

PRIMEIRO TERMO ADITIVO AO ACORDO DE PARCERIA PARA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO – PD&I QUE ENTRE SI CELEBRAM A UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, POR INTERMÉDIO DA SUA FACULDADE/ESCOLA INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, E A EMPRESA FABNS – FÁBRICA DE NANOSOLUÇÕES E PARTICIPAÇÕES LTDA, COM A INTERVENIÊNCIA DA FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – FUNDEP

A **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**, autarquia federal de regime especial, inscrita no CNPJ sob o nº 17.217.985/0001-04, sediada na Avenida Antônio Carlos, nº 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais, neste ato representada por seu Reitor, Prof. Alessandro Fernandes Moreira, doravante denominada **UFMG**;

A **FabNS – Fábrica de Nanosoluções e Participações LTDA**, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ/MF sob o n.º 36.615.002/0001-32, com sede na Rua Professor José Vieira de Mendonça, 770, Sala 209, Bairro Engenho Nogueira, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 31.310-260, neste ato representada por seu Representante Legal, Sr. Hudson Luiz Silva de Miranda, doravante denominada **EMPRESA**, e

A **FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – FUNDEP**, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ/MF sob o nº 18.720.938/0001-41, com sede na Av. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, 4º andar, Campus UFMG, neste ato representada por seu Presidente, Prof. Jaime Arturo Ramírez, denominada simplesmente **FUNDAÇÃO**, em conjunto denominadas **PARCEIRAS**,

resolvem celebrar o presente Termo Aditivo ao Acordo de Parceria firmado em 25/07/2024, doravante denominado ACORDO, que será regido pela Emenda Constitucional nº 85/15, pela Lei nº 10.973/2004, regulamentada pelo Decreto nº 9.283/2018, e alterações posteriores, bem como pelas seguintes cláusulas e condições:

CLÁUSULA PRIMEIRA - OBJETO

O objeto do presente instrumento é prorrogar o prazo de vigência do Acordo de

Parceria por **4 (quatro) meses e 16 (dezesesseis) dias**, até **11 de dezembro de 2026**.

CLÁUSULA SEGUNDA – REMUNERAÇÃO DA FUNDAÇÃO DE APOIO.

Não há acréscimo ao valor destinado à remuneração da FUNDAÇÃO em decorrência do presente Termo Aditivo, o qual se limita exclusivamente à prorrogação do prazo de vigência do ACORDO, sem alteração de valor dos recursos financeiros.

CLÁUSULA TERCEIRA - DOCUMENTAÇÃO ANEXA

Integra este Termo Aditivo, para todos os fins e efeitos, o Plano de Trabalho devidamente atualizado.

CLÁUSULA TERCEIRA – RATIFICAÇÃO

Ficam ratificadas as demais cláusulas do Acordo de Parceria aditado e as disposições do Plano de Trabalho original, no que não conflitarem com o disposto no presente instrumento e no Plano de Trabalho atualizado.

Incumbirá à UFMG providenciar a publicação deste instrumento.

Por estarem de acordo quanto ao que se estipula, firmam o presente termo, assinado pelas partes eletronicamente. A data de assinatura deste instrumento, para todos os efeitos, é a última data de assinatura de signatário.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PLANO DE TRABALHO REDES SIBRATEC Nano DE INOVAÇÃO

NOME DA EMPRESA // LABORATÓRIO SISNANO

Empresa: FABNS FÁBRICA DE NANOSOLUÇÕES E PARTICIPAÇÕES LTDA

Laboratório: LANANO – Laboratório Associado de Nanotecnologia da UFMG

REDE (apenas 1 opção): (X) Nanodispositivos () Nanomateriais

Ciclo: **14ª 2022**

TÍTULO:

Sistema de microscopia de varredura por sonda via reflexão de micro-ondas com nanoantenas de resolução nanométrica com excitação e detecção integrados.

ENTREGÁVEL:

Sistema protótipo operacional de microscopia de varredura por sonda via reflexão de micro-ondas.

PRAZO DE EXECUÇÃO

24 meses + aditivo de 4 meses e 16 dias.

RESUMO DO PROJETO

Pretende-se por meio deste projeto associarmos todos os recursos de desenvolvimento, fabricação e comercialização da plataforma Porto para microscopia de varredura por sonda, a desenvolvimentos realizados na concepção de um sistema de concentração de micro-ondas. O sistema Porto, desenvolvido e fabricado pela FabNS, é uma robusta plataforma que permite a expansão para outras modalidades de microscopias. O sistema de concentração de micro-ondas, concebido com outro fim e patenteado para utilização em impressão 3D de metais [1], gerou uma série de avanços no que concerne a modelagem e construção de sistemas que permitem o acoplamento de cavidades de micro-ondas a sistemas com pontas. Na convergência destes desenvolvimentos, vislumbramos uma expansão na carteira de produtos da FabNS, incluindo agora a parte de reflexão de micro-ondas, que é uma técnica vetorial permitindo que a parte real e imaginária sejam separadas, e assim viabilizando mapas de condutividade e permissividade simultâneos. As inovações pretendidas nesta parceria vão além da implementação em si, que atenderia uma nova forma de microscopia para a qual hoje existe apenas um pequeno número de fabricantes (Agilent Technologies, PrimeNano Inc, Nanosurf, por exemplo), mas permitiria algo, até o momento não realizado, que seria o início de uma convergência de técnicas ópticas, como TERS (espectroscopia Raman aumentada por sonda), e micro-ondas em um mesmo equipamento integrado (além de AFM (microscopia de força atômica), conductive AFM, STM (microscópio de tunelamento quântico), etc) viabilizando análises multiespectrais varrendo DC, micro-ondas e óptica, ao mesmo tempo produzindo imagens topográficas. Para este ciclo, pretende-se viabilizar a convergência e integração, demonstrar a operação em modo de reflexão de micro-ondas e AFM, e otimizar a operação para que seu desempenho seja comparável à de sistemas comerciais.

RELEVÂNCIA “NANO”

Recentemente [2,3] utilizamos microscopia de micro-ondas em um equipamento comercial (Primenano Inc) alcançando resolução de 1 nm utilizando o comprimento de onda de 10 cm de radiação. Este resultado sem precedentes viabiliza o processo de imagens em nanoestruturas de alta resolução e de forma vetorial. A micro-ondas refletida possui uma parte do sinal em fase com a micro-ondas incidente onde essa componente se relaciona com a condutividade do material, enquanto a outra componente do sinal, em quadratura, se relaciona com a permissividade do material. A correlação destas informações com outras propriedades do material, como topografia, condutividade DC e, em algum momento, espectroscopia Raman através da técnica TERS. Os trabalhos [2,3] demonstraram que técnicas complementares, quando usadas de forma correlacionada, permitem avanços significativos que por vezes apenas uma não conseguiria, principalmente em escala nanométrica, onde as propriedades quânticas dos materiais começam a emergir. O desenvolvimento de uma ferramenta que venha permitir a correlação de várias propriedades e de maneira simultaneamente é, portanto, um desenvolvimento crucial para a área nano.

NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA – TRL (ATUAL)

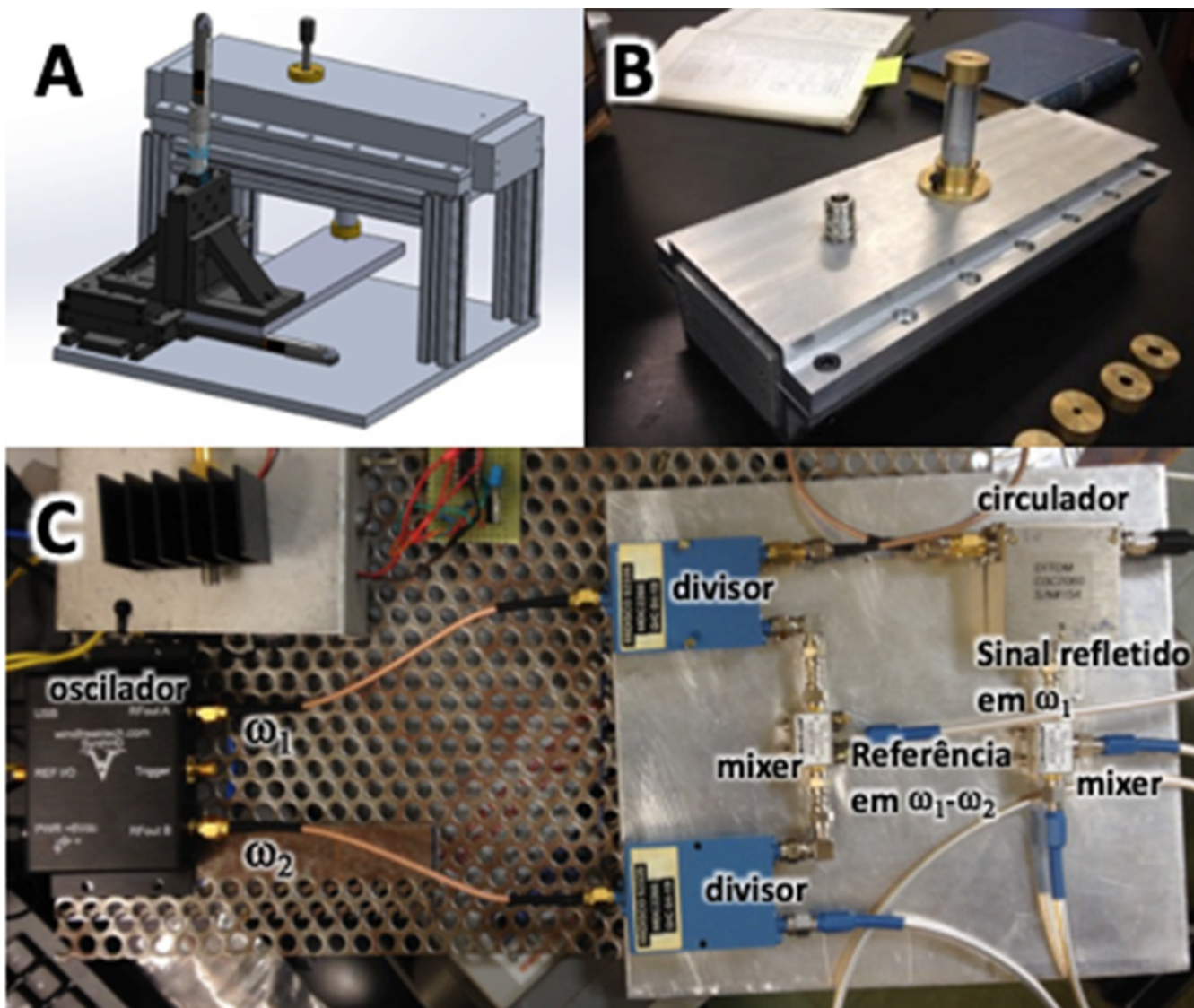


Fig. 1 – A) Sistema projetado, B) Sistema construído, C) sistema de detecção heterodina

Trata-se de um projeto que visa a convergência de duas tecnologias, ambas em estágio significativo de desenvolvimento: a plataforma Porto e o sistema de microscopia de varredura por reflexão de micro-ondas. No caso da plataforma Porto, a mesma já vem sendo comercializada, e encontra-se, portanto, em TRL > 7. No caso do sistema de micro-ondas, modelamos, desenvolvemos, construímos e testamos diversas configurações de cavidades, e convergimos em uma geometria que permitiu a operação com uma perda de retorno de mais de 70 dB no modo principal da cavidade, em comparação com o sistema comercial que possui geralmente um desempenho da ordem de 50 dB. Este fato se deve principalmente ao maior volume do sistema de micro-ondas quando comparado ao sistema comercial, assim como uma maior resolução na sintonia do sistema através de espelhos móveis e do parafuso de ajuste micrométrico de casamento de impedância e sintonia da cavidade (fig.1A, topo). A fig. 1 mostra o sistema projetado (A) e construído (B), juntamente com o sistema de detecção heterodino (C). Conforme o desenho esquemático em (A), demonstramos a capacidade de geração de imagens com resolução de 100 μm utilizando motores de passo para translação, operando em malha aberta e uma distância de centenas de micrometros entre a ponta (fabricada utilizando uma vara de Titânio utilizada para solda) de centenas de micrometros. O painel 2 apresenta o resumo da operação do sistema construído: A) desempenho de pontas comerciais no sistema comercial (-42 dB); B) desempenho do sistema construído (-72 dB); C) varreduras sobre um fio de Níquel de 100 μm de diâmetro colocado sobre uma lâmina de vidro de microscópio, tomado a diferentes alturas (254 μm e 567 μm); D) imagem da base de um triângulo metálico sobre vidro de 2 mm de base, operando em malha aberta (XY e Z, sem encoder). É importante destacar que a operação em campo próximo é determinante para se alcançar alta resolução. Nos trabalhos realizados com o sistema comercial [2], a malha de controle de ajuste de altura da ponta com relação a superfície possibilitava a operação em malha fechada para altura da ponta por meio de medidas de força, possibilitando uma distância da ordem de 1nm, o que permitiu a elevada resolução. Os resultados, e em particular a varredura em malha aberta na Fig. 2D demonstram, portanto, um enquadramento no TRL-4. Para um enquadramento em TRL-5, devemos observar a operação em malha fechada.

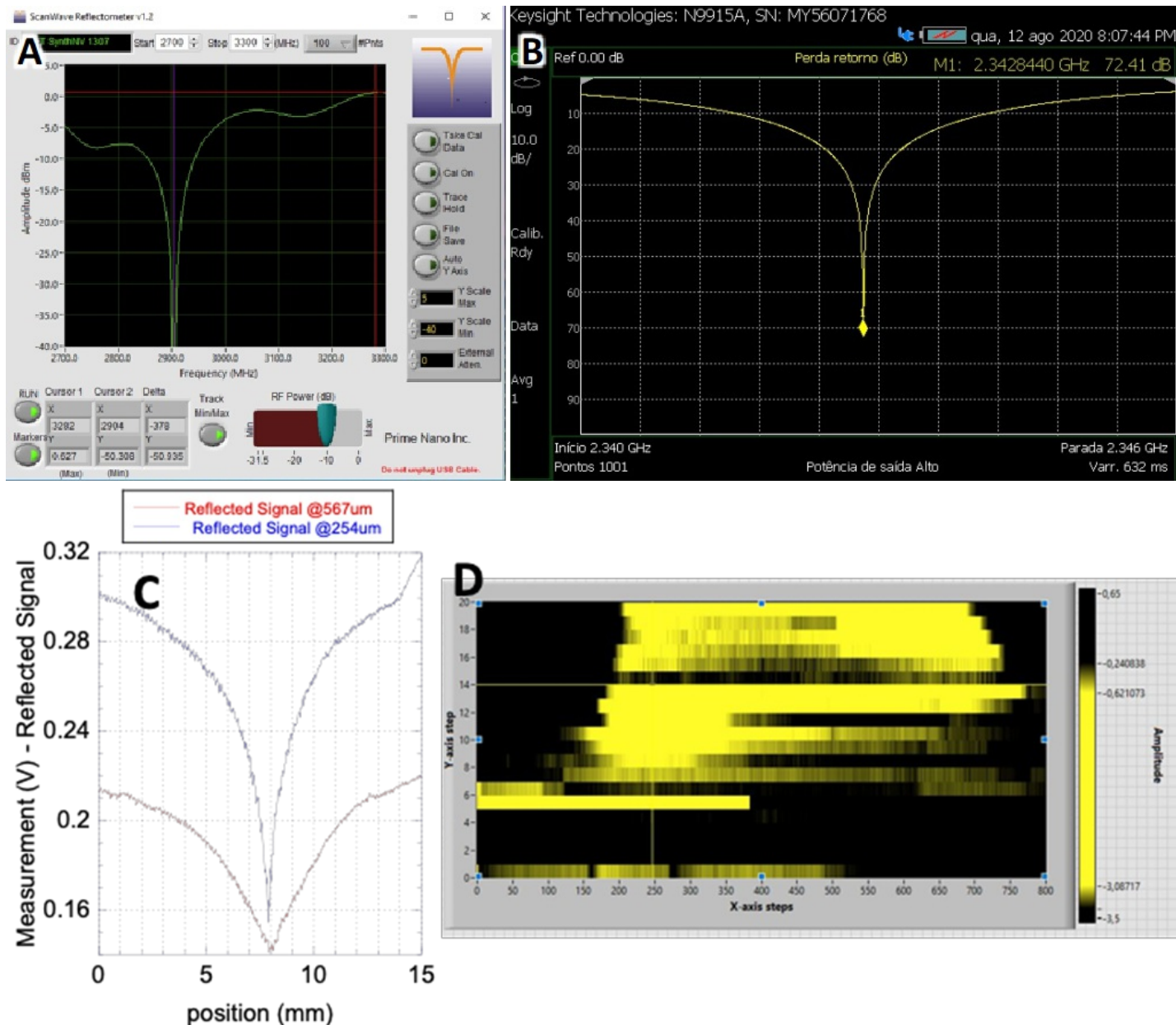


Fig. 2 – A) desempenho do Sistema comercial, com 42dB de perda de retorno; B) Sistema construído, e sintonizado por meio de espelhos laterais e parafuso de casamento de impedâncias, com perda de retorno de 72dB; C) Perfil de um fio de 100μm de diâmetro, medido com diferentes alturas da ponta; d) operação em malha aberta em XYZ utilizando motores de passo demonstrando o processo de imageamento de um pedaço triangula de metal de aproximadamente 3mm de base.

NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA – TRL (Esperado ao FINAL da proposta)

O TRL final esperado do sistema a ser construído, convergindo o protótipo de micro-ondas à plataforma Porto (que possui TRL >7), é TRL-6. Em Março de 2026, recebemos uma unidade de controle Porto, adquirida com recursos do INCT IQNano que financia a construção de sMIM, do ponto de vista de aquisição dos componentes críticos e portanto complementar a este projeto. Os sistemas de nanomanipulação chegaram no final de Maio de 2026, devido a questão de esgotamento de cotas de importação. Há ainda componentes que precisam de chegar, mas devido a questão de cotas, não temos uma data prevista e portanto, a data realista é Janeiro de 2027.

METODOLOGIA

A metodologia adotada na integração concerne a adequação da geometria do sistema de micro-ondas ao sistema de varredura de nanoposicionadores Porto, utilizando a ponta fixa, e varrendo a amostra, com os seguintes passos:

- 1) Conexão elétrica e acoplamento capacitivo da ponta TERS à cavidade de micro-ondas. Este é um passo crítico, pois requer que este acoplamento não destrua o elevado Q da cavidade, mas também não se situe em um patamar no qual o acoplamento é inexistente. O acoplamento crítico é obtido por meio de modelagem, teste e adaptação de capacitores de diferentes tamanhos, que se situam na íris do elemento coaxial (fig. 1B, onde temos íris de latão de diversos diâmetros de abertura);
- 2) A ponta de TERS é piramidal, e montada sobre a ponta de um diapasão de quartzo, conforme descritivo [4]. A pirâmide pode ser colada de forma a permitir operação em modo de cisalhamento (shear-force mode), ou modo de contato intermitente (tapping mode). Iremos explorar as diferentes modalidades de operação, em busca de uma maior resolução e da resposta em micro-ondas;
- 3) Uma vez que temos o sistema de varredura através de nanoposicionadores e o devido acoplamento entre ponta e cavidade, passamos para a etapa de fecharmos as diversas malhas de controle que irão determinar diferentes modos de operação:
 - a. Malha de controle para altura (modo AFM): em operação no sistema Porto, permitirá a operação em malha fechada e altura constante,

D4Sign 571c4f69-5dac-4730-9b27-1bc27304a65d - Para confirmar as assinaturas acesse <https://secure.d4sign.com.br/verificar>

Documento assinado eletronicamente, conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2. Brasil

através de controle da frequência de vibração do diapasão de quartzo. Este é o primeiro passo para a operação do sistema de micro-ondas;

b. Malha de controle para sintonia de cavidade/casamento de impedância. Este modo de operação é completamente novo, mas ele fundamentalmente se baseia no acionamento do parafuso de sintonia da cavidade (vide figura 1(A)), por meio de acionadores rotativos piezo. Esta malha de controle permitirá um acoplamento sempre otimizado e poderá ser empregada em amostras de baixo contraste. Para os propósitos do presente projeto, este ponto é opcional, e será executado parcialmente, em modo semi-aberto, onde iremos comparar diversas imagens extraídas com diferentes acoplamentos.

4) Otimização do sistema de micro-ondas. Basicamente o que se pretende é por meio de modelagem e teste, aprimorar o sistema visando uma maior perda de retorno;

5) Estudo de formas diferentes de modulação. Através da incorporação de elementos passivos simples (um bias-T entre a ponta e o capacitor de acoplamento a cavidade, por exemplo), poderemos modular a tensão DC estática entre a ponta e a superfície, assim como aplicar diversas formas de modulação com diferentes amplitudes e frequências na faixa de kHz para operação com amplificadores Lock-in; (indicador: relatório descritivo)

6) Verificação de viabilidade para implementação de sistema de calibração de capacitância por meio da aplicação de modulação em altura (z), nos casos de operação em tapping mode, através de medidas de harmônicos superiores; (indicador: relatório descritivo)

7) Verificação de viabilidade de operação utilizando outros diapasões de quartzo em frequências mais elevadas; (indicador: relatório descritivo)

8) Verificação de viabilidade de operação em múltiplas frequências de micro-ondas que se situem em modos de ordem superior da cavidade para análise hiper-espectral. (indicador: relatório descritivo)

9) Atualização do software e firmware do sistema Porto permitindo medidas simultâneas;

10) Teste em amostras 2D (filmes de grafeno, nitreto de boro, bicamadas de grafeno, di-calcogenetos e outros sistemas); (indicador: relatório descritivo);

11) Teste em amostras contendo materiais semicondutores de diferentes dopagens para verificação de viabilidade de perfilometria de dopantes; (indicador: relatório descritivo)

12) Teste em amostras metálicas e isolantes; (indicador: relatório descritivo)

DESCRIÇÃO E JUSTIFICATIVA DO MODELO DE NEGÓCIO

Em 2021, um detalhado estudo do mercado foi realizado como parte do plano de negócios produzido pela empresa CERES Inteligência Financeira Ltda., juntamente com a Fundepar–Fundep Participações S.A. Nele, foi identificado o mercado de instrumentação analítica e científica mundial, estimado em US\$ 60 bilhões em 2020. Segmentando o mercado apenas para as técnicas de espectroscopia Raman e microscopia de varredura por sonda (SPM), utilizadas no sistema TERS, o valor esperado do mercado para 2020, em análise top-down, seria de pouco mais de US\$ 1bilhão. O novo segmento de microscopia de varredura de pontas via reflexão de microondas, ou também chamado de sMIM (scanning Microwave Impedance Microscopy), que denota mais precisamente a natureza vetorial da técnica, é nascente e de natureza complementar a toda família de sistemas de microscopia de varredura por sondas. As primeiras unidades comerciais se tornaram disponíveis em torno de 2014, e hoje o mercado apresenta os seguintes fabricantes: 1) PrimeNano Inc. A UFMG possui o único equipamento no país, e com ele consegui demonstrar a resolução de 1nm [2], assim como a validação independente dos resultados de TERS [3,5]. 2) Nanosurf [6]; 3) Agilent [7]. O produto PrimeNano é vendido como uma unidade que se acopla a microscópios comerciais dos fabricantes Bruker e Asylum Research. Os demais vendem a solução completa, sendo sMIM um modo adicional. As principais áreas onde sMIM apresenta impacto sem similares é na área de semicondutores, permitindo a avaliação de mapas de dopagem. Materiais nanoestruturados com distintas propriedades dielétricas e de condutividades apresentam uma excelente oportunidade. Em particular, os sistemas bi-dimensionais, como grafeno, nitreto de boro e calcogenetos é de especial atenção. O impacto da técnica ainda não foi completamente explorado devido a sua baixa relativa disseminação. As principais razões se devem a: a) custo elevado de componentes de micro-ondas; b) dificuldades na operação da técnica; c) baixa disponibilidade de sondas e respectivo custo; d) treinamento de equipe; e) modelagem para acompanhamento e entendimento do problema. Em sua maior parte (a, b, c, d), os pontos acima representam oportunidades que exploraremos em nosso modelo de negócio: a) devido a avanços na faixa de 2-3GHz para telecom em geral, os preços de componentes baixaram drasticamente; b, d) membros de nossa equipe possuem experiência de mais de 20 anos em micro-ondas em distintos segmentos (antenas, cavidades, telecom), e como usuários de sistema comercial, e desenvolvedores de soluções, conhecemos os pontos fracos para operação e ajuste do sistema; c) a FabNS já tem trabalhado no desenvolvimento de pontas. Inicialmente adotaremos fios de tungstênio, para subsequentemente adotarmos a ponta e-PTTP já em processo de desenvolvimento. A lógica de desenvolvimento envolve a minimização de capacitâncias parasitas, de forma a maximizarmos a sensibilidade do sistema. O ponto e) requer um certo envolvimento com modelagem de campos, que por meio de contato e consultoria de nossa equipe poderá ser mitigado. A realização deste projeto possibilitará à FabNS inovar nesta área aumentando sua carteira de produtos, e colocar no mercado um produto de alta tecnologia, com a possibilidade futura de convergência com outros produtos, como por nanoespectroscopia óptica. Em resumo, o modelo de negócios se baseia na exploração da plataforma Porto para uma nova modalidade de microscopia, o know-how da equipe em realizar o treinamento e atendimento de clientes, a convergência da técnica com outras técnicas em desenvolvimento pela FabNS, o que amplia a carteira de produtos, e por fim, ocupar um espaço relativamente pouco explorado dada a novidade da técnica.

Vantagens Competitivas: A tecnologia desenvolvida pela FabNS foi originada através de dois pilares: o LabNS, Laboratório de Nanoespectroscopia do Departamento de Física da UFMG, e o Projeto NA@MO, financiado pela Codemge em parceria com o programa Embrapii. O LabNS consolidou a base teórica, prova de conceito e aplicações da tecnologia a ser comercializada pela FabNS. Esta tecnologia foi base para os seguintes indicadores que demonstram a sua qualidade e respeitabilidade internacional: Mais de 300 artigos científicos publicados; Capa da Revista Nature de fev/2021[3]; conjunto de Propriedade Intelectual protegida no Brasil, EUA e China. Pela parte de micro-ondas, os resultados foram oriundos de um projeto em parceria com a Hewlett-Packard Brasil no desenvolvimento de impressoras 3D de metal utilizando micro-ondas concentradas.

D4Sign 571c4f69-5dac-4730-9b27-1bc27304a65d - Para confirmar as assinaturas acesse <https://secure.d4sign.com.br/verificar>

Documento assinado eletronicamente, conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2. Brasil

Em resumo, as vantagens são: i) uso da plataforma Porto, que permite customização e integração com outras técnicas; ii) expansão e escalabilidade da técnica, devido a possibilidade de convergência com técnicas de espectroscopia óptica; possibilidade para operação em múltiplas frequências; possibilidade de operação com malha de controle de sintonia de cavidade; iii) uso das pontas e-PTTP, de menor custo que pontas de sMIM; iv) maior sensibilidade que sistemas comerciais; v) operação em alta potência, se necessário. Os próximos passos para comercialização envolvem a inclusão deste produto como “add-on” à carteira de produtos de microscopia da FabNS. Em Junho de 2026, trabalhou-se na integração entre TERS (Tip Enhancement Raman Spectroscopy) e sMIM, onde os resultados preliminares foram bastante promissores, demonstrando a viabilidade de integração com os produtos atualmente comercializados pela FabNS.

CAPACIDADE TÉCNICA E CIENTÍFICA

Todo o desenvolvimento da tecnologia base deste projeto tem sido realizado com a infraestrutura da UFMG, no âmbito do LANano-UFMG, Laboratório de Física da Informação, Grupo de Microondas da Escola de Engenharia e LabNS. O LANano-UFMG conta com toda a infraestrutura que foi necessária para o desenvolvimento das tecnologias hoje em processo de patenteamento, incluindo infraestrutura para microscopia e nanofabricação. Nos últimos 10 anos, o laboratório captou R\$ 6,8 milhões em investimentos de agências de fomento brasileiras (CNPq, FINEP, Capes, FAPEMIG). As atividades em microondas foram resultado de um investimento pela Hewlett-Packard Brasil da ordem de R\$ 1 milhão.

A tecnologia aqui apresentada se assenta na experiência acumulada da equipe na fabricação de antenas para TERS, microondas e sistemas de varredura por meio de nanoposicionadores. A equipe é formada pelos seguintes pesquisadores:

Prof. Dr. Gilberto Medeiros-Ribeiro (coordenador) - Professor Titular do Departamento de Ciência da Computação da UFMG. Orientador nos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Computação e Inovação tecnológica da UFMG. Pesquisador 1B do CNPq e coordenador do Laboratório de Física da Informação do Departamento de Física da UFMG. Especialista em hardware neuromórfico, memórias não voláteis, sistemas de microscopia por varredura de sonda, materiais nano. Possui mais de 160 artigos publicados e 46 patentes concedidas no USPTO na área de materiais, circuitos e arquiteturas para memórias não voláteis, e uma patente depositada na área do projeto [1].

CV: <http://lattes.cnpq.br/1681880375960859>.

Dr. Cassiano Rabelo e Silva (principal interlocutor da empresa) – Doutor em Engenharia Elétrica pela UFMG. Trabalha com Gestão e Desenvolvimento de Software e Sistemas há mais de 10 anos, tendo participado da criação e gestão de empresas de base tecnológica. Desenvolvedor da Plataforma SOMOS® (www.somos.ufmg.br). Em 2013, com o Acordo de Parceria 04/2013, associou-se ao LabNS e passou a trabalhar no desenvolvimento de sistema de nanoespectroscopia que evoluiu para tornar-se o sistema Porto. Foi responsável pela instalação de dois sistemas protótipos, um no Inmetro e outro na UFC, além de dois nanoscópio na UFMG. É coautor em 5 cartas-patente, concedidas no Brasil, EUA e China, além de quatro pedidos de depósito de patente relacionadas a tecnologias relevantes ao projeto. É diretor da FabNS. CV: <http://lattes.cnpq.br/2038943595238793>

Prof.Dr. Ado Jório de Vasconcelos – Professor Titular do Departamento de Física da UFMG Orientador nos Programas de Pós-Graduação em Física, em Engenharia Elétrica e em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica da UFMG. Atualmente Diretor Adjunto do INL, em Braga, Portugal. Pesquisador 1A do CNPq, titular da Academia Brasileira de Ciências, da Sociedade Brasileira de Física e da American Chemical Society. Já recebeu diversos prêmios nacionais e internacionais e consta na lista dos “Highly Cited Researchers” da Thomson Reuters, tendo sido considerado, em 2015, um dos 4 pesquisadores mais influentes do Brasil no Mundo. É autor em 8 cartas-patente (Brasil, EUA e China) e 7 pedidos de patente relevantes ao projeto. CV: <http://lattes.cnpq.br/0034894072>

Prof.Dr. Cássio Gonçalves do Rego – Professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG, Orientador no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG. Pesquisador 2 do CNPq, membro da Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica. Tem experiência em pesquisa e desenvolvimento em teoria eletromagnética aplicada, microondas, propagação de ondas de rádio e antenas. É autor de um pedido de patente relevante ao projeto. CV: <http://lattes.cnpq.br/495117928587907>.

Prof. Dr. Jhonattan Cordoba Ramirez – Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG. Especialista no desenvolvimento de soluções tecnológicas através de novos processos de fabricação, com foco em dispositivos ópticos e fotônicos, para aplicações em biomedicina, telecomunicações, microscopia e computação da nova geração. Membro Senior da IEEE e Embaixador da OPTICA (Antiga *Optical Society of America*). Possui mais de 30 artigos publicados e 1 registro de software.

<http://lattes.cnpq.br/3244383817627411>

Prof. Dr. Wagner Nunes Rodrigues - Professor titular do Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas da UFMG. Possui graduação em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (1978), mestrado em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (1982) e doutorado em Física - Universität Gesamthochschule Duisburg (1987). Tem experiência na área de Física da Matéria Condensada, com ênfases em Superfícies e Interfaces; Películas e Filamentos; Materiais e Física Aplicada. Atua principalmente nos seguintes temas: microfabricação, e microscopia eletrônica. É o atual vice-diretor do Centro de Microscopia da UFMG.

<http://lattes.cnpq.br/3569531507114017>

Dr. Hudson Luiz Silva de Miranda – Graduado em Engenharia de Controle e Automação, Se doutorou em Engenharia Elétrica na UFMG. Possui experiência em desenvolvimento de produto. Tem 5 anos de experiência acadêmica no LANano – UFMG, e experiência profissional nas empresas Invent Vision, de automação baseada em visão computacional, e na empresa CSIRO, onde trabalhou com desenvolvimento de software para veículos autônomos. É diretor da FabNS. É autor em uma carta-patente (EUA) e dois pedidos de patente relevantes ao projeto.

CV: <http://lattes.cnpq.br/0605662802625493>

Vitor Pena Monken - Engenheiro mecânico pela UFMG tendo cursado Tecnologia em Engenharia Mecânica na Indiana State University (EUA) por 1 ano. Especializado em desenvolvimento e análise de projetos, solução de problemas mecânicos e mecânica computacional.

Desenvolve, desde 2018, sistemas mecânicos de precisão para nanoscopia. CV: <http://lattes.cnpq.br/9138058314792703>

Mário Guimarães Buratto - Engenheiro eletricitista e Doutor em Eng. Mecânica é o atual chefe de engenharia eletrônica da FabNS. Trabalha com o desenvolvimento das tecnologias que culminaram no sistema Porto desde 2019. Atualmente domina todo o projeto eletrônico e de firmware pertinentes ao sistema Porto. Dessa forma, trabalhará no apoio técnico e treinamento nas atividades que contemplem as áreas de eletrônica e firmware. CV: <http://lattes.cnpq.br/6204867382787044>

INTERAÇÃO EMPRESA-ICT

O LANano-UFGM possui larga experiência no desenvolvimento instrumentação voltada para nanoscopia, frente essa centrada no LabNS, e vasta experiência no ramo de microscopias de varredura de sondas, AFM, STM, sMIM, frente centrada no Laboratório de Física da Informação e do setor de STM e sMIM do Centro de Microscopia da UFGM, coordenados pelo prof. Gilberto Medeiros-Ribeiro. Esse conhecimento, combinado aos equipamentos de nanoscopia, cavidades de micro-ondas, componentes e analisadores de espectro, AFM e STM disponíveis, software COMSOL de modelagem, e computadores de alto desempenho, e sala limpa com instalações para micro e nanofabricação, constituem o insumo para o desenvolvimento deste projeto. Já a FabNS contribuirá com sua expertise em produção de instrumentos científicos e intensivo know-how de eletrônica, área do conhecimento crítica para a execução do projeto.

VALOR DA PROPOSTA

- 1) APOORTE TOTAL SIBRATECNano: R\$ 194,651.56 (94,9%)
- 2) APOORTE DA EMPRESA: R\$ 11,578.94 (5,1%)
- 3) VALOR TOTAL: R\$ 206,230.50

BOLSAS

O projeto prevê a incorporação de três bolsistas em sua equipe, com funções distintas e complementares.

Bolsista 1: profissional com nível mínimo de graduação nas áreas de Física, Engenharia Mecânica ou Engenharia de Materiais. Atuará nas atividades de adaptação das nanoantenas para acoplamento capacitivo à cavidade, e operação em modo sMIM e na produção de sondas para teste. 24 meses de bolsa AP1. R\$ 5000,00/mês

Bolsista 2: profissional de nível médio completo ou cursando a graduação em Física, Engenharia de Materiais, Elétrica ou Mecânica. Auxiliará nas atividades de produção de sondas PTP adaptadas para sMIM e realização de testes funcionais. 24 meses de bolsa AT2. R\$ 1.000,00/mês

RISCOS

Elencamos os diversos riscos abaixo na execução do projeto, associados aos marcos de desenvolvimento da metodologia adotada:

- 1) Incompatibilidade mecânica dos sistemas de nanoposicionamento ou microscopia de varredura por sonda com a cavidade. Soluções possíveis: a) redesenho da cavidade; b) uso de diferentes sistemas de nanoposicionamento;
- 2) Excessivo "carregamento" da cavidade e perda de fator de qualidade Q da mesma pela conexão com a ponta. Solução: estudo de variação de acoplamento capacitivo minimizando o acoplamento;
- 3) Dificuldades na conexão elétrica entre a ponta TERS e o capacitor de acoplamento. Solução: geração de padrões em placas de circuito impresso visando a conexão do sinal de micro-ondas; avaliação e sintonia do sistema;
- 4) Interferência do sinal de micro-ondas na operação do sistema. Solução: blindagem, reposicionamento de elementos críticos;
- 5) Impossibilidade de operação em modo "tapping". Solução demonstração de modo cisalhamento, e ajuste para operação com maior proximidade da superfície;
- 6) Dificuldades na implementação da malha de controle de casamento de impedância da cavidade. Solução: estudo e definição de limites de operação para materiais de diferentes propriedades, e verificação de viabilidade de controle.
- 7) Deriva térmica tirando o sistema do modo escolhido: Soluções: ancoramento térmico da cavidade e controle de temperatura; controle de frequência de excitação;
- 8) Isolamento de vibrações pelo acoplamento de cabos ao sistema: Soluções: escolha de cabos suficientemente flexíveis; acoplamento capacitivo em espaço livre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (MÁXIMO 10)

[1] <https://patents.google.com/patent/WO2019152035A1/en>; Near-field monitoring of energy delivery, David A Champion, James Abbott, Raymond Adamic, Gilberto Ribeiro, Cassio GONCALVES, Diego TAMI, Wellington AVENILINO, Douglas PEDERSON, Depósito PCT em 31/01/2018.

[2] <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23253-2>. DAA Ohlberg, D Tami, AC Gadelha, EGS Neto, FC Santana, D Miranda, ..., G. Medeiros-Ribeiro, Nature communications 12 (1), 1-6, 2021.

[3] [Localization of lattice dynamics in low-angle twisted bilayer graphene](#). AC Gadelha, DAA Ohlberg, C Rabelo, EGS Neto, TL Vasconcelos, ..., Gilberto Medeiros-Ribeiro, Ado Jorio, Nature 590 (7846), 405-409, 2021.

[4] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.201800528>

[5] Primenano: <http://bit.ly/3KMdQEp>

[6] Nanosurf: <http://bit.ly/3xUhfcd>

[7] Agilent: <https://bit.ly/3Y7geZl>

Nota: Atenção: preencher também a tabela da página abaixo e utilizar a fonte como descrito a seguir. Preencha os anexos I e II se for aplicável.

Fonte: Arial 12

Espaçamento: 1,5

CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO E METAS FÍSICAS (Não modificar a formatação; incluir o número de etapas necessários)

(Nota: Cronograma de execução com marcos claros de metas e entregas (máximo 4) ao longo do desenvolvimento do projeto associados ao cronograma de desembolso e de uso dos recursos. Indicar no cronograma os meses para o pagamento das parcelas de desembolso previstas no cronograma financeiro. Indicar as macro-entregas e se a mesmas implicam em mudança de TRL). (Remova os exemplos, após o preenchimento. O CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO E METAS FÍSICAS, juntamente com todo a proposta, será considerada durante a avaliação do projeto, caso aprovado)

Etapas	Atividades	Prazos
	1ª Parcela de Desembolso	M01
1	Revisão bibliográfica inicial, contratação de bolsistas e aquisição de insumos.	M01-M06
2	Operação e aprendizado de cada sistema em separado. Demonstração de AFM no sistema Porto, e demonstração de ajuste de modos de cavidade no sistema de micro-ondas.	M02-M04
3	Projeto de adequação mecânica do sistema de micro-ondas ao sistema Porto	M02-M06
4	Estudo de implementação de pontas acopladas capacitivamente a cavidade. Passo 1: pontas afiladas de Tungstênio(W) montadas em diapasão de Quartzo. (passo 1)	M02-M06
	2ª Parcela de Desembolso	M06
ME-1	Macro-entrega: Relatório descritivo contendo resultados de teste de cada componente, e estratégias para conexão das pontas (W e subsequentemente PTP) à cavidade.	M06
5	Adaptação das pontas de W e operação do sistema (Passos 1,2, 4)	M06-M16
6	Adaptação das pontas PTP e operação do sistema (Passos 1,2, 4)	M08-M16
7	Operação em malha fechada: controle de altura da sonda (passo 3)	M08-M16
	3ª Parcela de Desembolso (se for o caso)	M16
ME-2	Macro-entrega: Projeto mínimo funcional e validado em ambiente de laboratório demonstrando operação de MRM escalar (TRL 4->5)	M16
8	Implementação de modulação (passo 5)	M16-M18
9	Determinação de estratégia de calibração do sinal de Capacitância, e execução (passo 6)	M18-M28
10	Explorando as perspectivas de expansões futuras e testes de conceito (Passos 7, 8)	M18-M26
10	Teste e comissionamento do sistema em amostras diversas (passos 9, 10, 11 e 12)	M16-M28
ME-3	Macro-entrega: Projeto funcional e validado em ambiente relevante demonstrando operação de MRM vetorial (TRL 5->6)	M28

CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO DAS MACRO-ENTREGAS

(Nota: Com base no cronograma de execução, descreva os critérios de validação, as principais figuras-de-mérito a serem verificadas e as características esperadas do produto ou processo nas 04 (quatro) macro-entregas estabelecidas).

Macro-entrega	Critérios de validação
1	Relatório descritivo contendo resultados de teste de cada componente. O relatório deverá cobrir o desempenho do sistema Porto com diapasão de quartzo, área de varredura, e largura de banda do sistema de feedback do diapasão de quartzo. Para o sistema de micro-ondas, o relatório deverá cobrir diversas configurações de espelho, parafuso de ajuste de casamento de impedância, demonstrando todos os modos e perdas de retorno. Pelo menos 3 estratégias para conexão deverão ser apresentadas.
2	Imagens de sistemas de elevado contraste (linhas de metal sobre vidro ou substratos isolantes), com demonstração de resolução de pelo menos 100nm. Para a demonstração de resolução, nanoestruturas como nanopartículas metálicas poderão ser usadas.
3	Demonstração de medidas vetoriais (capacitância e condutividade), de resolução manométrica. Demonstração de sintonia de cavidade e operação em dois modos da cavidade. Demonstração de aumento de resolução com a diminuição da distância entre ponta e superfície.

ANEXO I (se aplicável)

(Nota: caso a empresa e/ou ICT tenham, ou já tiveram, projetos contemplados através do SibratecNano, favor destacar o título, período de execução, conteúdo, e descrever as similaridades e diferenças em relação a proposta atual). (máximo 1 página)

ANEXO II (se aplicável)

(Nota: Caso valor alocado em serviços para um único item ultrapassar 10% do orçamento total, uma justificativa circunstanciada deverá ser apresentada como anexo à esta proposta.) (máximo 1 página)

ANEXO III (se aplicável)

(Nota: caso a proposta esteja solicitando item de capital, utilizar este espaço para a justificativa circunstanciada da necessidade). (máximo 1 página)

Nota: Investimentos em equipamentos (capital) serão aprovados apenas em caráter excepcional e plenamente justificados em documento anexo à proposta. As despesas totais com pequenos equipamentos não devem ultrapassar o limite de 10% do valor total do projeto. O valor de cada item individual não poderá ultrapassar o valor de 5% da proposta total. Investimentos em equipamentos só serão permitidos com recursos da contrapartida financeira. Serão admissíveis apenas pequenos equipamentos que forem caracterizados como fundamentais para viabilizar o produto ou processo. A descrição do contexto da solicitação, bem como a razão do laboratório ou empresa não estar equipado com este equipamento precisam ser apresentados na forma de apêndice ao projeto, e com no máximo uma página por equipamento. Vale ressaltar que o SibratecNano parte do pressuposto que o laboratório ou empresa possuem toda a infraestrutura para realizar o projeto.

Prof. Alessandro Fernandes Moreira

Reitor da UFMG

Sr. Hudson Luiz Silva de Miranda

Representante Legal da FabNS

Sr. Jaime Arturo Ramírez

Presidente da FUNDEP

Testemunhas

1 - Prof. Gilberto Medeiros Ribeiro

Coordenador

2 - Leonardo Esteves

FUNDEP



Documento assinado eletronicamente por **Hudson Luiz Silva de Miranda, Usuário Externo**, em 16/07/2026, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5345727** e o código CRC **DD08D13C**.

Referência: Processo nº 23072.222030/2024-11

SEI nº 5345727

21040-32 Primeiro Termo Aditivo AJ 105327 pdf

Código do documento 571c4f69-5dac-4730-9b27-1bc27304a65d

Anexo: 21040-32_Plano de Trabalho.pdf



Assinaturas



Alessandro Fernandes Moreira
chefia@gabinete.ufmg.br
Assinou

Sandra Regina Goulart Almeida



Hudson Luiz Silva de Miranda
hudson@fabns.com.br
Assinou



Gilberto Medeiros Ribeiro
medeiros1@yahoo.com
Assinou como testemunha

Gilberto Medeiros Ribeiro



Ana Paula Sandinha Fagundes
anafagundes@fundep.com.br
Assinou como testemunha

Ana Paula Sandinha Fagundes



Vânia Barbosa dos Santos
vaniasantos@fundep.com.br
Acusou recebimento

Vânia Barbosa dos Santos



JAIME ARTURO RAMIREZ
presidencia@fundep.com.br
Assinou

Jaime Arturo Ramirez

Eventos do documento

20 Jul 2026, 11:24:49

Documento 571c4f69-5dac-4730-9b27-1bc27304a65d **criado** por VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a). Email: vaniasantos@fundep.com.br. - DATE_ATOM: 2026-07-20T11:24:49-03:00

20 Jul 2026, 11:52:29

Assinaturas **iniciadas** por VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a). Email: vaniasantos@fundep.com.br. - DATE_ATOM: 2026-07-20T11:52:29-03:00

20 Jul 2026, 12:36:52

HUDSON LUIZ SILVA DE MIRANDA **Assinou** - Email: hudson@fabns.com.br - IP: 177.67.248.38 (177.67.248.38 porta: 47782) - Documento de identificação informado: 121.707.036-24 - DATE_ATOM: 2026-07-20T12:36:52-03:00

20 Jul 2026, 13:14:06

ANA PAULA SANDINHA FAGUNDES **Assinou como testemunha** (9b87b6b6-bd4b-4765-ac76-6ed983eeefd9) -

Email: anafagundes@fundep.com.br - IP: 189.125.155.170 (170.155.125.189.static.impsat.net.br porta: 50074) - Documento de identificação informado: 070.422.536-04 - DATE_ATOM: 2026-07-20T13:14:06-03:00

20 Jul 2026, 13:49:42

VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a). Email: vaniasantos@fundep.com.br. **ADICIONOU** o signatário **presidencia@fundep.com.br** - DATE_ATOM: 2026-07-20T13:49:42-03:00

20 Jul 2026, 14:28:30

JAIME ARTURO RAMIREZ **Assinou** (9ffe304d-fd4d-4ffc-a6bd-3cfa2cb8f1f4) - Email: presidencia@fundep.com.br - IP: 187.111.30.218 (mvx-187-111-30-218.mundivox.com porta: 16496) - **Geolocalização: -19.862697194216338 -43.96750834940347** - Documento de identificação informado: 554.155.556-68 - DATE_ATOM: 2026-07-20T14:28:30-03:00

20 Jul 2026, 19:41:38

GILBERTO MEDEIROS RIBEIRO **Assinou como testemunha** (2dedf41a-450f-4367-aa35-19ae02569537) - Email: medeiros1@yahoo.com - IP: 177.116.7.104 (177-116-7-104.user.vivozap.com.br porta: 39800) - **Geolocalização: -19.958351115814377 -43.93135839253542** - Documento de identificação informado: 546.890.236-20 - **Assinado com EMBED** - Token validado por **email** - DATE_ATOM: 2026-07-20T19:41:38-03:00

21 Jul 2026, 14:22:28

ALESSANDRO FERNANDES MOREIRA **Assinou** (3aaf3b7d-94fc-4a8d-960e-a2d2db8de082) - Email: chefia@gabinete.ufmg.br - IP: 150.164.73.190 (150.164.73.190 porta: 15982) - Documento de identificação informado: 801.644.476-87 - DATE_ATOM: 2026-07-21T14:22:28-03:00

21 Jul 2026, 15:04:06

VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS **Acusou recebimento** (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a) - Email: vaniasantos@fundep.com.br - IP: 189.125.155.170 (170.155.125.189.static.impsat.net.br porta: 63124) - Documento de identificação informado: 085.591.276-66 - DATE_ATOM: 2026-07-21T15:04:06-03:00

Hash do documento original

(SHA256):bcad13aec1ef2d38b648466875c37774fdf6e93e428e2119c89a2b7c9c68e875

(SHA512):dd397c2070ddea9bdb52fe454d1cfbae7b00ea4177b0f28d5fa61c489286d2707c0bfffda440b1490bf9278e7dd91c3ed85795b3ca6e1a3d0ec94f0b2010767a

Hash dos documentos anexos

Nome: 21040-32_Plan de Trabalho.pdf

(SHA256):4f0a25df2227b6f4b5123f8e1107700acf53541954ff122d5fc4a47aa3bdbb03

(SHA512):60bf0ae38eecd3e496dee1ea441575d5b1fa557516c3873f555a2d2e8186bec7fe3ee186b3a5dd518d091cd76eabdf9c068dc0ee69e1af7026f5264d29dea68

Esse log pertence **única e exclusivamente** aos documentos de HASH acima



Esse documento está assinado e certificado pela D4Sign

Integridade certificada no padrão ICP-BRASIL

Assinaturas eletrônicas e físicas têm igual validade legal, conforme **MP 2.200-2/2001** e **Lei 14.063/2020**.