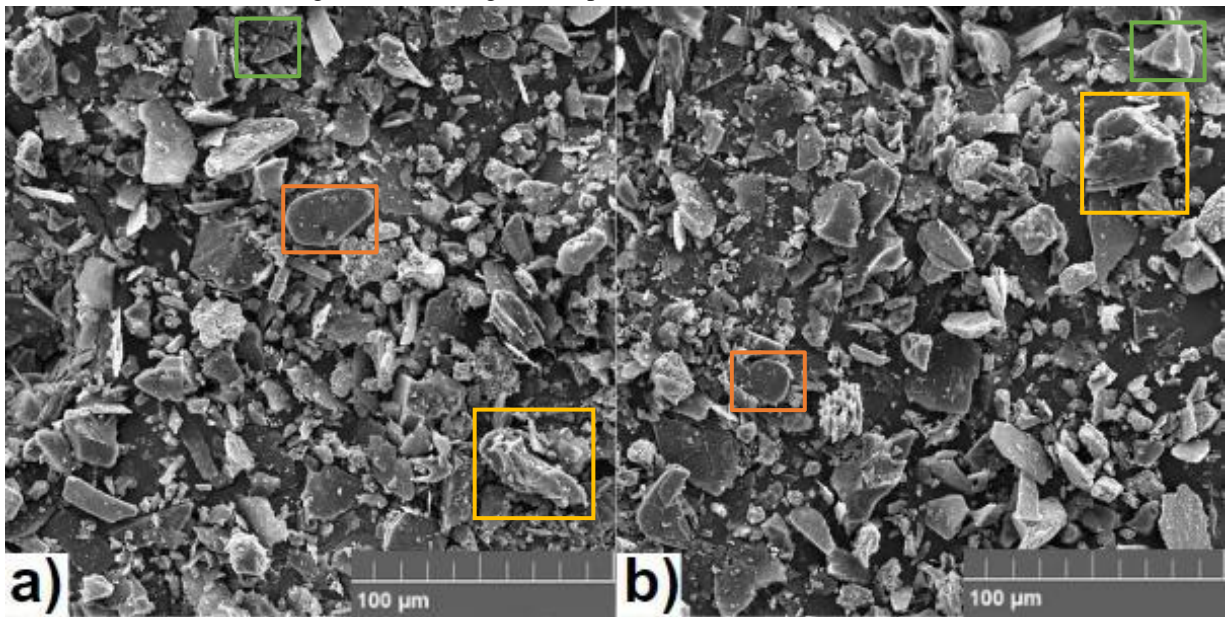
Figura 17 – Micrografias das MP's. a) AM01, b) AM02, c) CL, d) Grafite em pó.



Fonte: Autor, 2024.

É possível observar na Figura 18, as micrografias dos pós reveladores formulados, é factível notar a presença de particulados irregulares (marcados de amarelo), onde não é possível definirmos uma forma regular exata e uma menor presença de particulados esféricos (marcados de laranja), que podem ter advindo do grafite em pó comercial, propiciando assim uma melhor aderência das partículas com a superfície, visto que quanto maior o formato arredondado das partículas menores são suas áreas superficiais. Outro aspecto importante é que quanto maior for a partícula menor sua área superficial (Carvalho *et al.*, 2021). Pelos aspectos visuais é possível percebermos a relação do formato das partículas com a qualidade da revelação das impressões. Através das marcações verdes é possível observarmos formatos piramidais ou triangulares o que ao comparamos com a Figura 19, mostra uma melhor área superficial de contato.

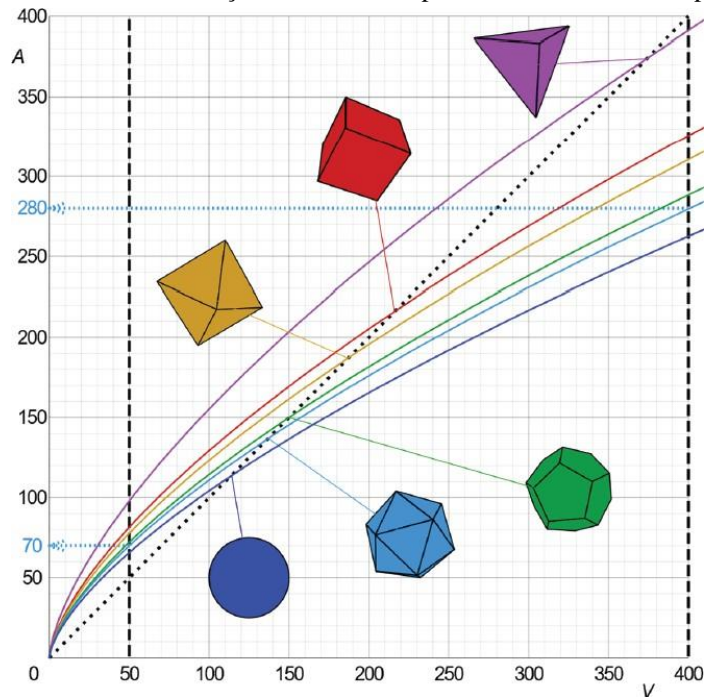
Figura 18 – Micrografia do pó revelador. a) Pó 01 b) Pó 02.



Fonte: Autor, 2023.

É possível observar a teoria proposta através da Figura 19, em que se pode visualizar um gráfico da relação do volume da partícula com a sua área superficial. Dessa forma, é possível observar que quanto mais esférica é a partícula menor será sua área (Carvalho *et al.*, 2021).

Figura 19 – Gráfico da relação do volume do particulado com a área superficial.



Fonte: Carvalho *et al.*, 2021.

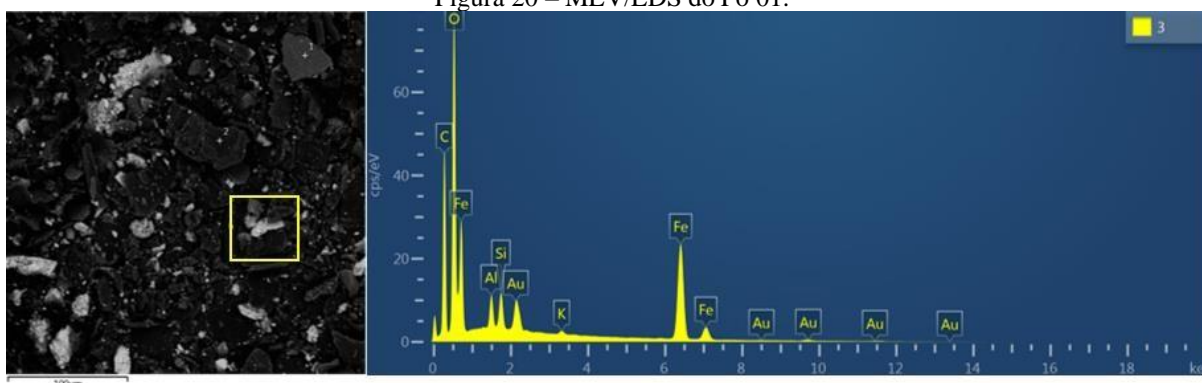
É importante ressaltar que partículas menores e mais finas tendem a aderir as superfícies de formas mais eficiente em comparação a partículas maiores e mais grosseiras (Vandivel; Nirmala; Ambukumaran, 2021).

6.7 Espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS)

Pelo fato dá formulação do pó revelador possuir matérias-primas distintas com composições químicas diferentes é necessário saber os elementos químicos predominantes presente dentro de uma dada quantidade de amostras, dessa forma é possível entender a relação dos elementos presentes com a funcionabilidade do material formulado. É importante frisar que a inserção da presença de ouro na análise deve ser desconsiderada pelo fato de a fita para realização da caracterização possuir ouro.

A Figura 20, demonstra um gráfico com a composição química presente no ponto destacado do pó revelador 01, é possível observarmos a predominância do Carbono que é proveniente tanto do carvão do caroço de açaí quanto do grafite em pó e uma alta concentração de Ferro proveniente da carepa de laminação. Os pontos foram escolhidos de forma aleatórias para que que seja feita a avaliação da homogeneização dar partículas de ferro e carbono por toda a amostra de pó revelador.

Figura 20 – MEV/EDS do Pó 01.



Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 9, mostra o peso em porcentagem dos elementos presente na amostra no ponto em questão que foi analisado.

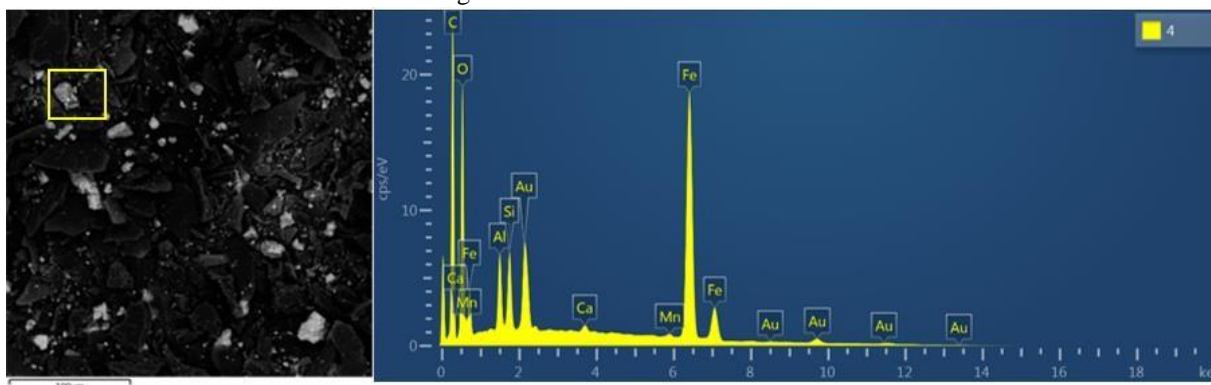
Tabela 9 – Elementos presentes na amostra de pó revelador 01 analisada via EDS.

Elementos	Peso (%)
C	36.62
O	36.07
Fe	24.86
Al	1.13
Si	1.12
K	0.21

Fonte: Autor, 2024.

A Figura 21, demonstra a composição química presente na amostra de pó revelador 02, assim como no pó 01 é possível observarmos uma alta presença de Carbono e Ferro na amostra. Novamente os pontos foram escolhidos de forma aleatório, porém em comparação com a amostra 01 é possível notar uma maior presença de ferro, o que pode ser atribuída que no momento da análise o ponto escolhido pode ter sido de uma partícula com maior predominância de CL.

Figura 21 – MEV/EDS do Pó 02.



Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 10, mostra o peso em porcentagem dos elementos presente na amostra de pó revelador 02 no ponto em questão que foi analisado.

Tabela 10 – Elementos presentes na amostra de pó revelador 02 analisada via EDS.

Elementos	Peso (%)
Fe	39.69
C	37.43
O	18.95
Al	1.71
Si	1.60
Mn	0.38
Ca	0.25

Fonte: Autor, 2024.

Em ambas as amostras a alta concentração de Ferro ajuda na revelação das impressões digitais devido suas características magnéticas fazendo com que o pó revelador não seja um pó comum e sim magnético.

A presença de outros elementos químicos presentes em ambas amostras novamente podem ser atribuídas a carepa de laminação. É importante ressaltar que as duas amostras tiveram valores significativos de Carbono e Ferro, associados as matérias primas utilizadas.

6.8 Fluorescências de raios X (FRX)

A Tabela 9, mostra as composições químicas presentes tanto no Pó 01 quanto no Pó 02. Os resultados obtidos corroboram com o EDS das amostras, visto que o alto teor de Ferro é dado através de óxidos de ferro, que está associada a hematita e a magnetita contidas na CL (Felipe, 2019). É possível notar que o alto teor de oxigênio mostrado no EDS, é oriundo da alta presença de óxidos mostrados no FRX. A elevada perda ao fogo (PF) que varia entre 48% a 52% pode estar associada ao carvão vegetal utilizado que por possuir um alto teor Carbono em sua composição, são volatilizados na perda ao fogo. É importante salientar que em ambas as análises é possível observar a presença de ferro, através de óxidos e a presença de carbono pode ser indicada pelo alto valor da PF nas amostras, o que poderá favorecer uma melhor revelação das IPI's.

Tabela 11 – FRX dos pós reveladores.

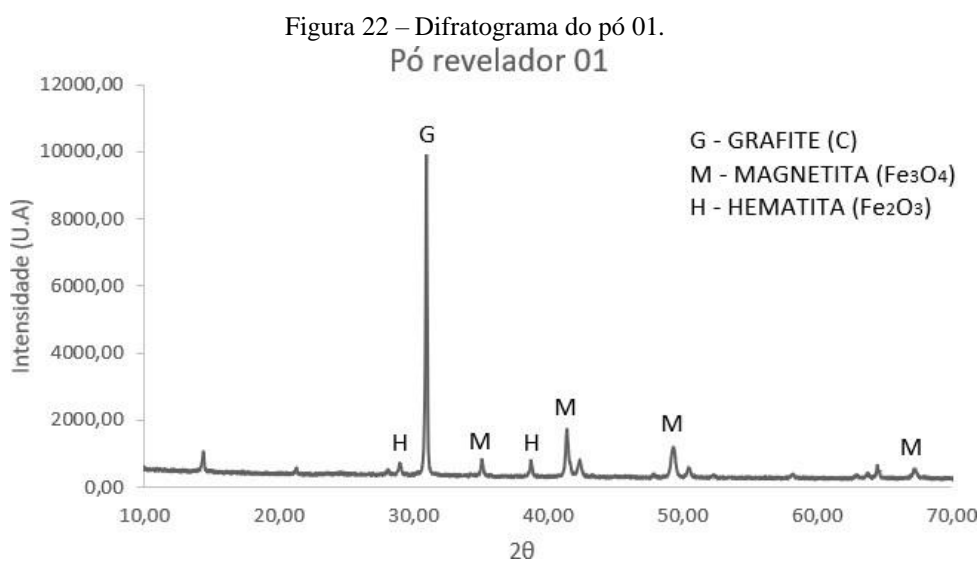
PÓ 01		PÓ 02	
Comp.	%	Comp.	%
Fe ₂ O ₃	40,5	Fe ₂ O ₃	36,2
SiO ₂	4,6	SiO ₂	5,2
Al ₂ O ₃	3,4	Al ₂ O ₃	3,9
K ₂ O	0,69	K ₂ O	0,80
CaO	0,61	CaO	0,57
P ₂ O ₃	0,55	P ₂ O ₃	0,59
SO ₃	0,40	SO ₃	0,41
MnO	0,36	MnO	0,35
MgO	0,20	MgO	0,21
CuO	-	CuO	-
TiO ₂	-	TiO ₂	-
PF	48,7	PF	51,8

Fonte: Autor, 2024.

É possível notarmos a presença de outros elementos presentes que podem ser associados a contaminação oriunda da CL.

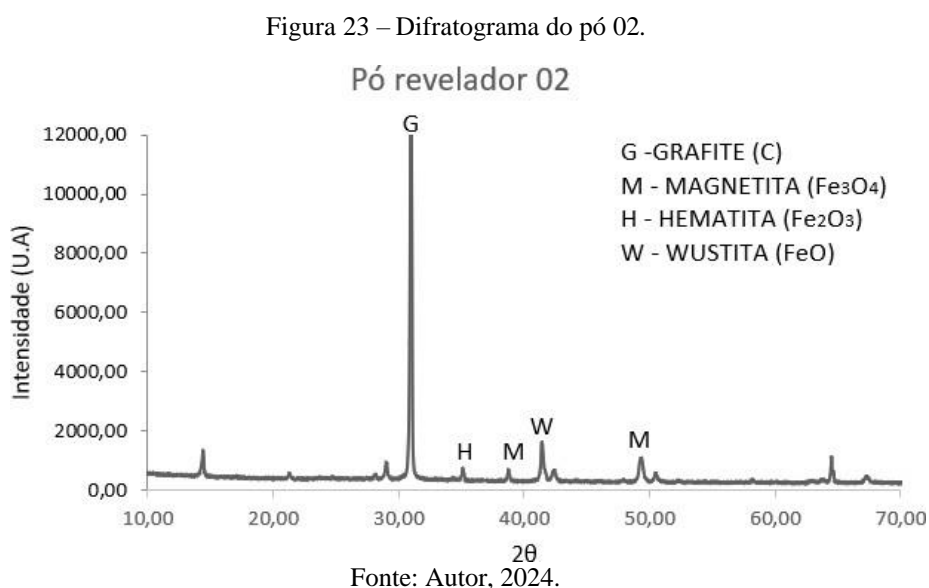
6.9 Difratomia de raios X (DRX)

Observa-se na Figura 22 um difratograma do pó revelador 01.



Fonte: Autor, 2024.

É observado na Figura 23, um difratograma de Pó revelador 02.



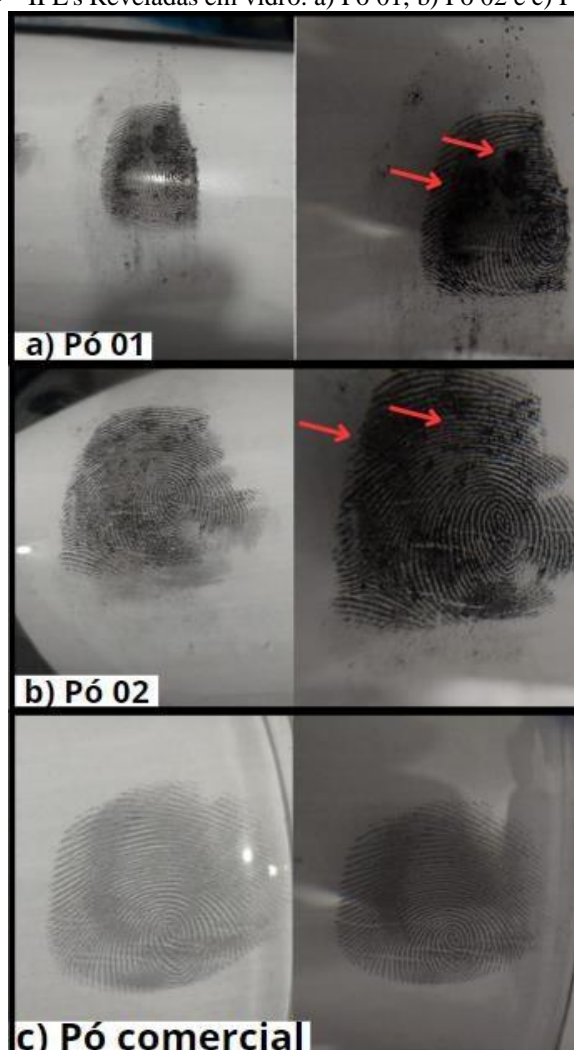
Em ambos os difratogramas é possível observamos componentes como Magnetita (Fe₃O₄), Hematita (Fe₂O₃) e no pó 02 Wustita (FeO), provenientes da CL que são fases características do ferro. Também é notável um pico de grafite que está em fase cristalina que pode ser associado a alta concentração de Grafite em pó que foi utilizado na composição do pó revelador.

Ambos os resultados são complementares as análises químicas e corroboram com o MEV/EDS realizado nas amostras de pó de revelador.

6.10 Teste do empoamento

Na Figura 24 pode ser observado as IPL's que foram reveladas em um becker de vidro com os pós reveladores formulados através do método do empoamento.

Figura 24 – IPL's Reveladas em vidro. a) Pó 01, b) Pó 02 e c) Pó comercial



Fonte: Autor, 2024.

Através das imagens é possível verificar que em ambos os pós formulados a revelação das cristas papilares é bem nítida mostrando o padrão de linhas que compõe as impressões digitais. Através desse método seria possível identificar um indivíduo que deixou suas impressões recentes em uma dada cena criminal.

Todavia, há uma deposição de excesso de material dos pós formulados aplicados sobre superfície de vidro, esse fato pode ter ocorrido devido à baixa granulometria das matérias primas não magnéticas, como carvão e principalmente o grafite, e pela não diferença de granulometria entre as MP's.

Esse excesso de material depositado oriundo do carvão e do grafite prejudicam a análise das cristas papilares, visto que em muitas vezes não é possível encontrar em cenas criminais, impressões digitais em perfeito estado e caso no momento da análise ocorra esse

excesso de material em cima da parte da impressão encontrada não será possível que os papiloscopistas façam a identificação de modo correto.

É importante frisar que esse excesso de material que ficou depositado na superfície em estudo pode ser atribuído a não formação de cerdas perfeitas entre o pincel magnético e o pó revelador, isso pode ser atribuído a uma menor porcentagem de óxidos metálicos magnéticos em relação aos óxidos presentes nos pós comerciais, o que gera uma menor atração das partículas não magnéticas do pó revelador e a superfície das IPL's, prejudicando a revelação.

A Figura 25 mostra a aplicação de pó revelador sobre a superfície de papel A4, para a verificação das cristas papilares.

Figura 25 - Revelação de IPL's em papel A4. a) Pó 01, b) Pó 02, c) Pó comercial cedido pela PC/PA.



Fonte: Autor, 2024.

Ao analisar as fotos dos pós reveladores formulados e comparar com o pó comercial é possível notar que a revelação com o pó comercial é mais nítida, mesmo assim é possível identificar pontos característicos presentes nas IPL's, o que seria suficiente para a identificação de indivíduos.

É possível notar que os pós reveladores 1 e 2 a serem aplicados sobre a superfície de papel A4, além de uma média alta qualidade da revelação das impressões é possível observar grandes manchas ao redor das impressões digitais comumente chamadas de empastamento. Essas manchas podem dificultar a verificação das cristas de fricção. Vale ressaltar que o presente estudo se trata de uma investigação preliminar e posteriormente para uma maior abrangência é necessário aumentar a quantidade de doadores e dias de deposição para avaliar o poder de revelação do pó formulado.

7 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos é possível concluir que a produção de pó preto magnético para revelação de impressões digitais é viável através do uso de carvão de caroço de açaí e adição de carepa de laminação, que confere propriedades magnéticas ao referido pó.

É notório que o tempo de pirolise para a produção do carvão vegetal que foi utilizado como matéria prima não afetou a qualidade do produto final, pois ambos tiveram boas porcentagens de Carbono (C) em sua composição, toda via as amostras que foram submetidas a temperaturas de 500° C tiveram uma maior porcentagem de Carbono em relação as submetidas as de 600° C, porém essa diferença não interferindo no processo de revelação das cristas papilares que compõem as impressões digitais.

É possível observar que os elementos químicos presentes no pó são de fundamental importância para a revelação das IPL's, pois é possível notar a presença de óxidos de ferro que conferem ao pó características magnéticas e uma alta concentração de carbono que ajuda nas ligações do pó com a superfície devido sua tetravalência.

Outro parâmetro a ser levado em consideração é a morfologia das matérias primas que foram utilizadas, visto que as partículas possuem formatos distintos, entre partículas flocadas, retangulares, tetragonais, triangulares, o que proporciona uma maior área superficial em comparação a partículas totalmente esféricas, ajudando no processo de adesão com a superfície. Além disso, tamanho de partícula adotado, que por ser muito baixo pode ter prejudicado a revelação em papel pela entrada de pó nos poros do papel A4, causando o fenômeno do empastamento.

Com o pó formulado a revelação das impressões foram de média/alta e média/baixa qualidade da revelação, não possuindo uma excelente qualidade em comparação aos pós comerciais utilizados pela perícia criminal, visto que é notável o empastamento do pó sob a superfície de papel A4 e o acúmulo de pó sob a superfície de vidro o que pode prejudicar o processo de revelação.

Para que os pós formulados possuam características mais atraentes na perícia seria necessária uma nova formulação levando em conta os parâmetros obtidos pela pesquisa, para que suas propriedades magnéticas sejam mais evidenciadas com um possível aumento na concentração de carepa de laminação na formulação.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3173 – 00**: Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. Estados Unidos: Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2012.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3174 – 04**: Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. Estados Unidos: Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3175 – 07**: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. Estados Unidos: Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2013/D2013M – 12**. Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis. Estados Unidos: Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2013.
- AGUIAR FILHO, Antônio Maciel. **Peritos em papiloscopia e identificação humana**. Goiânia: Kelps, 2021. v. III
- ARAUJO, Jucélia. **Aplicações da genética forense no contexto da perícia criminal: uma revisão da literatura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Faculdade de Biomedicina, Centro Universitário Faculdade Guanabi. Guanabi, BA, 2021.
- ARROWHEAD FORENSICS. **Pó magnético preto para impressões digitais latentes**: 1 oz. Lenexa, EUA, c2024. Disponível em: <https://arrowheadforensics.com/black-latent-magnetic-fingerprint-powder-1oz.html>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- BALSAN, Jaqueline *et al.* Desenvolvimento de metodologia de revelação de impressão digital latente com chalconas. **Química Nova**, Pelotas, RS, v. 42, n. 8, p. 845-850, 2019.
- BBC NEWS MUNDO. Juan Vucetich, el comisario argentino precursor en el uso de las huellas digitales para resolver crímenes. **BBC News Mundo, Domínio Público**, Grã-Bretânia, set. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/mundo/articles/cnlzr5ewn9eo>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- BENTES, Vera Lucia Imbiriba. **Preparação e caracterização de compósitos a base de fosfatos de ferro suportados em carvões ativados de resíduos de caroços de açaí e do endocarpo de tucumã para aplicação ambiental**. 2017. 137 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- BLEAY, Stephen. M.; CROXTON, Ruth S.; DE PUIT, Marcel. Fingerprint Development Techniques. **Wiley Online Library**, [s. l.], mar. 2018.
- CABALLERO, Samuel Afonso Delgado. **Papiloscopia: certeza ou dúvida? apologia a micropapiloscopia**. Campinas, SP: Millennium Editora, 2012.

CASTRO, Leandro Martins. **Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para uma área de laminação a quente**. 2021. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2021.

CARVALHO, Daniel *et al.* O pó revelador e o seu processo de adesão aos resquícios presentes nas impressões papilares latentes. **Revista Brasileira de Ciências Policiais**, Brasília, v. 12, n. 4, p.323-358, jan./abr. 2021.

CORRÊA, Marina Scarano *et al.* Efeito do tempo de contato e massa de carvão ativado do caroço de açaí (1,2mm) na absorção de corante catiônico. *In*: ZUFFO, Alan Mario et al. (ed.). **Ciências ambientais e o desenvolvimento sustentável na Amazônia 3**. Paraná: Atena, 2018. Cap. 21, p. 182-190. Disponível em: <http://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/435>. Acesso em: 05 jan. 2024.

CHAMPOD, Christophe *et al.* **Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions**. USA: CRC Press LLC, 2004.

FACCI, Rômulo Rodrigues. **Produção de materiais reveladores papiloscópicos a partir de resíduos industriais**. 2022. 95 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2022.

FELIPE, Rafaela Farinha. **Produção e caracterização de sinter de minério de ferro com a incorporação de 12% de carepa de laminação utilizando moinha de carvão vegetal como combustível**. 2019. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, 2019.

FERREIRA, Taiana. **Análise das propriedades tecnológicas da cinza do caroço de açaí na cerâmica vermelha**. 2019. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético) – Núcleo de Desenvolvimento Amazônico, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, PA, 2019.

FERREIRA E SILVA, Tahare. **Caroço de açaí: uma alternativa bioenergética**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

FIGINI, Adriano Roberto da Luz. **Datilosopia e Revelação de Impressões Digitais**. Campinas, SP: Millennium Editora, 2012.

FIGINI, Adriano *et al.* **Identificação Humana**. 2. ed. Campinas, SP: Millennium Editora, 2003.

GRAFITE em pó. Curitiba: Vonder, 2019.

GÜRBÜZ, Serkan *et al.* A systematic study to understand the effects of particle size distribution of magnetic fingerprint powders on surfaces with various porosities. **Journal of forensic sciences**, v. 60, n. 3, p. 727-736, 2015.

INTERPOL. **Fingerprints**. Ficha técnica, 2020.

LEITZKE, Amanda *et al.* A química de produtos naturais aplicados a reveladores de impressões digitais latentes. **Química Nova**, Pelotas, RS, v. 45, n. 4, p. 424-434, 2022.

MAIA, Francisco Silva. **Criminalística Geral**. Fortaleza: [s. n.], 2012.

MENDES, João Roberto. **Desenvolvimento de pasta condutiva com adição de grafite e pó de ferro**. 2022. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2022.

OLIVEIRA, Brenda Fernanda Honorato de *et al.* Características energéticas de resíduos celulósicos oriundos da produção de óleo de palma. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA*, 21.; *ECONTRIBUTO BRASILEIRO SOBRE O ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA*, 16., 2016, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2016.

OLIVEIRA, Douglas Freitas de; CORREIA, Franciele dos Santos. Química Forense e suas contribuições para a investigação criminal. *In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 5., 2018, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, 2018.

PALÁCIO, Mariana Giacomini; REIS, Elton Aparecido Prado dos. Aplicações do carbono: a relevância do grafite no setor industrial. **ETIC**, Presidente Prudente, v. 16, n. 16, 2020.

POLETTI, Taís. **Avaliação química e aplicação de curcuminas derivadas de cinamaldeído como potenciais reveladores de impressões digitais**. 2021. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

SANTOS, Vanuza Oliveira dos. **Pirólise da biomassa amazônica: parâmetros cinéticos e termodinâmicos usando análise termogravimétrica**. 2022. 123 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2022.

SATO, Michel Keisuke. **Biocarvão de resíduos de açaí como condicionante de solos**. 2018. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

SERRÃO, Alisson Caio Magalhães *et al.* Análise do processo de pirólise de sementes de açaí (*Euterpe Oleracea*, Mart): influência da temperatura no rendimento dos produtos de reação e nas propriedades físico-químicas do Bio-Óleo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.2, p. 18200-18220, fev. 2021.

SILVA, Edvaldo Nunes da. **Papiloscopia: o uso da química na identificação humana e no ensino de química**. 2016. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, TO, 2016.

SOUSA, Marco Antônio de; OLIVEIRA NETO, José Carneiro da Cunha. Análise de impressão digital no Brasil: uma revisão bibliométrica 2010-2019. **Revista Brasileira de Ciências Forenses, Direito Médico e Bioética**, Brasília, v. 10, n. 3, p. 473-491, jun. 2021.

TREIBER, Stephanie; LETA, Jacqueline. Natureza institucional da pesquisa em papiloscopia forense. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE BIBLIOMETRIA E CIENTOMETRIA*, 8., 2022, Maceio, **Anais** [...]. Maceió, jul. 2022. p. 610-617.

VANDIVEL, Ramanan; NIRMALA, Muthukumaran; AMBUKUMARAN, Karthikeyani. Commonly available, everyday materials as non-conventional powders for the visualization of latent fingerprints. **Forensic Chemistry**, v. 24, jun. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468170921000357>. Acesso em: 10 jan. 2024.

WENCESLAU, Roberto. Sistema dactiloscópico de Vucetich. **Perícia Criminal Brasil**, jul. 2019. Disponível em: <https://www.periciacriminalbrasil.com/post/sistema-vucetich>. Acesso em: 05 jan. 2023.

APÊNDICE – SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Por meio deste referido estudo e para o avanço nos estudos de ciências papiloscópicas seguem sugestões para o avanço da pesquisa:

- Mudança na composição adotada, utilizando um possível aumento da concentração de carepa de laminação.
- Separação magnética das partículas que compõem a carepa de laminação.
- Mudança do ligante utilizado.
- Seleção granulométrica por moagem em moinhos de bola com corpos moedores de alumina e conjunto de peneira, para maior obtenção do produto final.
- Caracterização por determinação do tamanho de partícula (DTP)
- Alteração do tamanho de partícula, utilizando partículas não magnéticas de maior dimensão.
- Comparação das propriedades químicas e morfológicas dos pós magnéticos produzidos com pós comerciais convencionais utilizados para revelação de IPL's.