

**RELATÓRIO PARA INTEGRALIZAÇÃO DE ESTÁGIO PÓS-
DOUTORAL VOLUNTÁRIO NOS TERMOS DA RESOLUÇÃO N. 4.517,
DE 20 DE MAIO DE 2014**

RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA

TÍTULO: Investigação da utilização do algoritmo de busca cuco na otimização multiobjetivo e síntese de superfícies seletivas de frequência para filtragem de ondas milimétricas.

TITLE: Investigation of the use of the Cukoo Search algorithm in the multi-objective optimization and synthesis of selective frequency surfaces for millimeter wave filtration.

CANDIDATO: Miércio Cardoso de Alcântara Neto.

INSTITUIÇÃO DE DESTINO: Universidade Federal do Pará.

SUPERVISOR: Professor Doutor Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO (PPG): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE).

COORDENADORA: Professora Doutora Maria Emília de Lima Tostes.

PALAVRAS CHAVE: superfícies seletivas de frequência, otimização multiobjetivo, algoritmos bioinspirados, busca cuco, ondas milimétricas, ferrite magnetizada.

RESUMO: A evolução da computação tem possibilitado avanços substanciais em pesquisas relacionadas à engenharia e em projetos industriais. Nestas áreas, o emprego de ferramentas computacionais tem se intensificado para simulação e obtenção de determinados parâmetros. Contudo, a crescente demanda por precisão e o aumento gradativo da complexidade das estruturas e sistemas, resulta num processo de simulação cada vez mais demorado, pois a avaliação de um único critério pode consumir várias horas, bem como vários dias ou até mesmo semanas. Logo, um método que minimize o tempo de simulação e otimização pode, assim,

economizar tempo e dinheiro. Nesse contexto, a computação bioinspirada (*bioinspired computing* – BIC), se apresenta precisa e eficiente, onde muitos métodos computacionais tradicionais falham e, consiste em novo mecanismo para suprir as dificuldades impostas no desenvolvimento de determinado projeto. Com isso, este projeto desenvolveu um estudo acerca do algoritmo de busca cuco, sendo este aplicado com sucesso em projetos e otimização de problemas de caráter geral na engenharia e na indústria. Com isso, desenvolveu-se um algoritmo evolutivo multiobjetivo (*multiobjective evolutionary algorithm* – MOEA) buscando reduzir o custo computacional e, conseqüentemente, menor tempo para processamento computacional dos dados. Inicialmente, foi realizada uma investigação eletromagnética (EM) de uma estrutura de superfície seletiva de frequência (*frequency selective surfaces* – FSS) do tipo *patch*, a partir de um arranjo de losangos dispostos sobre substrato de ferrite magnetizada, os valores numéricos das propriedades EM desta FSS foram calculados através de simulações computacionais realizadas no *software CST Studio®*, que emprega a técnica de análise de onda completa das integrais finitas (*Finite Integral Technique* – FIT). A metodologia empregada consiste na utilização de uma rede neural artificial de regressão generalizada (*general regression neural network* – GRNN), que será treinada pelos dados EM calculados pela ferramenta de simulação, sendo a GRNN responsável pela operação de análise dos dados. Posteriormente, a rede neural criará um espaço de busca denominado região de interesse (*region of interest* – ROI), nesta região, o algoritmo de otimização desenvolvido realizará buscas das melhores soluções, as quais atendam a função objetivo, ou função custo do projeto, caracterizando dessa forma a técnica denominada de técnica híbrida. No estado da arte, existe uma vasta literatura na qual é possível verificar que as técnicas híbridas multiobjetivo de otimização bioinspirada são capazes de prover rápida convergência para a solução da função objetivo e, viabilizam a redução do tempo necessário para processamento computacional, o que possibilita maior flexibilidade e precisão dos resultados obtidos. No entanto, estas técnicas são exploradas com sucesso na faixa de micro-ondas (IEEE 802.11 e IEEE 802.16), sendo ainda pouco exploradas em padrões de comunicação por rádio que operem em faixas de frequências mais elevadas. Dessa forma, os objetivos do processo de síntese a ser desenvolvido nesta pesquisa, se concentram em sintonizar a frequência de ressonância e a banda de operação da FSS investigada para operação no sistema de comunicação por ondas milimétricas (IEEE 802.15.3c), faixa de frequências ainda pouco explorada para emprego de técnicas de otimização BIC. Para validação dos resultados otimizados, foram realizadas novas simulações utilizando o Método dos Elementos Finitos (*Finite Element Method* – FEM), os resultados obtidos pela

técnica híbrida desenvolvida foram confrontados com os simulados, e estes apresentaram boa concordância.

1. Justificativa e relevância do tema da pesquisa

A computação bioinspirada (BIC) consiste em um novo paradigma da ciência da computação moderna inspirado no comportamento de organismos vivos. As ideias extraídas de sistemas naturais, já vêm sendo utilizadas com sucesso para o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas capazes de resolver problemas gerais, e com elevada complexidade na engenharia e na indústria [1] – [2].

Essa temática possui caráter transversal e multidisciplinar, com uma ampla gama de aplicações e, o fato dos algoritmos evolutivos ou de otimização natural (heurísticos ou meta-heurísticos) serem quase sempre auto organizáveis, adaptáveis e tolerantes a defeitos aleatórios, justifica o crescente interesse por parte dos pesquisadores da comunidade do eletromagnetismo (EM) [1] – [3]. Dentre estes códigos se destacam os clássicos algoritmo genético (AG), a rede neural artificial (RNA) e, a otimização por enxame de partículas (PSO), ambos utilizados com sucesso no processo de otimização.

Na busca por combinar as principais vantagens dos algoritmos clássicos, pesquisadores estão propondo em seus trabalhos novos algoritmos meta-heurísticos, seja para acelerar o processo de desenvolvimento do projeto, ou para melhorar as características físicas dos dispositivos projetados, tais como: ganho, largura de banda, diagrama de radiação em antenas, ou para geometrias com dimensões reduzidas mais adequadas para o projeto de antenas e FSS. Dessa forma, originando novos algoritmos otimizadores, dentre os quais merecem destaque os algoritmos de Busca Cuco proposto por Yang e Deb [4] em 2009 e, o Algoritmo de Ecolocalização do Morcego proposto por Yang [5] em 2010.

Ao explorar as potencialidades dessas ferramentas computacionais, pesquisadores planejam redes neurais artificiais (RNA) para trabalharem em conjunto com algoritmos de otimização, esta técnica é denominada de método híbrido [6] – [7]. Nesta disposição, a RNA, após ser treinada com os dados EM, calculados pelo método numérico empregado no projeto, cria um espaço de busca denominado de região de interesse (ROI) e, nessa região, os algoritmos de otimização realizam buscas pelas melhores soluções, as quais atendam de maneira ótima a função objetivo (ou função custo) do projeto.

Esse processo viabiliza maior robustez e flexibilidade ao projeto, garantindo resultados ainda mais precisos e, em alguns casos, minimiza substancialmente o tempo demandado para

processamento das estruturas, o que contribuiu para o aumento significativo do emprego desta técnica à projetos em áreas como a das micro-ondas [8].

No âmbito das comunicações por rádio difusão, os filtros superfícies seletivas de frequência (FSS) têm sido largamente empregados devido seu baixo custo de fabricação, peso reduzido e possibilidade de se integrar com outros circuitos de micro-ondas [9]. Uma das aplicações mais importantes das FSS em telecomunicações é projetar estruturas com características de filtragem do tipo passa-faixa ou rejeita-faixa, usando elementos do tipo *slot* ou *patch*, respectivamente. E, elas são especialmente importantes para diversas aplicações, como suporte a comunicação de aviões, foguetes, mísseis, *radomes*, sistemas de antenas, entre outras [10].

Pesquisadores da área do eletromagnetismo aplicado, recentemente, tem direcionado seus esforços para pesquisas de estruturas ressonantes capazes de operar em sistemas de comunicação *Wireless Personal Area Network* (WPAN), onde a comunicação por rádio difusão se dá através de ondas milimétricas (mm) em frequências, por exemplo, de 60 GHz ou superior [11], que já estão contempladas pelo padrão IEEE 802.15.3c. No entanto, as pesquisas voltadas a essa área, tradicionalmente, têm sido desenvolvidas somente pela comunidade de micro-ondas e a comunidade de projetos de circuitos integrados para rádio frequência (RF) [11] – [22].

As características expostas se tornam atraentes por demonstrar uma vasta área de pesquisa que se traduz em teoria de micro-ondas, no tocante a adaptação de sistemas e metodologias já aplicadas com sucesso em RF, e a possibilidade do desenvolvimento de projetos para novas estruturas ressonantes com aplicações voltadas as WPAN em ondas milimétricas (mmWave).

É neste contexto que este estudo traz como escopo o desenvolvimento de um algoritmo meta-heurístico voltado para otimização de dispositivo ressonante para mmWave, a exemplo dos aplicados com sucesso em micro-ondas [6], [7], [23] – [25], conseqüentemente, para aplicações nos sistemas de comunicação pertencentes ao padrão IEEE 802.15.3c. Para isso, foi desenvolvido um código para otimização das dimensões geométricas da FSS investigada, a qual foi projetada para sintonizar frequência e largura de banda indicadas na função objetivo dos algoritmos de otimização.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral:

Minimizar o esforço computacional e o tempo demandado para processamento das propriedades eletromagnéticas (EM) durante o processo de otimização da FSS losango. A

metodologia aplicada consiste na utilização de técnica híbrida, na qual uma rede neural de regressão generalizada (GRNN) será desenvolvida para modelagem das estruturas e para criação da ROI, substituindo assim a necessidade da análise de onda completa por parte de uma dada técnica numérica. Nesta região, o algoritmo de otimização de busca cuco realizará o tratamento dos dados EM e identificará as melhores soluções.

Adaptar tal código otimizador, que é utilizado com sucesso em micro-ondas, para aplicações em comunicações por rádio que se desenvolvem na faixa de frequências das ondas-milimétricas.

2.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Desenvolver nova geometria para FSS que seja capaz de operar como filtros espacial de banda ultra larga para aplicações em ondas-milimétricas nas frequências pertencentes ao padrão IEEE 802.15.3c;
- ✓ Reduzir o esforço computacional e o tempo para processamento exigido por programas comerciais durante o processo de otimização de FSS, substituindo-os por ferramentas de otimização meta-heurísticas, a saber: rede neural artificial para modelagem das FSS e algoritmo de otimização multiobjetivo bioinspirado como o algoritmo de busca cuco;
- ✓ Incentivar/fortalecer a cooperação entre os diversos grupos e pesquisadores da Universidade Federal do Pará (UFPA) e o grupo do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicação Sem Fio (INCT-CSF), que é sediado na Universidade Federal de Natal (UFRN);
- ✓ Treinar recursos humanos na área com habilidades de programação de algoritmos de otimização e que possam dar suporte aos temas de pesquisas relacionadas neste projeto.

3. Fundamentação Teórica

Em quase todas as aplicações na engenharia e na indústria, busca-se otimizar algo para minimizar o custo, o consumo de energia ou maximizar o lucro, a produção, desempenho e eficiência dos projetos. Na realidade, os recursos, tempo e dinheiro, são sempre limitados e, conseqüentemente, a otimização é muito mais importante na prática [26] – [27]. A utilização ótima dos recursos disponíveis, de qualquer tipo, requer uma mudança de paradigma no pensamento científico, pois a maioria das aplicações do mundo real têm fatores muito mais complexos e parâmetros que afetam a forma como o sistema funcionará na prática.

Em muitos campos da engenharia, a avaliação de um único projeto pode demandar vários dias ou mesmo semanas, qualquer método que possa acelerar o tempo de simulação e o

processo de otimização, é capaz de economizar tempo e dinheiro. Para qualquer problema de otimização, os componentes integrados neste processo consistem do algoritmo otimizador, um simulador numérico eficiente, e uma representação mais realista dos processos físicos que se deseja modelar e otimizar. Logo, a crescente demanda por precisão e o aumento gradativo da complexidade das estruturas e sistemas, resulta num processo de simulação cada vez mais demorado. Em engenharia de antenas, por exemplo, durante o projeto e análise de novos dispositivos para rádio difusão, tal como FSS, a avaliação de um único critério pode consumir várias horas ou até mesmo dias.

No processo de otimização de tais dispositivos, muitas vezes deseja-se atender a mais de uma condição ou objetivo. Assim, esse processo de otimização multiobjetivo envolve a minimização ou maximização da função objetivo, ou função custo, que está sujeita a um conjunto de restrições [28] – [29]. O aumento da largura de banda, ressonância em frequência específica e ajuste da impedância de entrada em estruturas ressonantes, são exemplos comuns de objetivos a serem alcançados em projetos de tais dispositivos.

Os primeiros resultados no campo da otimização multiobjetivo foram apresentados por Pareto em seu trabalho relacionado a economia "*Cours d'Economie Politique*" [30], onde foi introduzido o conceito de solução eficiente. Ou seja, quando duas ou mais soluções são consideradas, tem-se que algumas delas podem ser melhores que outras em relação a todos os objetivos considerados, tais soluções são chamadas de soluções não dominadas. Em geral, problemas de otimização multiobjetivo requerem a definição alternativa do “valor ótimo”, ou valor de referência. Por exemplo, ao se considerar o problema multiobjetivo a seguir:

$$\text{Max } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\} \quad \because \quad X \in \Omega \subset \mathbb{R}^m \quad (3.1).$$

Se $X_0 \in \Omega$, tal que $f_i(x_0) \geq f(x) \forall X \neq X_0 \in \Omega$, para algum i , então X_0 é dito não dominado em Ω . Todos os pontos X_0 que satisfaçam a propriedade acima são denominados Frente de Pareto.

Na relação de dominação, se x_1 e $x_2 \in \mathbb{R}$, onde \mathbb{R} é uma região viável de soluções, tem-se que x_2 domina x_1 se $f(x_2)$ é tomado como sendo parcialmente maior ou maior que $f(x_1)$, ou seja,

$$f_i(x_1) \leq f_i(x_2), \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

e,

$$f_i(x_1) < f_i(x_2), \exists i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

caso não haja algum $x_i \in \mathbb{R}$ que domine x_2 , então x_2 é assumido como uma solução ótima de Pareto.

A Fig. 3.1 mostra um exemplo dessa relação de dominação. Nesta, as setas indicam, da esquerda para a direita, as soluções: dominada (pior caso) e não-dominada (solução ótima), respectivamente.

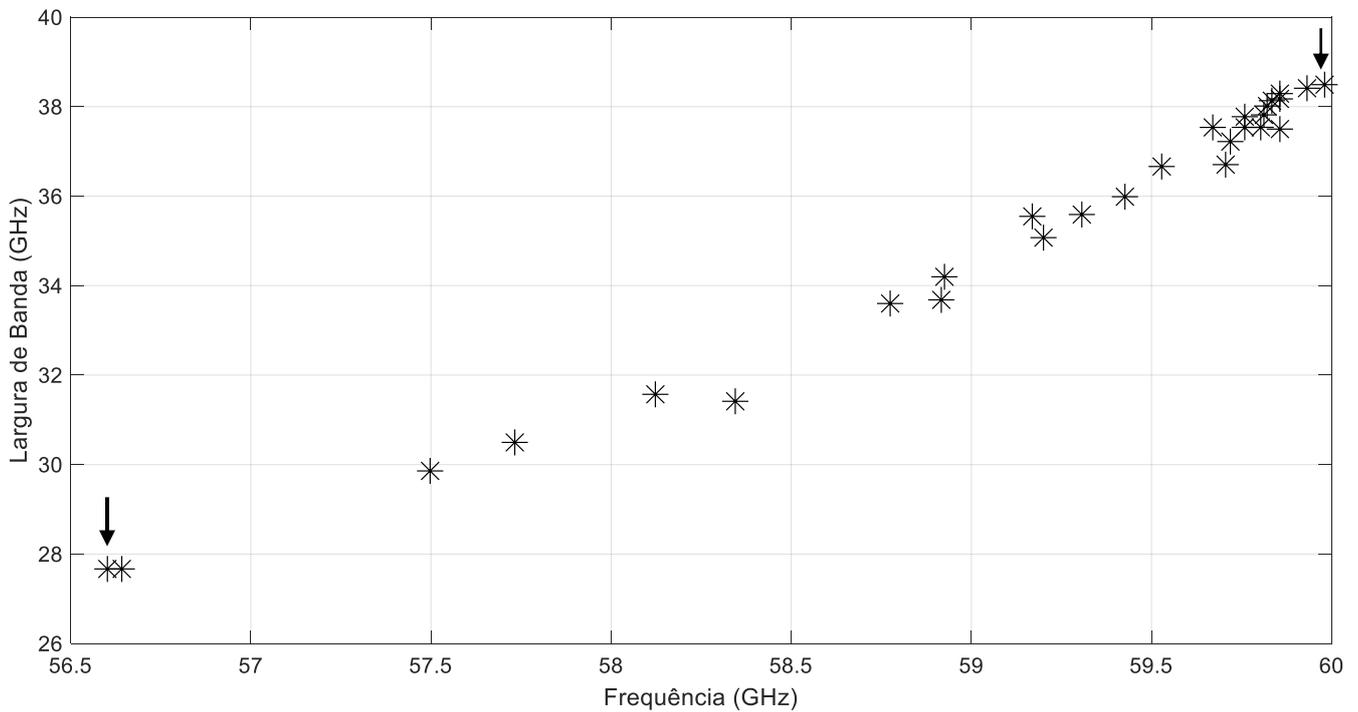


Figura 3.1. Relação de dominação para a função custo.

O conjunto de todas as soluções não dominadas define a fronteira ótima de Pareto. Obtida essa fronteira, o “decisor” escolhe a solução mais adequada (solução *tradoff*) que atenda aos objetivos do projeto.

Quando algumas variáveis de projeto podem assumir apenas valores discretos (geralmente inteiros), enquanto outras variáveis são reais e contínuas, o problema é do tipo misto, se tornando muitas vezes difícil de resolver, principalmente para a otimização em larga escala. Uma classe muito especial de otimização é a otimização convexa, o que tem garantido o ótimo global. Qualquer solução ideal é também um ótimo global e, mais importante, existem algoritmos eficientes de tempo polinomial para resolver tais problemas [31].

Há três questões principais na otimização voltada para simulação e modelagem, que são: a eficiência de um algoritmo, a eficiência e a precisão de um simulador numérico e a atribuição dos algoritmos mais adequados para determinado problema. Apesar de sua importância, não existem regras satisfatórias ou diretrizes para tais questões. Obviamente, tenta-se usar os algoritmos mais eficientes disponíveis, mas a real eficácia de um algoritmo depende de muitos fatores, tais como o trabalho interno de um algoritmo, as informações necessárias (como funções objetivo e suas derivadas) e detalhes de implementação.

A eficácia de um simulador é ainda mais complicada, pois depende dos métodos numéricos reais utilizados e a complexidade do problema de interesse. Quanto à escolha dos algoritmos certos para problemas específicos, há muitas observações empíricas, mas ainda não há diretrizes determinadas neste sentido. Na verdade, não existem algoritmos universalmente eficazes para todos os tipos de problemas. Portanto, a escolha depende de muitos fatores e é, por vezes, sujeito às preferências pessoais de pesquisadores e tomadores de decisão.

Um otimizador eficiente é muito importante para garantir que as melhores soluções sejam atingidas. A essência de um otimizador é um algoritmo de busca ou otimização implementada corretamente, de modo a realizar a pesquisa desejada (embora não necessariamente eficiente). Ele pode ser integrado e articulado com outros componentes do modelo. Existem muitos algoritmos de otimização na literatura, e nenhum algoritmo é adequado para todos os problemas, de maneira geral.

Algoritmos de otimização podem ser classificados de diversas maneiras, dependendo do foco ou das características que se está tentando comparar. Algoritmos podem ser classificados como baseados em gradiente (ou baseados em derivadas), e livre ou derivado (isento de inclinação). Os métodos classificadores de descida mais acentuada, por exemplo, os métodos de Gauss-Newton, baseiam-se em gradiente e utilizam a informação derivada no algoritmo, e o método Nelder-Mead de descida simplex [32], que é um método isento de derivadas pois utiliza apenas os valores do objetivo e não quaisquer derivados.

Algoritmos também podem ser classificados como determinísticos ou estocástico, ou seja, se um algoritmo funciona de uma maneira determinística, ou mecanicamente, sem qualquer natureza aleatória, é chamado determinístico. Os métodos de subida (*hill climbing*) e descida (*downhill*) simplex são bons exemplos de algoritmos determinísticos. Por outro lado, se houver alguma aleatoriedade no algoritmo, o algoritmo chegará a um ponto diferente cada vez que for executado, apesar de partir de um mesmo ponto inicial. Algoritmos genéticos e o método de subida simplex (*hill climbing*) com uma reinicialização aleatória, são bons exemplos de algoritmos estocásticos.

Analisando-se detalhadamente algoritmos estocásticos, é possível destacar o tipo de aleatoriedade que um determinado algoritmo está empregando. Por exemplo, o mais simples é ainda muitas vezes o método mais eficiente, servindo como a introdução de um ponto de partida para um algoritmo determinístico. Nesse caso, o método de subida com reinicialização aleatória é um bom exemplo de estratégia simples e eficiente para essas aplicações e, é de implementação simplificada na prática.

A maneira mais elaborada para introduzir aleatoriedade a um algoritmo, é usar aleatoriedade dentro diferentes componentes do código e, neste caso, muitas vezes chamamos tal algoritmo de heurístico ou, mais frequentemente, meta-heurístico [26], [33] – [34].

Um bom exemplo de algoritmos heurísticos são os populares algoritmos genéticos, que usam a aleatoriedade e mutação em termos de probabilidade de cruzamento da população cromossômica. Neste, a heurística consiste na busca por tentativa e erro, enquanto a meta-heurística é um nível mais elevado de heurísticas. No entanto, a literatura moderna tende a referir-se a todos os novos algoritmos estocásticos como meta-heurísticos. Por esta razão, estes são temas de pesquisas recentes e novos algoritmos aparecem quase anualmente [26] e [34].

Do ponto de vista da mobilidade, os algoritmos podem ser classificados como locais ou globais. Algoritmos de busca local, normalmente convergem para um ótimo local, não necessariamente o ótimo global, e esses algoritmos são muitas vezes decisivos e não possuem capacidade de escapar de ótimos locais, os de subida (*hill climbing*) simplex são exemplos de tais algoritmos. Por outro lado, havendo interesse em se encontrar o ótimo global para um determinado problema, algoritmos de busca local não são adequados, e tem-se que aplicar um algoritmo de busca global.

Algoritmos meta-heurísticos modernos, na maioria dos casos, são destinados para a otimização global, embora o processo nem sempre seja bem-sucedido ou eficiente. Uma estratégia simples, como subida (*hill climbing*) com a reinicialização aleatória pode alterar um algoritmo de busca local em uma pesquisa global. Em sua essência, a aleatoriedade é um componente eficiente para os algoritmos de busca global.

Seja qual for a classificação de um algoritmo, a escolha correta da ferramenta que melhor se adeque aos objetivos do projeto faz-se necessário e, em alguns casos, o emprego de métodos híbridos podem possibilitar ainda mais precisão.

3.1. Algoritmos Meta-Heurísticos

Algoritmos meta-heurísticos são muitas vezes inspirados na natureza, e agora eles estão entre os algoritmos mais utilizados para otimização, pois possuem muitas vantagens sobre os

algoritmos de otimização convencionais. A eficiência dos algoritmos meta-heurísticos pode ser atribuída ao mimetismo dos melhores recursos da natureza, especialmente a seleção dos mais aptos em sistemas biológicos que evoluíram pela seleção natural ao longo de milhões de anos.

Duas características importantes destes códigos são a intensificação e diversificação [35]. A intensificação se destina a pesquisar localmente e de forma mais intensa, enquanto a diversificação fornece a certeza de que o algoritmo explora o espaço de busca globalmente. Um bom equilíbrio entre esses dois componentes é muito importante para a eficiência e o desempenho geral de um algoritmo.

A baixa diversificação ou utilização e muita exploração ou intensificação poderia levar o sistema a ser preso em ótimos locais, o que torna muito difícil ou mesmo impossível encontrar o ótimo global. O equilíbrio é um problema de otimização, e uma das principais tarefas de projetar novos algoritmos é encontrar um equilíbrio a respeito desta otimização. Além disso, apenas a utilização e exploração não são suficientes.

Durante o processo de busca, a frente de Pareto constitui-se em um mecanismo ou critério para selecionar as melhores soluções, ou soluções não dominadas, e dessa forma garantir a “sobrevivência do mais apto”, ou seja, manter dados atualizados da solução com os melhores resultados encontrado até aquele instante. Outrossim, o elitismo é aplicado com frequência, o que garante que as melhores, ou as soluções mais aptas, não sejam perdidas e sejam transferidas para as próximas gerações. A seguir serão descritos alguns dos algoritmos bioinspirados que foram utilizados nesta pesquisa.

3.2. Algoritmo de Busca Cuco

É um dos mais recentes algoritmos meta-heurístico inspirado na natureza e que foi desenvolvido por Yang e Deb em 2009 [4], o mesmo tem sido usado eficientemente para soluções globais de problemas da engenharia. O código é baseado no parasitismo durante a ninhada de algumas espécies dessas aves, ao colocar seus ovos em ninhos de outras aves.

Algumas vezes, o cuco pode desejar se livra dos ovos da ave hospedeira (dona do ninho) para aumentar a probabilidade de eclosão de seus próprios ovos, caracterizando o parasitismo. O código é reforçado pela construção de trajetórias conhecidas como voos de Lévy [40].

Por padrão, o algoritmo de busca cuco (*cuco search* – CS) é idealizado em três regras básicas [4]:

i – cada cuco coloca um ovo por vez e deposita-o em um ninho, de ave de outra espécie, escolhido aleatoriamente;

ii – os melhores ninhos, com ovos de alta qualidade, serão escolhidos para as próximas gerações;

iii – o número de ninhos disponível é fixo e o ovo colocado por um cuco é descoberto pelo pássaro hospedeiro com probabilidade p_a . Neste caso, a ave hospedeira pode querer se livrar do ovo, ou simplesmente abandonar o ninho e construir um novo.

Para otimização de problemas com n objetivos diferentes via CS ou Algoritmo de Busca Cuco Multiobjetivo (*Multiobjective Cuckoo Search* - MOCS), deve-se alterar a primeira e a última regra para incorporar o multiobjetivo [41]:

i – cada cuco põe k ovos por vez e, deposita-os em um ninho escolhido aleatoriamente. O ovo k corresponde à solução do k -ésimo objetivo;

ii – os ninhos poderão ser abandonados com probabilidade p_a e um novo ninho com k ovos será constituído de acordo com o grau de semelhança entre os mesmos. Algumas misturas aleatórias podem ser usadas para gerar diversidades e se evitar mínimos locais.

Esta última regra pode ser aproximada ao se assumir, para simplificar, que uma fração p_a dos n ninhos, ao invés de serem abandonados, serão substituídos por novos ninhos (com novas soluções aleatórias em novos locais). Para a maximização dos objetivos, a qualidade ou adequação de uma solução pode ser simplesmente proporcional a cada função objetivo e se deve buscar uma solução não dominada.

A estrutura do algoritmo MOCS inclui duas operações principais, sendo uma busca direta baseada nos voos de Lévy, e uma pesquisa aleatória baseada na probabilidade de um pássaro hospedeiro descobrir um ovo “alienígena” em seu ninho. Dessa forma, cada ninho representa uma solução diferente e uma população de ninhos é usada para encontrar a melhor solução do problema, tal como outros métodos de pesquisa populacional meta-heurística.

O voo de Lévy é uma busca espacial eficiente em que as mudanças de direção são isotrópicas e aleatórias, os seguimentos da trajetória são retilíneos e seus comprimentos seguem uma distribuição de Lévy. Os tubarões, por exemplo, alternam entre o movimento browniano quando a caça é abundante em uma determinada região próxima e o movimento guiado por voo de Lévy quando a caça está escassa nessa região [42]. Um exemplo do voo de Lévy com 100 passos pode ser observado na Fig. 3.2.

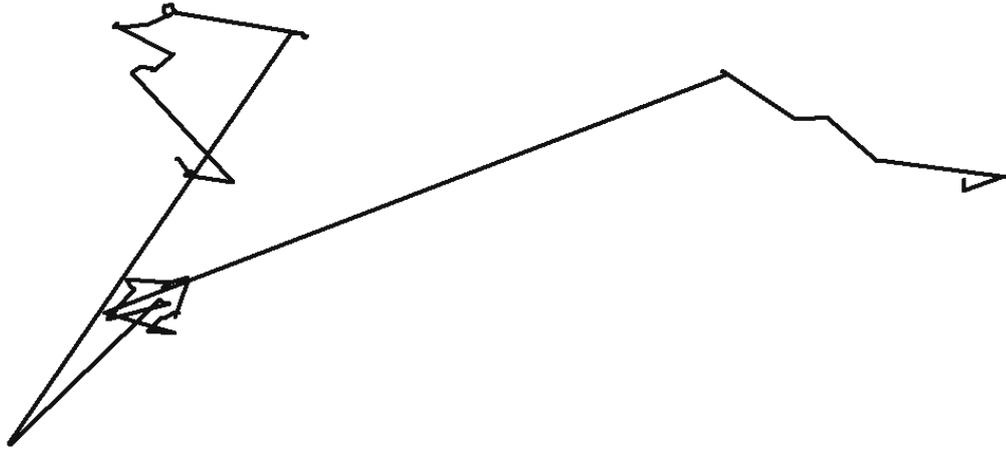


Figura 3.2. Voo de Lévy 2D com 100 passos.

Matematicamente falando, a primeira regra, pode ser entendida como um processo aleatório, de modo que uma nova solução possa ser gerada por meio do voo de Lévy. Para cada ninho, pode haver k ovos (soluções) que podem ser gerados da mesma forma da Eq. (3.4). Simultaneamente, uma permutação aleatória é realizada através do cruzamento das melhores soluções encontradas.

As soluções são aceitas e são atualizadas as taxas de emissão r_i e amplitude A_i na iteração t , segundo as expressões:

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (3.4)$$

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (3.5)$$

onde α e γ são constantes no intervalo $0 < \alpha < 1$ e $\gamma > 1$, isto é

$$A_i^t \rightarrow 0, \text{ e } r_i^t \rightarrow r_i^0, \text{ com } t \rightarrow \infty \quad (3.6)$$

Na maioria dos casos, tem-se que $\alpha > 0$ para a Eq. (3.4). Este é o tamanho do passo que deve se relacionar com a escala do problema de interesse ou, em alguns casos, se pode utilizar $\alpha = 0$.

Para se verificar as diferentes qualidades entre as soluções, se pode utilizar,

$$\alpha = \alpha_0 (x_j^{(t)} - x_i^{(t)}) \quad (3.7)$$

onde α_0 é uma constante, enquanto os demais termos correspondem a diferença entre duas soluções aleatórias. O mimetismo entre os ovos do cuco e os da ave hospedeira torna-os menos propensos a serem descobertos, assim, novas soluções são geradas pela proporcionalidade entre as diferenças.

A segunda regra, essencialmente, corresponde ao elitismo, assim que as melhores soluções são escolhidas, passa-se para a próxima geração. Tal escolha ajuda a garantir que o algoritmo convirja adequadamente.

Além disso, a terceira regra também pode ser considerada como uma mutação, de modo que as piores soluções sejam descartadas e, novos ovos (soluções) sejam gerados, de acordo com a semelhança entre as soluções. Isto implica que a mutação é um operador vetorizado através da combinação dos voos de Lévy e a diferenciação entre as qualidades das soluções. Este processo combinacional se faz necessário, para garantir a eficiência do algoritmo proposto.

O voo de Lévy proporciona, fundamentalmente, um passeio aleatório, enquanto que seus passos aleatórios são dados pela distribuição de Lévy para grandes passos, tal como dado na Eq. (3.6).

Uma fração p_a dos piores ninhos, então, pode ser abandonada de modo que novos ninhos possam ser construídos em outros locais obtidos pelos passeios aleatórios. A mistura dos ovos (soluções) pode ser realizada pela permutação aleatória de acordo com a semelhança/diferença em relação aos ovos da ave hospedeira.

Conseqüentemente, para se chegar ao tamanho do passo s para geração das amostras utilizando voos Lévy não é um processo tão trivial. Um esquema simplificado é abordado em detalhes por Yang [26] e [43], e pode ser resumido como,

$$s = \alpha_0(x_j^{(t)} - x_i^{(t)}) \oplus \text{Lévy}(\beta) \approx 0,01 \frac{u}{|v|^{1/\beta}} (x_j^{(t)} - x_i^{(t)}) \quad (3.8)$$

onde u e v são obtidos pela distribuição normal. Ou seja,

$$u \approx N(0, \sigma_u^2) \quad \therefore \quad v \approx N(0, \sigma_v^2) \quad (3.9)$$

com σ_u e σ_v iguais a 1.

Com base nas três regras discutidas anteriormente, os passos básicos do MOCS podem ser resumidos em um pseudocódigo apresentado na Fig. 3.3.

Início

Inicialize a função objetivo $f_1(x), \dots, f_k(x), x = (x_1, \dots, x_d)^T$

Gere uma população inicial de n ninhos hospedeiros x_i , e cada um com k ovos

quando ($t < \text{MaxGeração}$) ou (critério de parada)

Obtenha um Cuco (denominado i) aleatoriamente por voo de Lévy

Avalie e cheque se este é o valor ótimo de Pareto

Escolha um ninho entre n (denominado j) aleatoriamente

Avalie as k soluções para o j -ésimo ninho

se os ninhos i dominam as novas soluções dos ninhos j

Substitua o ninho i pelo novo conjunto de soluções do ninho j

fim

Abandone uma fração (p_a) dos piores ninhos

Mantenha as melhores soluções (ou conjunto de ninhos não dominados)

Classifique e encontre a atual solução ótima de Pareto

fim

Resultados pós processamento e visualizações

Fim

Figura 3.3. Pseudocódigo do algoritmo de busca cuco multiobjetivo.

Em suma, o algoritmo MOCS apresenta características singulares, tal como: a exploração/mutação por voo Lévy e a obtenção de diferentes soluções vetorizadas, a permutação aleatória seletiva e, o elitismo. O CS se utiliza fundamentalmente de uma boa combinação de todas essas ferramentas e, portanto, é potencialmente mais robusto quando confrontado a algoritmos que se utilizam somente de algumas destas ferramentas. Como no caso do PSO que pode se utilizar de uma atualização do vetor velocidade, como no termo de $\varepsilon(x_i - g^*)$, que é a diferença entre a solução atual x_i e a melhor solução global atual g^* . Esta é sua principal forma de randomização, pois limita os passos que são proporcionais as diferentes soluções [44].

Por conseguinte, no CS, a randomização pode ser mais eficiente, como no caso do tamanho dos passos, que obedecem a uma distribuição de Lévy e podem ser aproximados pela lei da potência. Assim, as etapas de busca consistem em vários pequenos passos e,

ocasionalmente, em grandes passos e, a longa distância, em saltos. Comparando-o novamente ao PSO, estes longos saltos podem aumentar a eficiência do CS significativamente especialmente em casos multimodais e problemas não lineares.

4. Resultados Numéricos

A análise das características eletromagnéticas (EM) de uma Superfície Seletiva de Frequências (FSS), geralmente, demanda a aplicação de rigorosas técnicas numéricas para análise de onda completa. Entretanto, esta análise demanda alto custo computacional, acarretando um elevado gasto de tempo para execução dos cálculos das propriedades de tais dispositivos ressonantes.

Pesquisadores, em alguns casos, ainda optam pelo processo de tentativa e erro [45], até alcançar determinado critério do projeto. Obviamente, este procedimento é trabalhoso e dependente da intervenção humana.

A modelagem e otimização computacional bioinspirada (BIC), no entanto, se apresenta como um importante paradigma com uma vasta gama de aplicações na engenharia e na indústria. Áreas estas em que, quase sempre, se tem interesse em otimizar algo, seja para minimizar o custo e o consumo de energia, ou para maximizar o lucro, a produção, desempenho e eficiência dos projetos.

Neste estudo foi investigada uma FSS do tipo *patch* losango para aplicações no padrão IEEE 802.15.3c. Para as simulações, foi considerado um arranjo sobre um substrato de ferrite magnetizada excitado por um campo magnético DC nas direções x , y e z .

A Fig. 4.1 apresenta a geometria da FSS *patch* losango.

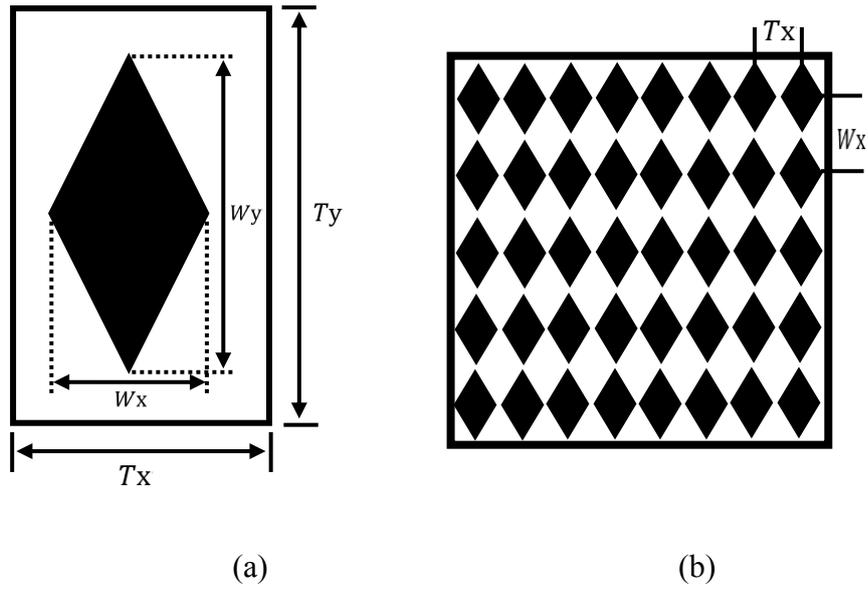


Figura 4.1. FSS *patch* losango (a) célula unitária, e (b) arranjo.

O substrato de ferrite magnetizada é assumido como sendo magneticamente saturado, e é descrita pelas seguintes expressões para a permissividade e permeabilidade [50],

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \text{ e } [\mu] = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu & j\beta & 0 \\ -j\beta & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

sendo,

$$\begin{aligned} \mu &= 1 + \chi' - j\chi'', \beta = K' - jK'', \\ \chi' &= \omega_0 \omega_m [\omega_0^2 - \omega^2(1 - \alpha^2)] D^{-1}, \chi'' = \omega \omega_m \alpha [\omega_0^2 + \omega^2(1 + \alpha^2)] D^{-1}, \\ K' &= \omega \omega_m [\omega_0^2 - \omega^2(1 + \alpha^2)] D^{-1}, K'' = 2\omega^2 \omega_0 \omega_m \alpha D^{-1}, \\ D &= [\omega_0^2 - \omega^2(1 + \alpha^2)] + 4\omega_0^2 \omega^2 \alpha^2, \omega_0 = \mu_0 \gamma H_0, \omega_m = \mu_0 \gamma M_s, \end{aligned}$$

nas quais ε_0 e μ_0 são a permissividade e a permeabilidade do espaço livre, ω_0 é a frequência de ressonância ferromagnética, α é a constante de amortecimento, γ é a razão giromagnética e M_s é a magnetização de saturação. A ferrite considerada foi TTI-3000, que se caracteriza por $4\pi M_s = 3000$ G, $\Delta H = 190$ Oe, $\varepsilon_r = 12,9$, $\tan \delta = 5 \cdot 10^{-4}$ e $\gamma = 1,759 \cdot 10^{11}$ rad.s⁻¹.T⁻¹ [51]. Como a perda dielétrica é muito pequena em comparação com a magnética, esta foi desprezada nos cálculos.

A estrutura foi excitada por uma onda plana com incidência normal vinda a partir do semi-espaço $z > 0$ com polarização linear ao longo da direção x . Foi considerado um substrato

de ferrite magnetizada por um campo magnético dc ao longo das direções x , y e z .

O processo de otimização possui como objetivos sintonizar a ressonância da FSS em 60 GHz e sua largura de banda de operação em 40 GHz, onde foram desenvolvidos algoritmos meta-heurístico multiobjetivo, que atendessem aos critérios comentados ao longo de todo o texto apresentado anteriormente.

Neste capítulo, apresentar-se-á informações concernentes à configuração dos algoritmos implementados, bem como os resultados alcançados após a realização de simulações, através da utilização das técnicas computacionais investigadas, as quais são amplamente empregadas em micro-ondas.

4.1. Caracterização do Projeto

Neste trabalho, se empregam técnicas híbridas de otimização BIC para calcular parâmetros estruturais ótimos de uma FSS do tipo losango, com o objetivo de sintonizar sua frequência de ressonância em 60,0 GHz e largura de banda em 40,0 GHz.

Os dados eletromagnéticos (EM) de entrada, para treinamento da GRNN, foram obtidos via *software CST® Microwave Studio*, ao se considerar nas simulações um arranjo sobre um substrato de ferrite magnetizada com espessura de $h = 0,5$ mm, onde foram respeitadas as condições apresentadas na Tabela 4.1. Este *software* aplica a técnica das integrações finitas (*finite integrations* – FIT) para análise numérica de onda completa.

TABELA 4.1. Parâmetros Estruturais da FSS Losango

Parâmetros da FSS	Valor
Periodicidade (mm)	$t=T_x=T_y=[3,5; 3,7; 3,9; 4,1; 4,3; 4,5; 4,7]$
Altura do <i>patch</i> (mm)	$W=W_x=W_y=[2,7; 2,9; 3,1; 3,3]$
Altura Substrato (mm)	$h = 0,5$
Permissividade relativa do substrato	$\epsilon_r = 12,9$

As frequências de corte inferior e superior utilizadas para controle da frequência de ressonância e largura de banda foram obtidas considerando o coeficiente de transmissão de -10 dB.

A rede neural após ter sido treinada, passou a ser responsável pela análise dos dados EM e pela criação da região de interesse, na qual os algoritmos de otimização deverão realizar

buscas pela melhor solução para a função custo, havendo uma contínua interação entre a GRNN e os algoritmos de otimização nessa etapa. Logo, para cada novo conjunto de parâmetros do projeto que o algoritmo retornar, a etapa de análise executa o cálculo necessário e determina o valor de um novo ponto no espaço de busca. As simulações foram realizadas em um computador Intel® Core™ i5 com CPU *Clock* 2,50 GHz e 8 GB de RAM.

O projeto segue o fluxograma apresentado na Fig. 4.1.

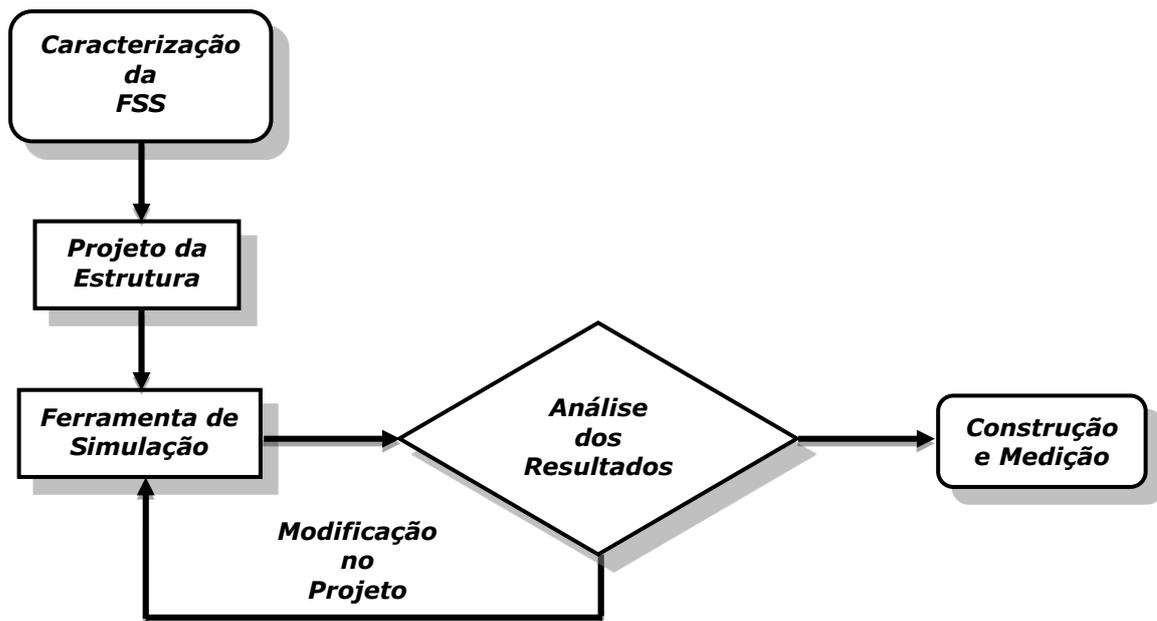


Figura 4.2. Fluxograma geral do projeto.

No modelo de projeto desenvolvido neste estudo, ao se transpor as etapas iniciais de caracterização das estruturas, o módulo de otimização substitui as repetidas simulações exigidas por técnicas de análise de onda completa.

Na Fig. 4.2, é possível observar uma alteração na estrutura geral das etapas apresentadas acima. Nesta, é possível perceber que foi incluída a etapa na qual as ferramentas de computação natural, otimização, serão empregadas no projeto da FSS.

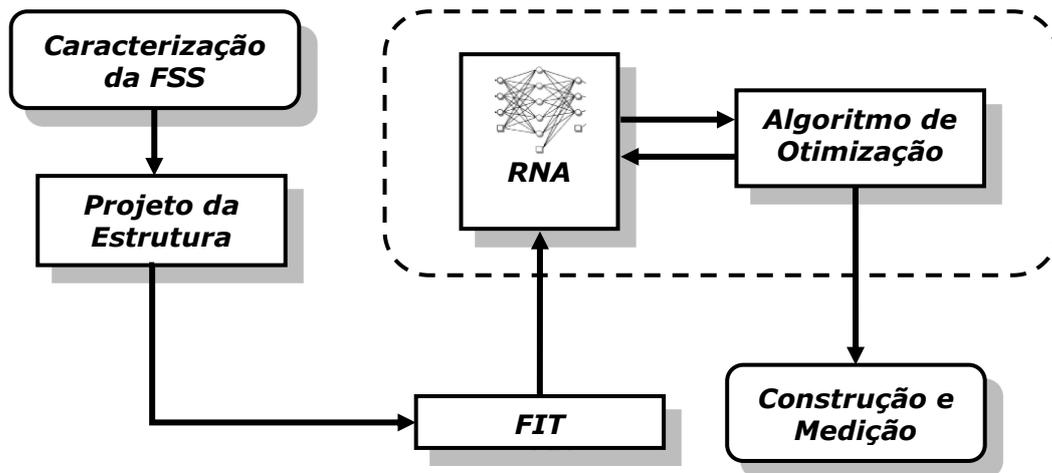


Figura 4.3. Fluxograma modificado pela introdução da técnica de otimização.

A GRNN utilizada possui quatro entradas em sua primeira camada, uma camada oculta com cinco neurônios e dois nós de saída, referentes à frequência central e largura de banda.

As entradas e as saídas do modelo desenvolvido de GRNN podem ser representadas por:

$$x = [W, t, \varepsilon_r, h]^T \quad (4.1)$$

$$y = [f_r, BW]^T \quad (4.2)$$

na Eq. (4.1), W é a altura e a largura do elemento condutor, t a periodicidade do arranjo da FSS, ε_r a permissividade relativa do substrato e h a altura do substrato. E, na Eq. (4.2), f_r é a frequência ressonância e BW a largura de banda da FSS.

Os objetivos consistem em minimizar a função custo a seguir [6] – [7]:

$$F = [f_1(x), f_2(x)] \quad (4.3)$$

onde,

$$f_1 = \|f_{r, \text{desejado}} - f_{r, \text{obtido}}\| \quad (4.4)$$

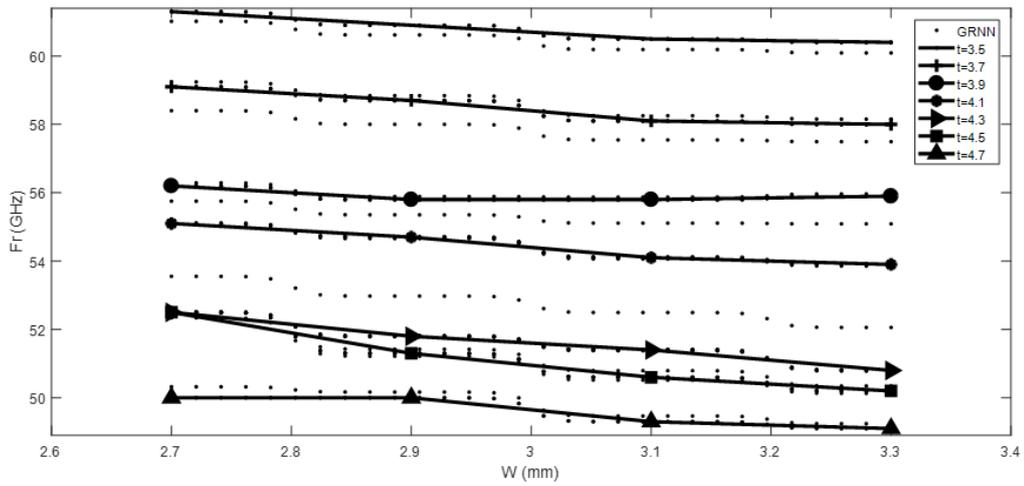
$$f_2 = \|BW_{\text{desejado}} - BW_{\text{obtido}}\| \quad (4.5)$$

O processo de otimização possui uma fase de busca e uma fase de análise, sendo o

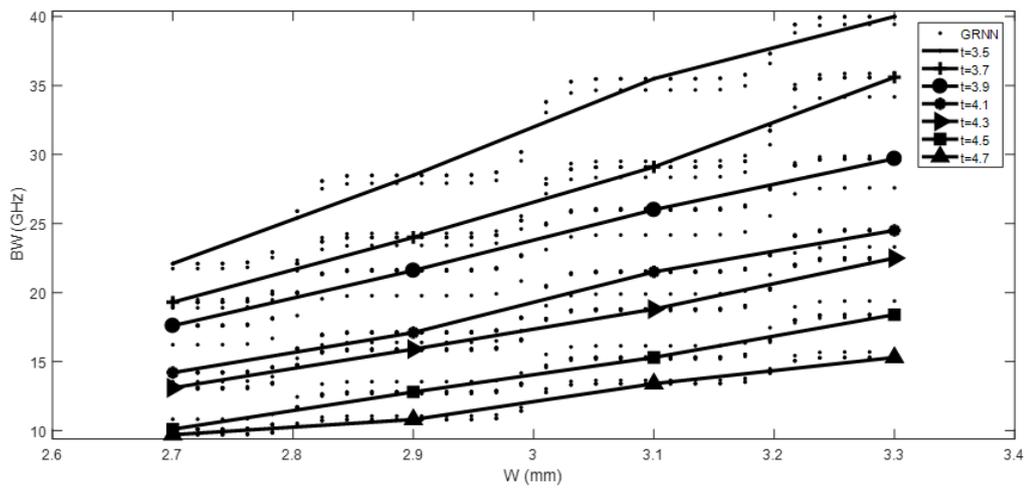
algoritmo de otimização responsável pela operação de busca e, a GRNN treinada, responsável pela operação de análise, resultando em uma interação contínua nesta etapa. Assim, para cada novo conjunto de parâmetros do projeto que o algoritmo de busca retorna, a fase de análise efetua a computação necessária e determina o valor de um novo ponto no espaço de busca na região de interesse, isto é, no espaço de busca para os algoritmos de otimização. Dessa forma, o objetivo é minimizar a diferença entre a resposta dada pela rede e os valores especificados para o projeto. Neste paradigma, o ideal seria encontrar valores próximos ou iguais a zero para a função custo.

A Fig. 4.3 (a) e (b), apresentam os resultados obtidos pela GRNN desenvolvida para estrutura de FSS analisada. Nestas, as linhas pontilhadas indicam a resposta da rede e as demais linhas, diferenciadas por símbolos, representam o conjunto de treinamento.

Ao analisar a resposta da GRNN desenvolvida, se observa uma grande capacidade de generalização para a configuração estudada, conseqüentemente, também se observa que, com o aumento da área efetiva do condutor W das FSS, se deslocam as frequências de ressonância para frequências mais baixas, ao passo que a largura de banda aumenta. Tal comportamento se assemelha ao das antenas planares, nas quais o aumento da superfície efetiva do condutor é uma característica capaz de impor modificações em seu funcionamento [46] – [47]. Um exemplo disso é o aumento da largura de banda e o deslocamento da frequência de ressonância.



(a)



(b)

Figura 4.4. Resposta da rede GRNN para frequência de ressonância (a), e largura de banda (b) em função dos parâmetros estruturais W e t da estrutura da estrutura patch triangular. As dimensões estão em milímetro.

A Fig. 4.4 apresenta a matriz de espalhamento do coeficiente de reflexão $|S_{11}|$, dada em decibéis (dB), pela frequência em GHz do conjunto de treinamento calculado pela técnica de análise de onda completa das integrais finitas (FIT).

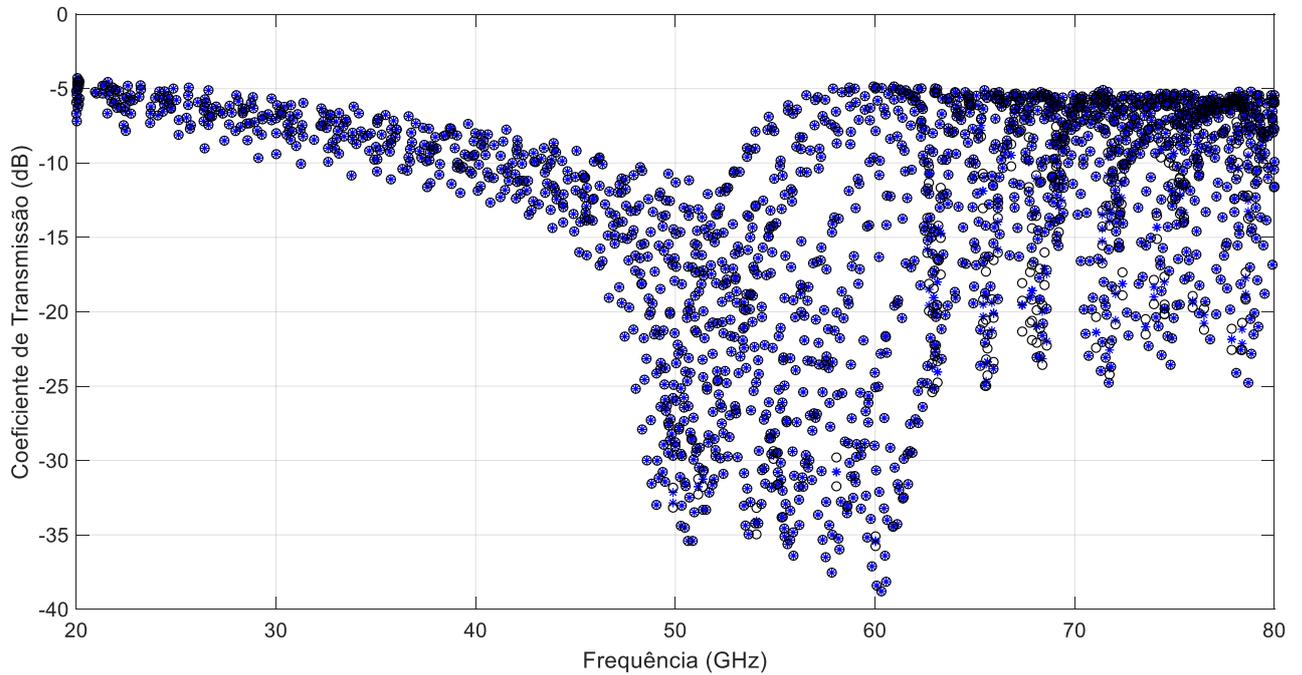


Figura 4.5. Coeficiente de reflexão do conjunto de treinamento calculado pela técnica FIT.

Com base nestes resultados, a próxima etapa é a aplicação dos algoritmos de busca para identificar o melhor balanceamento entre a periodicidade t e a área efetiva do condutor W da célula unitária das FSS de modo a atender aos objetivos do projeto.

4.2. Aplicação dos Algoritmos de Otimização

Após o treinamento da GRNN e a criação do espaço de buscas, dar-se-á sequência ao estudo avançando a etapa de implementação dos algoritmos de otimização. Nesta seção, será detalhada a configuração de cada código desenvolvido.

4.2.1. Implementação do Algoritmo de Busca Cuco

Na seção 3.2 foi apresentada a teoria referente ao MOCS, fundamentado nessa teoria, se construiu um algoritmo híbrido, multivariável e multiobjetivo. Este algoritmo é capaz de encontrar os valores mais adequados de largura de banda e aproximação a frequência central de operação desejada para as FSSs estudadas, o código foi desenvolvido para minimizar a função custo dada na Eq. (4.3).

A estrutura do algoritmo MOCS proposto inclui duas operações principais, sendo uma

busca direta com base nos voos de Lévy Eq. (3.4), e uma pesquisa aleatória baseada na probabilidade de um pássaro hospedeiro descobrir um ovo “alienígena” em seu ninho, cada ninho representa uma solução diferente e uma população de ninhos é usada para encontrar a melhor solução do problema, tal como outros métodos de pesquisa populacional meta-heurísticas. O fluxograma para o algoritmo utilizado é apresentado na Fig. 4.4.

Antes de iniciar o processo de busca iterativa, o algoritmo CS identifica o padrão da melhor solução x_{melhor} . A geração aleatória inicial dos ninhos hospedeiros é dada pela Eq. (4.6), na qual, P_{min} e P_{max} são os pontos referentes aos ninhos inferiores e superiores limitantes do d -ésimo atributo do reduto do cuco.

Este trabalho se utiliza do operador de cruzamento de ponto flutuante, a população dos cromossomos (N_{pop}) é representada por $x = [x_1, x_2, \dots, x_{N_{pop}}]^T$, onde cada $x_i = [P_1, \dots, P_{i-1}, P_{i+1}, \dots, P_{iN_{pop}}]$ representa o ponto da nova solução. A geração inicial de indivíduos é dada por:

$$x_i = P_{i,min} + rand(P_{i,max} - P_{i,min}) \quad 4.6$$

Após essa geração, se calcula a nova solução com base nos melhores ninhos x_{melhor} via voos de Lévy, por sua vez, este é calculado pelo algoritmo de Mantegna [49]. A população inicial dos ninhos hospedeiros se define pelo melhor valor de cada ninho x_{melhor} e, o melhor ninho corresponde ao calculado pela função *fitness*, Eq. (4.6), definido como o melhor ninho G_{melhor} entre todos os ninhos da população.

Calcula-se a nova solução individual para cada ninho por:

$$x_{d,i}^{novo} = x_{melhor_i} + \alpha \cdot rand \cdot \Delta x_i^{novo} \quad (4.7)$$

onde $\alpha > 0$ é o tamanho do passo de atualização, neste caso a função *rand* é um número estocástico com distribuição normal e, o valor do incremento Δx_i^{novo} é dado por:

$$\Delta x_i^{novo} = v \cdot \frac{\sigma_x(\beta)}{\sigma_y(\beta)} \cdot (x_{melhor_i} - G_{melhor}) \quad (4.8)$$

$$v = \frac{rand_x}{|rand_y|^{1/\beta}} \quad (4.9)$$

onde $rand_x$ e $rand_y$ são duas variáveis estocásticas com distribuição normal e, desvio padrão $\sigma_x(\beta)$ e $\sigma_y(\beta)$ dado pela Eq. (3.15). Sendo $\sigma_y(\beta) = 1$ e β o fator de distribuição ($0,3 \leq \beta \leq 1,99$).

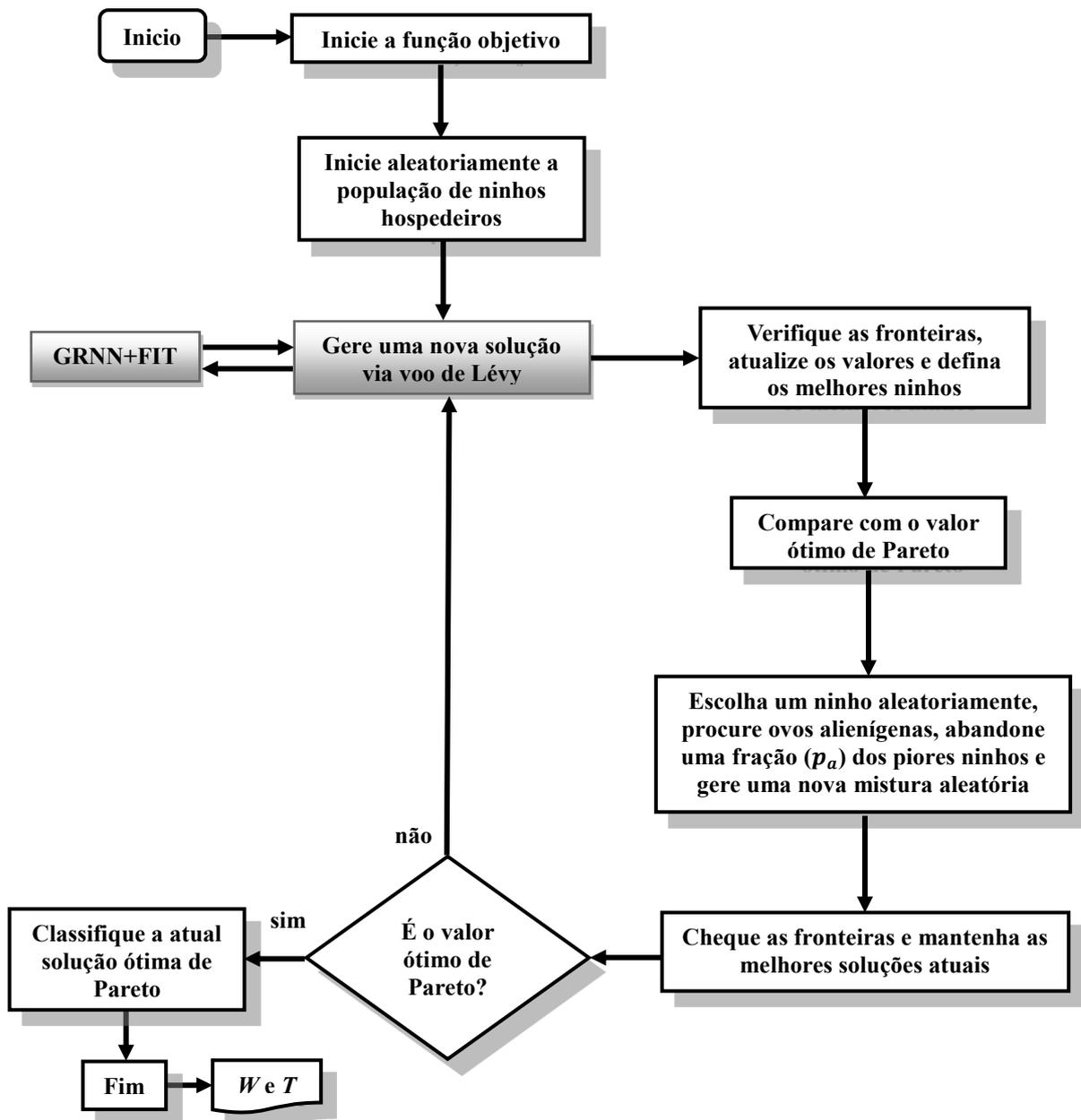


Figura 4.5. Fluxograma do algoritmo de busca cuco multiobjetivo utilizado.

As fronteiras delimitadoras do reduto do cuco são controladas a cada etapa de execução

do algoritmo e, os pontos de marcação são dados por $P_{min} = [2,7; 3,3]$, $P_{max} = [3,5; 4,7]$.

Para as soluções mais recentes, os atributos desses limites devem ser satisfeitos de acordo com as unidades limitantes,

$$x_{d,i}^{novo} = \begin{cases} P_{i,max} & \text{se } x_{d,i}^{novo} > P_{i,max} \\ P_{i,min} & \text{se } x_{d,i}^{novo} < P_{i,min} \\ x_{d,i} & \text{outros valores,} \end{cases} \quad (4.10)$$

assim, sempre que o valor de um atributo extrapolar os limites do espaço de busca, o valor desse atributo é atualizado para o valor que mais se aproxime ao valor da fronteira. A função *fitness* será avaliada novamente para as novas soluções, de modo a determinar o atual melhor valor de cada ninho $x_{d,melhor}$ e o melhor ninho $G_{d,melhor}$ ao comparar os valores de aptidão.

A ação de descoberta de um ovo “alienígena” com probabilidade p_a no ninho da ave hospedeira, também cria uma nova solução para o problema semelhante ao voo de Lévy. Essa nova solução pode ser calculada de acordo com:

$$x_{d,i}^{alien} = x_{d,melhor} + k \cdot \Delta x_{d,i}^{alien} \quad (4.11)$$

sendo k o coeficiente de atualização, que é determinado com base na probabilidade de alguma ave hospedeira encontrar o ovo “alienígena” em seu ninho,

$$k = \begin{cases} 1 & \text{se } rand < p_a \\ 0 & \text{outros valores} \end{cases} \quad (4.12)$$

e, o valor do incremento $\Delta x_{d,i}^{alien}$ é determinado por:

$$\Delta x_{d,i}^{alien} = rand * [randp_1(x_{d,melhor}) - randp_2(x_{d,melhor})] \quad (4.13)$$

onde as funções *rand* nas Eq. (4.12) e (4.13) são números aleatórios distribuídos entre [0, 1] e, $randp_1$ e $randp_2$ são as permutações aleatórias por posição dos ninhos $x_{d,melhor}$.

Semelhante à solução obtida via voo de Lévy esta nova solução também é redefinida pela Eq. (4.10), caso os valores das fronteiras sejam violados. A atual melhor solução (ninho) $x_{d,melhor}$ e o atual melhor valor entre os ninhos $G_{d,melhor}$ também são determinados com base na comparação do *fitness* calculado pela Eq. (4.6).

Por simplicidade, neste estudo, se assumiu que o cuco possui em seu reduto o número total de ninhos (ou diferentes soluções) $n = 25$, com probabilidade da descoberta do ovo “alienígena” pela ave hospedeira $p_a = 0,25$, o vetor escalar $\beta = 1,5$, uma fração de 0,7 da frente de Pareto foi utilizada com parâmetro para os valores ótimos das soluções.

O código desenvolvido, bem como, o código MOBA, se utiliza do método das somas ponderadas para combinar os múltiplos objetivos e, se encerra quando atinge o número máximo de iterações pré-determinadas.

A Figura 4.11 mostra a evolução do *fitness* no processo de síntese via MOCS para as estruturas investigadas. Durante esse processo, o valor da função custo apresenta uma diminuição gradativa em relação ao seu valor inicial. A linha pontilhada representa a média do *fitness* para a população de ninhos e a linha sólida representa a melhor solução individual. O algoritmo necessitou de apenas 35 iterações para convergir para solução ótima.

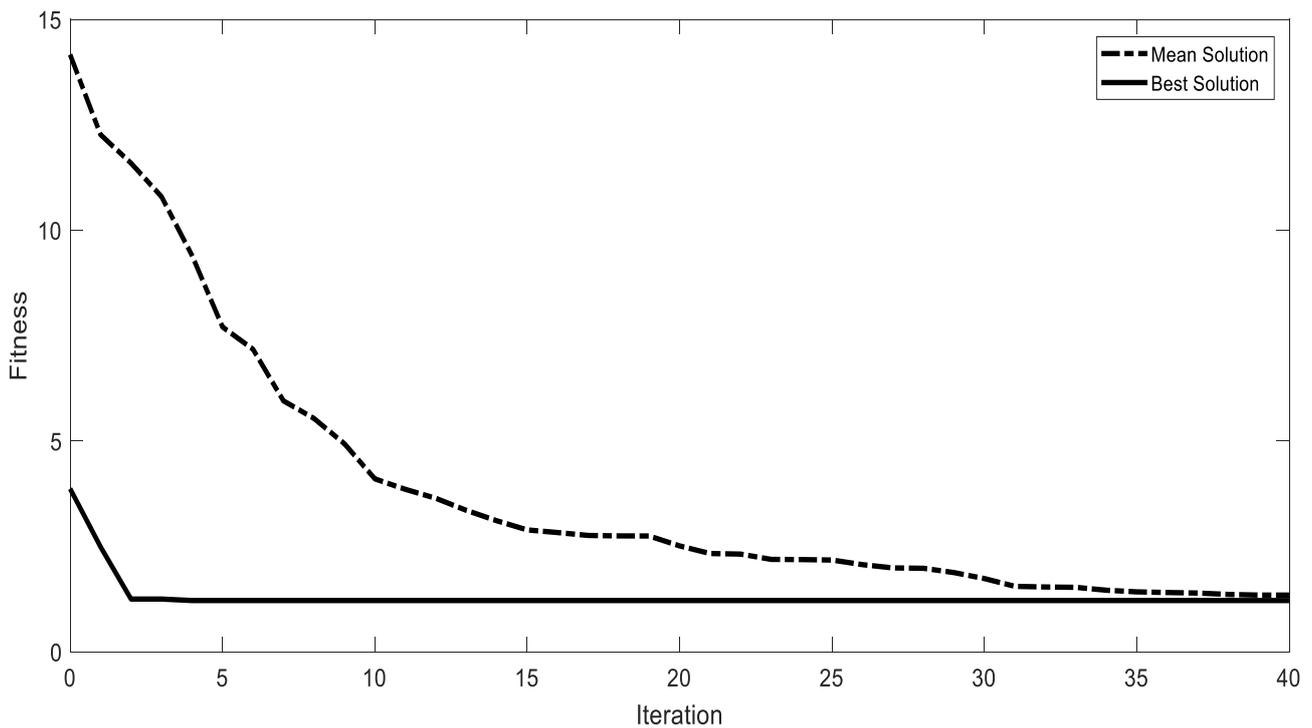


Figura 4.6. Evolução do *fitness* no processo de síntese via MOCS, estruturas otimizadas para $f_r = 60,0$ GHz e $BW = 40,0$ GHz.

A Fig. 4.12 apresentada os resultados para o coeficiente de transmissão versus a frequência obtidos via *software CST®* e pela técnica híbrida (GRNN+MOCS) para a FSS de *patch* losango otimizada.

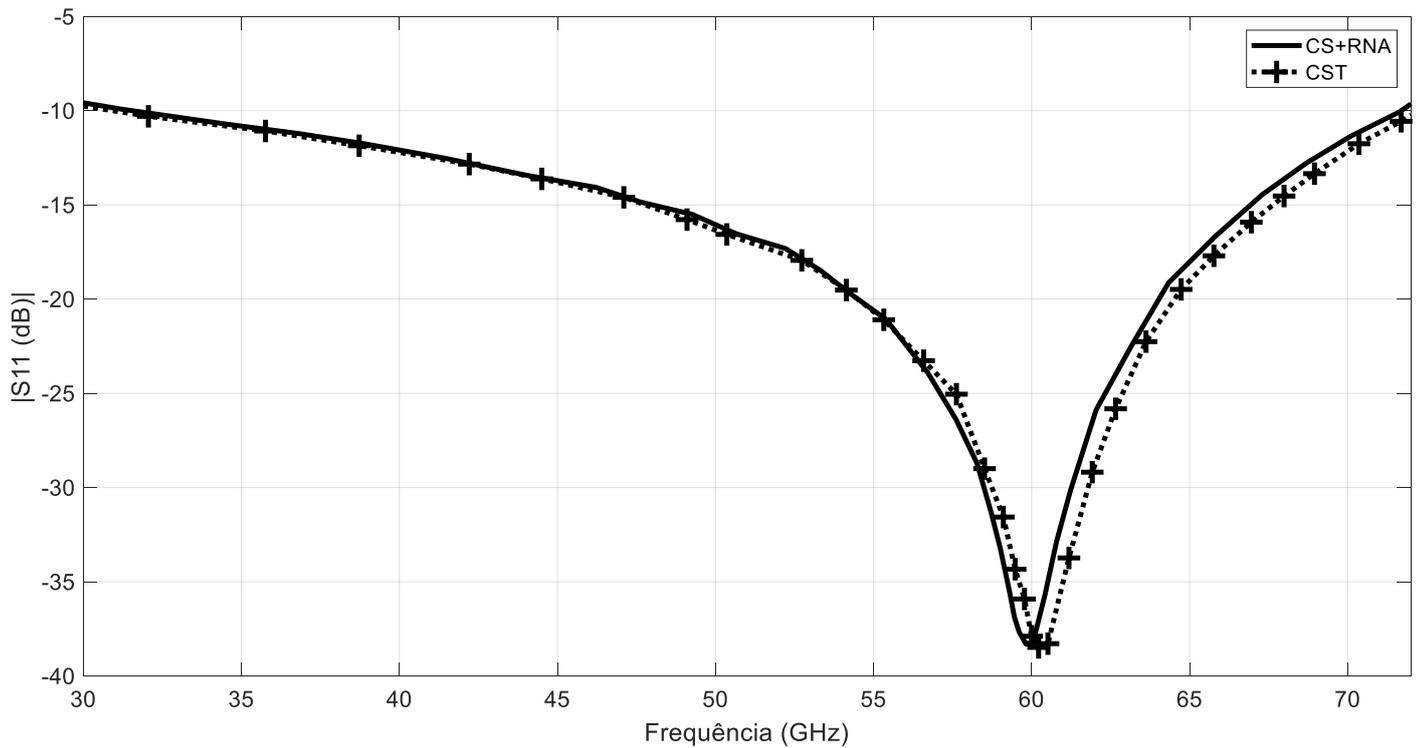


Figura 4.7. Coeficiente de reflexão para FSS de *patch* losango otimizada para $f_r = 60,0$ GHz e $BW = 40,0$ GHz via MOCS. Parâmetros estruturais ótimos: $\epsilon_r = 4,4$; $h = 1,57$ mm; $t = T_x = T_y \approx 3,53$ mm e $W \approx 3,28$ mm.

Na Tabela 4.1 são apresentados os tempos de execução das principais etapas do código após 33 iterações.

TABELA 4.1. Tempo de execução do MOCS

Função	Chamadas	Tempo Individual	Tempo Total
GRNN	6050	1,080 s	152,678 s
Voo de Lévy	1675	0,02 s	33,5 s
Descoberta melhores ninhos	121	0,037 s	204,931 s
Tempo de Execução	-	-	391,109 s

5. Conclusões

Neste trabalho, foi desenvolvida uma técnica de inteligência computacional Bioinspirada de otimização híbrida multiobjetivo, que utiliza rede neural do tipo GRNN associada ao algoritmo de busca cuco para o projeto e síntese de uma superfície seletiva de frequência (FSS) do tipo *patch* losango.

A geometria da FSS com elementos no formato de losangos, constituídos por *patches*, que consistem de arranjos periódicos de elementos dispostos sobre um substrato de ferrite magnetizada, foram utilizados devido sua simplicidade geométrica e por permitirem que o dispositivo opere com característica de banda ultra larga.

A análise eletromagnética foi realizada por meio do método numérico das integrações finitas (*finite integrations technique* – FIT) com o auxílio do *software* comercial CST®. A metodologia que envolve redes neurais artificiais e eletromagnetismo foi aplicada para projetar a FSS losango com base em sua resposta no domínio da frequência, onde um banco de dados com a resposta eletromagnética (EM), calculado pelo método numérico empregado, é necessário para garantir o aprendizado da rede, disponibilizando o conhecimento adquirido para futuras utilizações.

Além disso, os modelos de GRNN desenvolvidos proporcionaram soluções rápidas e precisas, com um baixo custo computacional, tornando-se uma técnica atrativa para a síntese de estruturas cuja formulação teórica é inexistente ou demanda um elevado custo computacional de implementação e simulação.

A junção de redes neurais artificiais a algoritmos de otimização natural, consiste em um método alternativo de otimização de estruturas eletromagnéticas, caracterizando a técnica denominada de método híbrido, que tem por finalidade viabilizar características como: eficácia, flexibilidade e eficiência computacional. Resultando em uma poderosa ferramenta de otimização aplicada na solução de problemas de espalhamento eletromagnético.

Com isso, foi realizada a síntese da FSS com elementos no formato de losangos, para operação na faixa de frequências pertencentes ao padrão IEEE 802.15.3c, com frequência de ressonância centrada em 60,0 GHz, de maneira a possibilitar operação em banda ultra larga, com largura de banda de 40,0 GHz, a partir da variação da periodicidade do arranjo e do comprimento do lado do losango.

Os resultados otimizados pelas técnicas híbridas desenvolvidas na síntese da FSS losango foram validados por meio de simulações, ao se realizar novas simulações no CST® para os valores ótimos retornados pela técnica híbrida desenvolvida e, confrontando o resultado acumulado por ambos. Com esta metodologia, foi observada boa concordância entre os

resultados obtidos.

A rapidez e a precisão na convergência do MOCS podem ser atribuídas ao fato da busca utilizar combinação de mutação vetorizada, permutações cruzadas por voos de Lévy e, elitismo seletivo entre as melhores soluções (ninhos) baseado na probabilidade de um pássaro hospedeiro descobrir um ovo “alienígena” em seu ninho.

A técnica desenvolvida mostrou-se veloz e precisa na solução da função custo, consistindo em mais uma ferramenta viável para o desenvolvimento de projetos de dispositivos de rádio difusão e outros dispositivos ressonantes, tais como antenas e circuladores eletromagnéticos.

Para a continuidade do trabalho, é proposto o estudo do emprego dessas ferramentas de otimização para o projeto e síntese de nano estruturas, de modo a viabilizar a redução do esforço computacional e o tempo para processamento das estruturas na faixa de frequências em THz. Outrossim, empregar as ferramentas desenvolvidas para otimização de antenas e circuitos eletrônicos para faixa de micro-ondas.

APÊNDICE A

**DEMAIS TRABALHOS DESENVOLVIDOS AO LONGO DO ESTÁGIO PÓS-
DOUTORAL, OS QUAIS CONDUZIRAM À PEDIDOS DE REGISTROS DE
PROPRIEDADE INTELECTUAL**

a.1. Patente Modelo de Utilidade para “ANTENA MONOPOLO Hi MINIATURIZADA PARA APLICAÇÕES NO PADRÃO TERRESTRE DE TV DIGITAL”

A Patente Modelo de Utilidade “ANTENA MONOPOLO Hi MINIATURIZADA PARA APLICAÇÕES NO PADRÃO TERRESTRE DE TV DIGITAL” é direcionada à indústria de eletrônicos e se destina a recepção do sinal da TV Digital Terrestre (DTV) do padrão Brasileiro (SBTVD-T) e, para além deste, sendo possível comportar as frequências das transmissões dos padrões de transmissões de TV digital terrestre, a saber: *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial* (ISDB-T) – 470 MHz à 770 MHz; *Advanced Television System Committe* (ATSC) – 470 MHz à 860 MHz; *Digital Terrestrial Multimedia Broadcast* (DTMB) – 470 MHz à 860 MHz; *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* (DVB-T) – 470 MHz à 890 MHz e, consequentemente, ao Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T) – 482 MHz à 806 MHz, canais 16 à 69 respectivamente.

O que torna viável o emprego desta antena na recepção do sinal digital em qualquer país que desenvolva comunicação de DTV por rádio difusão. Pois, a Patente Modelo de Utilidade “ANTENA MONOPOLO Hi MINIATURIZADA PARA APLICAÇÕES NO PADRÃO TERRESTRE DE TV DIGITAL” é capaz de operar na faixa de 430 MHz à 1,06 GHz em -10dB, com uma largura de banda de 630 MHz. Dessa forma, esta antena é capaz de captar todos os sinais de UHF destinados a Transmissões terrestre de TV Digital por rádio difusão, canal 14 ao 83, frequências de 470 MHz à 890 MHz, respectivamente.

Outrossim, esta antena foi desenvolvida para: se utilizar uma quantidade reduzida de metal no elemento radiador principal; material de baixo custo para sua fabricação, com geometria simplificada de modo a viabilizar sua produção em larga escala e, consequentemente, reduzir custos para sua fabricação possibilitando, assim, o barateamento desta tecnologia quando comparada a outros modelos de antenas que são instaladas externamente a carcaça do aparelho televisor e que são comercializadas atualmente.

Por questões de confidencialidade assumido ao se impetrar este pedido, não será possível apresentar imagens da antena, no entanto, segue abaixo o resultado obtido de sua perda de retorno |S₁₁|:

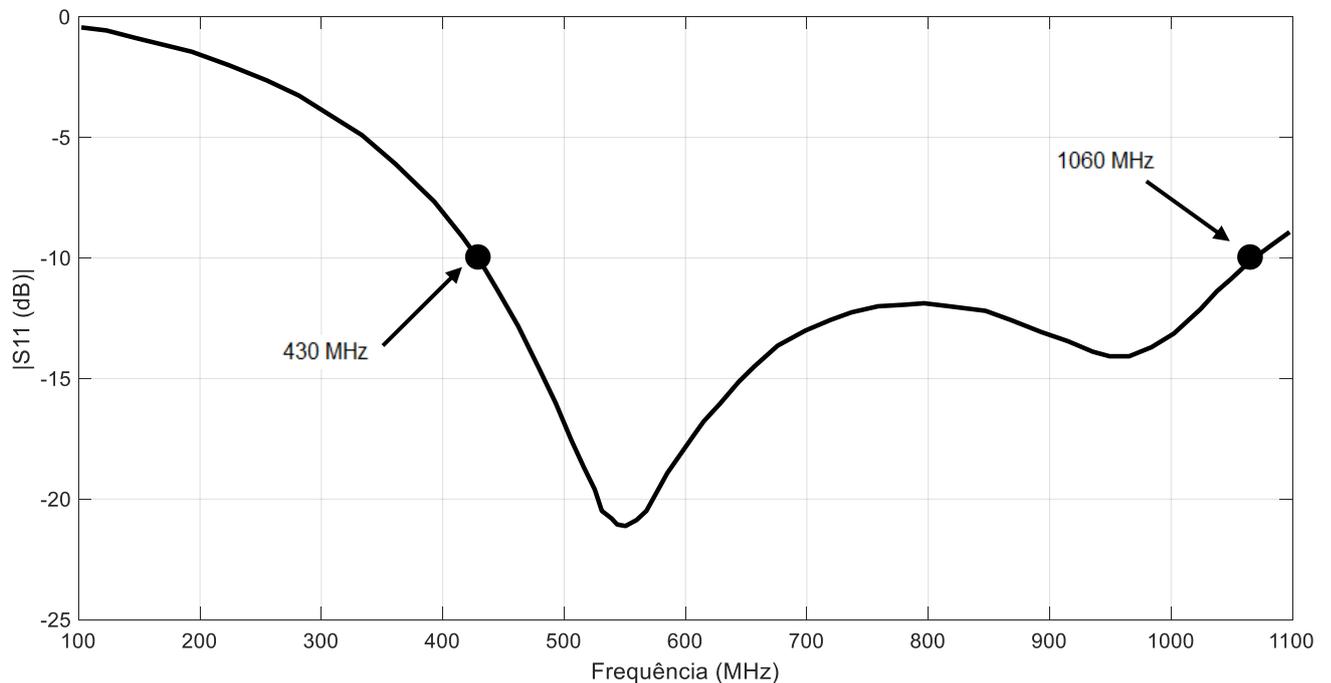


Figura a.1. Perda de retorno da antena monopolo *Hi*.

a.2. Patente Modelo de Utilidade (MU) “FILTRO CONTROLÁVEL DE FREQUÊNCIAS PARA O NOVO SISTEMA 5G E WiMAX”

A presente patente Modelo de Utilidade (MU) refere-se a um “FILTRO CONTROLÁVEL DE FREQUÊNCIAS PARA O NOVO SISTEMA 5G E WiMAX” que apresenta geometria simplificada e baixo custo para fabricação, sendo impressa em placa de circuito impresso (PCB), que consiste em substrato dielétrico de fibra de vidro (FR-4), caracterizando uma superfície seletiva em frequência (FSS) de camada única, do tipo patch (rejeita faixa) e caráter passivo. Trata-se de uma estrutura de arranjo periódico, com célula unitária na forma de três espiras retangulares concêntricas. O dispositivo é capaz de ressonar em três frequências distintas, sendo elas: 2,4 GHz, 3,5 GHz e 6,05 GHz – com larguras de banda de 606 MHz, 310 MHz e 1182 MHz, respectivamente. Este filtro atua nas bandas S e C, determinadas pela IEEE, tendo em vista sua aplicação em sistemas de Wi-Fi, WiMAX e a nova comunicação 5G nas bandas sub-6 GHz.

Por questões de confidencialidade assumido ao se impetrar este pedido, não será possível apresentar imagens da estrutura, no entanto, segue abaixo os resultados obtidos de seus coeficientes de transmissão:

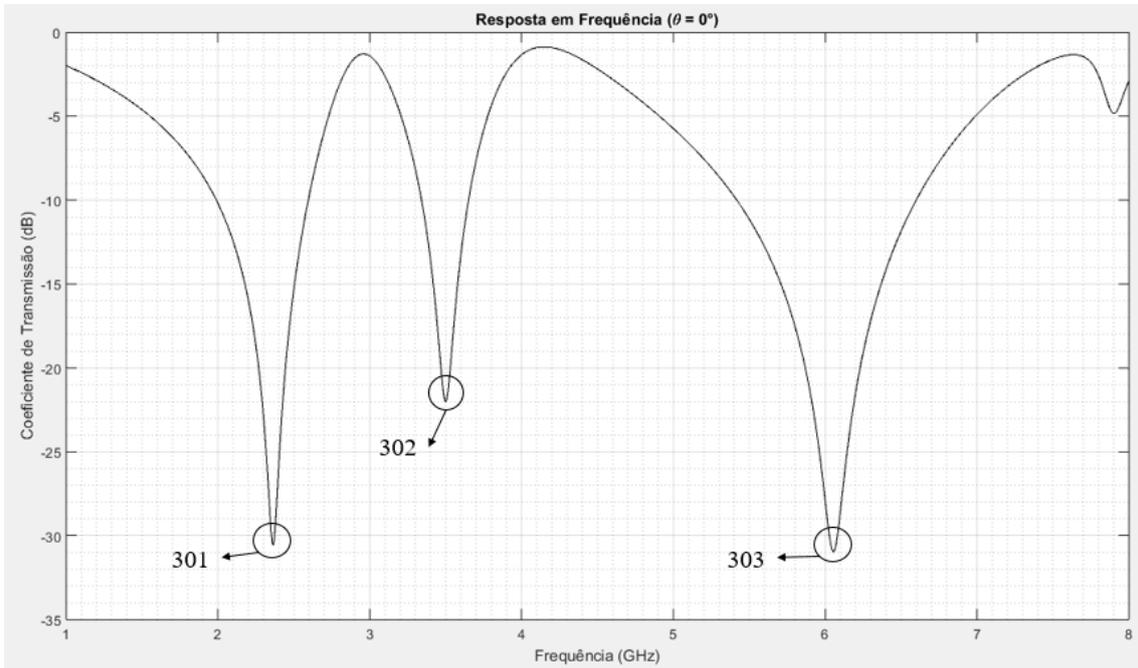


Figura a.2. Coeficiente de Transmissão do dispositivo.

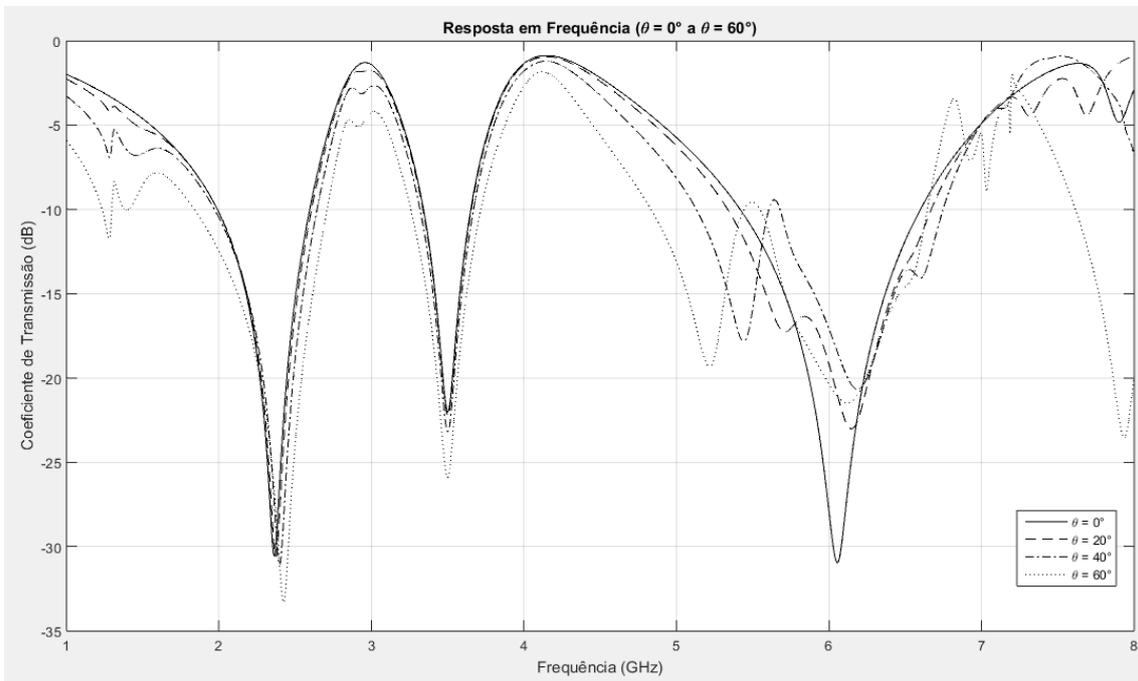


Figura a.3. Teste de estabilidade angular de fase do dispositivo.

a.3. Patente Invenção (PI) “SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUÊNCIAS INDEPENDENTE DE POLARIZAÇÃO PARA CONTROLE DE FREQUÊNCIAS DO SISTEMA 5G ONDAS MILIMÉTRICAS”

A Patente de Invenção (PI) “SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUÊNCIAS MULTIBANDA PLANAR PARA APLICAÇÕES NO SISTEMA 5G OUTDOOR” refere-se a um filtro controlável de frequências para aplicações multibanda na faixa das ondas milimétricas (mm-Wave), especificamente, para aplicações no novo sistema de comunicações celular de quinta geração (5G). O filtro foi projetado para ressonar nas frequências destinadas ao desenvolvimento de comunicações por rádio difusão destinadas ao padrão 5G outdoor, e consiste em um arranjo periódico planar no qual a sua célula unitária é composta três espiras retangulares metálicas perfeitamente condutoras (perfect conductor – PEC), sendo estas dispostas sobre substrato de ferrite magnetizada. O dispositivo é dito multibanda por apresentar três ressonâncias distintas, em: 28 GHz, 38 GHz e 73 GHz. Nestas frequências, especula-se a operação do sistema denominado de 5G outdoor. A superfície seletiva de frequência (FSS) apresentada é caracterizada, também, por sua estabilidade angular de fase.

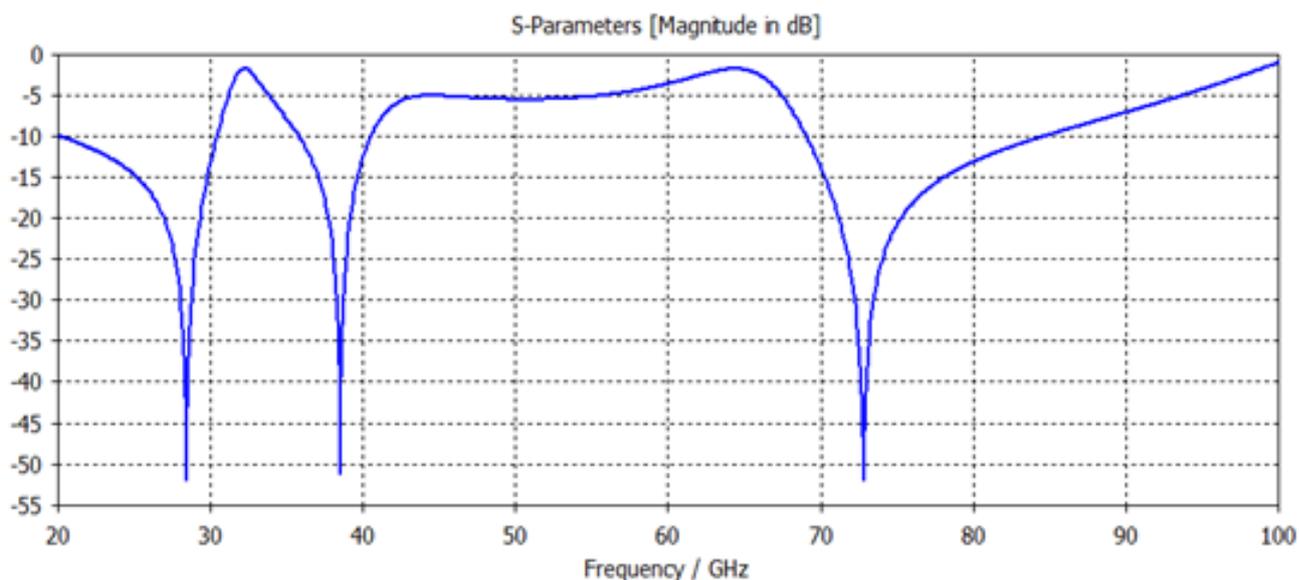


Figura a.4. Coeficiente de Transmissão do dispositivo.

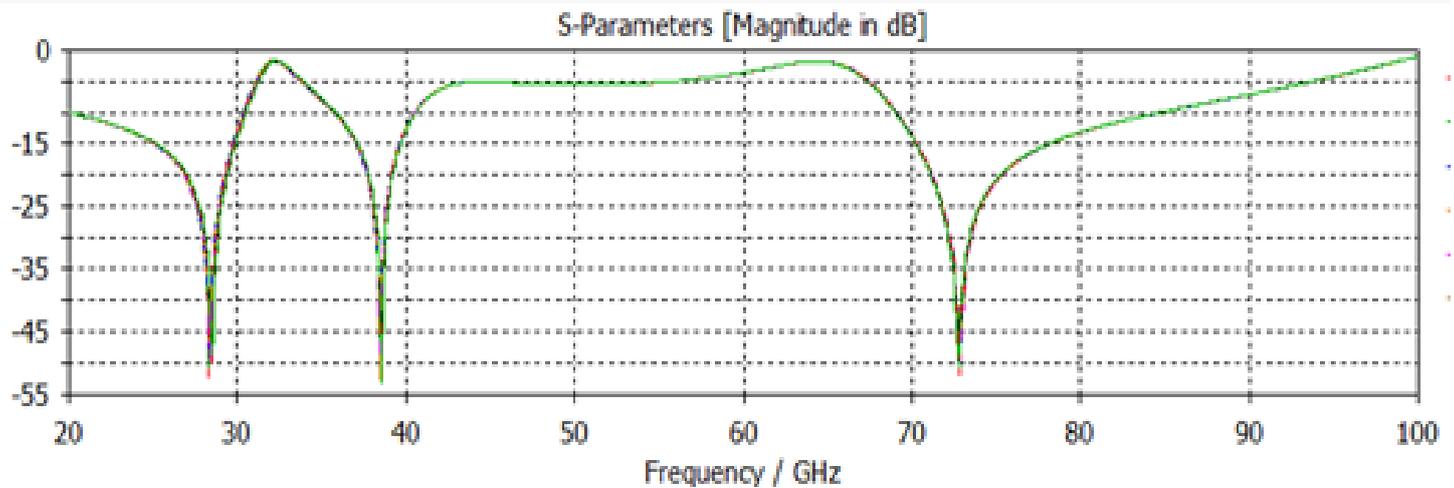


Figura a.5. Teste de estabilidade angular de fase do dispositivo.

a.4. Patente Invenção (PI) “SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUÊNCIA DE BANDA ULTRA LARGA PARA CONTROLE DE FREQUÊNCIAS DO PADRÃO IEEE 802.15.3c”

Este é parte dos resultados alcançados no projeto de pós-doutoramento intitulado “Investigação da utilização do algoritmo de busca cuco na otimização multiobjetivo e síntese de superfícies seletivas de frequência para filtragem de ondas milimétricas.”

APÊNDICE B
PRODUÇÕES DESENVOLVIDAS AO LONGO DO ESTÁGIO PÓS-DOCTORAL:
ARTIGOS, PROJETOS APROVADOS E PRÊMIOS.

b.1. Dos artigos publicados em revista

1. ARAUJO, JASMINE P. L.; AMORIM, I. L. B.; CARDOSO, J. P. S.; COELHO, L. M. A.; MARTINS, **M. C. ALCANTARA NETO**, M. C.; BARROS, F. J. B; LEITE, R. C. Atuação no ensino médio: relato de experiência da monitoria de ciências exatas do projeto despertar / High school acting: experience report of the tutoring of the exact sciences of the despertar project. Brazilian Applied Science Review - BASR, Curitiba - PR, p. 1143 - 1153, 01 set. 2018.

b.2. Dos artigos publicados em eventos

1. FERREIRA, F. H. C. S. ; ARAUJO, J. P. L. ; BARROS, F. J. B ; **ALCANTARA NETO, M. C.** . Revisão Teórica Sobre as Técnicas de Otimização Metaheurística na Síntese de Superfícies Seletivas de Frequência. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SBrT, 2018, Campina Grande - PB. XXXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SBrT 2018, 2018.
2. PINTO, K. S. ; MAXIMIANO, D. C. R. ; CASTRO, B. S. L. ; MARTELLI, M. C. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** ; BARROS, F. J. B ; ARAUJO, JASMINE P. L. ; LEITE, R. C. . PROJETO CONECTAR: USO DA METODOLOGIA DE ENSINO - APRENDIZAGEM PARA O APRIMORAMENTO SOCIAL E INTELLECTUAL. In: COBENGE, 2018, Salvador. COBENGE 2018 ? XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia, 2018.
3. CELESTINO, D. C. ; TOSTES, P. L. ; TOSTES, M. E. L. ; SOARES, R. P. O. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** ; FIGUEIREDO, A. P. R. ; ARAUJO, JASMINE P. L. ; CASTRO, B. S. L. . CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES E DE EQUIPAMENTOS ELETRICOS APRESENTANDO CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA

- ENERGÉTICA EM ESCOLAS PÚBLICAS ATRAVÉS DE PROJETO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2017, Joinville. COBENGE, 2017.
4. CELESTINO, D. C. ; TOSTES, M. E. L. ; TOSTES, P. L. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** ; FIGUEIREDO, A. P. R. ; ARAUJO, JASMINE P. L. ; CASTRO, B. S. L. . PROJETO DE EXTENSÃO EM ENSINO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO FUNDAMENTAL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2017, Joinville. COBENGE, 2017.
 5. FERREIRA, S. C. B. ; BARROS, F. J. B ; MARTINS, M. C. ; CASTRO, B. S. L. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** ; CAVALCANTES, G. P. ; ARAUJO, JASMINE P. L. . UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR PYLAYERS COMO METODOLOGIA DE ENSINO EM ENGENHARIA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2017, Joinville. COBENGE, 2017.
 6. MAGALHAES, V. H. B. ; BARROS, F. J. B ; MARTINS FILHO, W. J. C. ; TOSTES, M. E. L. ; MATOS, E. M. C. ; CAVALCANTES, G. P. ; ARAUJO, JASMINE P. L. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** . ESTUDO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL CST NA ANÁLISE DE FSS COMO METODOLOGIA DE ENSINO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2017, Joinville. COBENGE, 2017.
 7. SOUZA, R. C. ; FERREIRA, F. H. C. S. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** ; GOMES, C. R. ; ARAUJO, JASMINE P. L. . AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS EMITIDOS POR ESTAÇÕES LTE: MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES. In: I CONGRESSO DE TECNOLOGIAS E DESENVOLVIMENTO DA AMAZONIA CTDA 2017, 2017, Cametá. I CONGRESSO DE TECNOLOGIAS E DESENVOLVIMENTO DA AMAZONIA CTDA 2017, 2017.
 8. FERREIRA, F. H. C. S. ; SOUZA, R. C. ; ARAUJO, JASMINE P. L. ; **ALCANTARA NETO, M. C.** . ESTUDO SOBRE AS SUPERFÍCIES SELETIVAS EM FREQUENCIA (FSS): TEORIA E ANÁLISE DE PROJETO. In: I CONGRESSO DE

TECNOLOGIAS E DESENVOLVIMENTO DA AMAZONIA CTDA 2017, 2017, Cametá. I CONGRESSO DE TECNOLOGIAS E DESENVOLVIMENTO DA AMAZONIA CTDA 2017, 2017.

b.3. Dos projetos de pesquisa aprovados

1. 2018 – Atual PROJETO E SÍNTESE DE FSS DE ONDA MILIMÉTRICA COM CONTROLE DO REGIME DE TRAPPED-MODE PARA APLICAÇÃO NO SISTEMA DE TRANSPORTE INTELIGENTE Descrição: Com a introdução da tecnologia de carros autônomos, espera-se uma redução drástica das mortes em trânsito e também dos congestionamentos, e, conseqüentemente, do tempo que as pessoas perdem dentro dos carros. Dentre as tecnologias propostas para que se torne possível a fabricação de veículos autônomos, está o sistema de radar de curto alcance (Short range radar - SRR), como mencionado anteriormente, este é um elemento crucial na segurança do automóvel, tornando-se responsável pela detecção e prevenção de potenciais colisões. E, dessa forma, deverá ajudar na redução do número e gravidade dos acidentes rodoviários. No entanto, o SRR para aplicação automotiva possui três frequências centrais - 24,5 GHz, 26,5 GHz e 79 GHz, sendo estas frequências próximas as estudadas para o desenvolvimento das comunicações por rádio frequência (RF) do sistema 5G outdoor, além das comunicações que poderão ser desenvolvidas dentro do padrão IEEE 802.15.3c. Com a expansão do sistema de comunicação para o 5G, no entanto, a poluição do espectro eletromagnético percebida em sistemas RF para micro-ondas, é uma problemática que merece atenção nas novas pesquisas que estão surgindo para aplicações no sistema de veículos autônomos. É neste sentido que esta proposta de pesquisa se propõe a desenvolver estruturas de filtro seletivas de frequência (FSS) para filtragem de ondas, almejando sua aplicação no sistema SRR, de maneira a blindar este respectivo sistema de interferências oriundas de outras fontes de comunicação RF. Pretende-se com isso, explorar as potencialidades das ferramentas computacionais, no contexto em que pesquisadores planejam redes neurais artificiais (RNA) para trabalharem em conjunto com algoritmos de otimização bioinspirada, técnica denominada de método híbrido. Nessa metodologia, o projeto e otimização das FSS é executado de modo a viabiliza maior robustez e flexibilidade ao projeto, garantindo resultados ainda mais precisos de modo a minimiza substancialmente o tempo de processamento das propriedades eletromagnéticas das estruturas. Situação: Em

andamento; Natureza: Pesquisa. Alunos envolvidos: Graduação: (1). Integrantes: **Miércio Cardoso de Alcântara Neto - Coordenador** / Fabricio Jose Brito Barros - Integrante / Jasmine Priscyla Leite de Araujo - Integrante / Adaildo Gomes D'Assunção - Integrante / CAVALCANTE, G. P. S. - Integrante / Cássio da Cruz Nogueira - Integrante. Financiador(es): Universidade Federal do Pará - Bolsa.

2. 2017 – Atual PROJETO E SÍNTESE DE FSS DE BANDA ULTRA LARGA PARA APLICAÇÕES NO SISTEMA 5G UTILIZANDO OTIMIZAÇÃO BIOINSPIRADA MULTIOBJETIVO Descrição: O mercado de telefonia móvel é um dos que mais cresce no segmento de serviços de telecomunicações, o que contribui para um espectro de frequências cada vez mais poluído. Ao se propor o novo sistema para comunicações de dados móveis, especificamente o denominado de sistema 5G, pesquisadores da área do eletromagnetismo aplicado a comunicações móveis estão a propor em suas pesquisas sistemas para operação em ondas milimétricas (padrão IEEE 802.15.3c). Todavia, busca-se ao subir na escala de frequências, maior taxa de velocidade para transmissão dos dados e, atingir frequências ainda pouco exploradas de modo a se evitar interferências por outros sistemas de rádio comunicação. No entanto, com a expansão do sistema 5G, a poluição do espectro eletromagnético percebida no sistema 4G que opera no padrão de micro-ondas, é uma problemática que merece atenção nas novas pesquisas que estão surgindo. Neste contexto, esta projeto de pesquisa visa o desenvolvimento de estruturas para filtragem de ondas rádios para aplicação nesse novo padrão que está sendo estudado, de maneira a blindar o respectivo sistema de interferências oriundas de outras fontes de comunicação por rádio. Pretende-se com isso, explorar as potencialidades das ferramentas computacionais, no contexto em que pesquisadores planejam redes neurais artificiais (RNA) para trabalharem em conjunto com algoritmos de otimização bioinspirada, técnica denominada de método híbrido, que atualmente é aplicado com sucesso na faixa de frequências pertencentes aos sistemas que operam em micro-ondas (padrão IEEE 802.11 e IEEE 802.16), e ainda pouco explorada em ondas milimétricas (padrão IEEE 802.15.3c). Nessa metodologia, o projeto e otimização das superfícies seletivas em frequência (FSS) é executado de modo a viabiliza maior robustez e flexibilidade ao projeto, garantindo resultados ainda mais precisos de modo a minimiza substancialmente o tempo de processamento das propriedades eletromagnéticas das estruturas. Situação: Em andamento; Natureza: Pesquisa. Alunos envolvidos: Graduação: (1) . Integrantes: **Miércio Cardoso de**

Alcântara Neto - Coordenador / Adaildo Gomes D'Assunção - Integrante / CAVALCANTE, G. P. S. - Integrante / ARAUJO, J. P. L. - Integrante / Flávio Henry Cunha da Silva Ferreira - Integrante.

b.4. Dos projetos de extensão aprovados

1. 2018 – Atual Engenheiros do Futuro: robótica educacional para alunos do ensino público fundamental usando a plataforma Arduino Descrição: O projeto visa consolidar a oficina de robótica educacional, já implementada na Escola de Ensino Fundamental Almirante Guillobel na cidade de Belém (PA). A oficina foi baseada na plataforma open source Arduino e teve como monitores alunos do curso de Engenharia Biomédica da UFPA. O objetivo principal da oficina foi oferecer aos alunos do ensino fundamental conceitos básicos de robótica, engenharia e programação e também apresentar a Tecnologia como uma área de conhecimento acessível a todos. A desmistificação da inacessibilidade das carreiras da área tecnológica é particularmente importante para estudantes do sexo feminino, por causa do ambiente cultural prevalente que desencoraja as mulheres de avançar academicamente e profissionalmente nessas áreas. Na atual proposta, pretende-se fazer uma parceria com os professores que ministram disciplinas de ciências, para estimular e compartilhar conhecimentos. Os alunos serão encorajados a formarem equipes para participarem em competições nacionais na área da robótica educacional.. Situação: Em andamento; Natureza: Extensão. Alunos envolvidos: Graduação: (20) . **Integrantes: Miércio Cardoso de Alcântara Neto - Coordenador / Valquíria Gusmão Macedo - Integrante / Antônio Pereira Júnior - Integrante / Daniel Cardoso de Souza - Integrante / Maria da Conceição Pereira Fonseca - Integrante.**
2. 2014 – Atual LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE IDEIAS-LDI DESPERTAR Descrição: O projeto compõe um conjunto articulado de ações extensionistas de um programa maior para contribuir no processo de construção de conhecimento, de desenvolvimento de habilidades transversais e de formação de cidadãos conscientes, não só dos alunos dos cursos de graduação das engenharias do ITEC/UFPA como dos alunos de cursos de ensino médio que sonham em serem engenheiros. As ações extensionistas, que cabem a este projeto, estão relacionadas com o despertar das curiosidades e criatividade no que dizem respeito à integração de conhecimentos e recursos técnicos que envolvem as engenharias às necessidades reais

e de cotidiano da humanidade, para que desse modo a aquisição do conhecimento e das técnicas possam representar potenciais ferramentas para a aplicação, desenvolvimento ou implementação de idéias que venham melhorar de alguma forma a qualidade de vida do ser humano. Com base nas experiências obtidas na edição anterior deste projeto, serão realizadas avaliações prévias das didáticas adotadas pelos alunos de graduação em engenharia, visando melhor preparação para serem multiplicadores de conhecimento junto às escolas públicas de ensino médio, sendo que esse conhecimento será difundido através de cursos básicos que deverão culminar com uma atividade que envolva criatividade e aplicação do conhecimento, palestras motivacionais e distribuição de cartilhas de orientação para aplicação e utilização correta do conhecimento no dia a dia. O treinamento será realizado pelos alunos de graduação do ITEC que participam da equipe do projeto. O projeto pretende atender pelo menos 02 escolas públicas de ensino médio ao longo do ano. A priori alguns cursos básicos já previstos envolvem: Linguagem de Programação C, Aplicativo de Simulação Matlab, Introdução ao ARDUINO, Informática Básica, Manutenção de microcomputadores e redes de computadores, Aplicativo ANDROID para o Ensino de Ciências Básicas e Automação com Lego Mindstorms. Uma palestra já prevista envolve o uso Eficiente da Energia Elétrica. Além disso, serão agendadas visitas técnicas às dependências do ITEC (Ex: Faculdade de Engenharia Elétrica), para que o aluno do ensino médio se aproxime da universidade e conheça algumas práticas laboratoriais existentes em um curso de tecnologia. Ao longo do projeto outros cursos básicos, palestras, bem como outras ações podem ser propostas pela equipe do projeto a partir da demanda de necessidades identificadas nas escolas atendidas, e de acordo com o interesse dos alunos participantes. Pretende-se ainda, semear pequenas ações do LDI despertar no campus de Castanhal como forma de se avaliar a possibilidade de futura expansão do LDI para outro campus. Situação: Em andamento; Natureza: Extensão. Alunos envolvidos: Graduação: (8) / Doutorado: (1) . Integrantes: **Miércio Cardoso de Alcântara Neto - Integrante** / Bruno Souza Lyra Castro - Integrante / Rosana Paula de Oliveira Soares - Coordenador.

b.5. Dos prêmios obtidos

2018 - PRÊMIO ORIENTADOR DESTAQUE DA INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA UFPA 2018, Grande Área de CIÊNCIAS EXATAS, DA TERRA E ENGENHARIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ.

REFERÊNCIAS

- [1] A. H. Alavi e A. H. Gandomi, A robust data mining approach for formulation of geotechnical engineering systems, *International Journal of Computer Aided Methods in Engineering-Engineering Computations*, vol. 28, no. 3, pp. 242-74, 2011.
- [2] S. Ali, N. Abbadeni, M. Batouche, *Multidisciplinary computational intelligence techniques: applications in business, engineering, and medicine*, IGI Global Snippet, 2012.
- [3] S. Ali, N. Abbadeni, M. Batouche, *Multidisciplinary computational intelligence techniques: applications in business, engineering, and medicine*, IGI Global Snippet, 2012.
- [4] X. S. Yang e S. Deb, Cuckoo search via Lévy flights, in: *Proc. of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBic 2009)*, IEEE Publications, USA, pp. 2010-2014, 2009.
- [5] X. S. Yang, A new metaheuristic bat-inspired algorithm, *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*, Springer Berlin, vol. 284, pp. 65-74, 2010.
- [6] M. C. Alcantara Neto, J. P. L. Araújo, F. J. B. Barros, A. N. Silva, G. P. S. Cavalcante, and A. G. D'Assunção, Bioinspired multiobjective synthesis of x-band fss via general regression neural network and cuckoo search algorithm, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, No. 10, pp.2400-24005, 2015.
- [7] W. C. Araújo, H. W. C. Lins, A. G. D'Assunção Jr., J. L. G. Medeiros and A. G. D'Assunção, A bioinspired hybrid optimization algorithm for designing broadband frequency selective surfaces, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 2, 2014.
- [8] A. Hoorfar, Evolutionary programming in electromagnetic optimization: a review, *IEEE Trans. Antenna and Propag.*, pp. 523–537, 2007.
- [9] R. H. C. Maniçoba, Estudo do acoplamento entre superfícies seletivas de frequência assimétrica em estruturas de multicamadas, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, 2012.
- [10] T. L. Silva, Análise de onda completa de superfície seletiva em frequência do tipo anteparo duplo, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, 2011.
- [11] L. Ragan, A. Hassibi, T. S. Rappaport, C. L. Christianson, Novel on-chip antenna structures and frequency selective surface (FSS) approaches for millimeter wave devices, *Vehicular Technology Conference (VTC), 66th IEEE Conference*, pp 2051 – 2055, 2007.
- [12] S. A. Hosseini, F. Capolino, and F. De Flaviis, Design of a single-feed 60 GHz planar metallic Fabry-Perot cavity antenna with 20 dB gain, *Antenna Technology, IEEE International Workshop*, 2009.

- [13] W. L. Chang, J. Y. Luo, Y. Kawakami, J. Lin, A Novel Multi-Band Frequency Selective Surface Design and Its Application in a Compact 60-GHz Folded Dipole Array, Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), International Conference, pp 1145 – 1149, 2010.
- [14] W. L. Chang, J. Y. Luo, A novel multi-band frequency selective surface design and its application in a compact 60-GHz folded dipole array, Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON), International Conference, pp 1 – 4, 2010.
- [15] G. I. Kiani, T. S. Bird, and K. L. Ford, 60 GHz ASK modulator using switchable FSS, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), pp 1 – 4, 2010.
- [16] G. I. Kiani, T. S. Bird, and K. Y. Chan, MEMS enabled frequency selective surface for 60 GHz applications, Antennas and Propagation (APSURSI), IEEE International Symposium, 2011.
- [17] K. Y. Chan, Y. J. Guo, Analysis of RF MEMS integrated tunable high impedance surface at 60 GHz, Microwave Conference Proceedings (APMC), Asia-Pacific, pp 562 – 565, 2011.
- [18] A. Barakat, A. Allam, R. K. Pokharel, H. Elsadek, M. El-Sayed, and K. Yoshida, Performance optimization of a 60 GHz antenna-on-chip over an artificial magnetic conductor, Electronics, Communications and Computers (JEC-ECC), Japan-Egypt Conference, pp 118 – 121, 2012.
- [19] A. Barakat, A. Allam, R. K. Pokharel, H. Elsadek, M. El-Sayed, and K. Yoshida, 60 GHz triangular monopole antenna-on-chip over an artificial magnetic conductor, Antennas and Propagation (EUCAP), 6th European Conference on Antennas and Propagation, pp 972 – 976, 2012.
- [20] T. Zhang, H. H. Ouslimani, Y. Letestu, A. Le Bayon and L. R. Darvil, A low profile multilayer seventh order band-pass frequency selective surface (FSS) for millimeter-wave application, Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), IEEE 13th Annual, pp 1 – 4, 2012.
- [21] T. Elkarkraoui, G. Y. Delisle, N. Hakem, Y. Coulibaly, New hybrid design for a broadband high gain 60-GHz dielectric resonator antenna, 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp 2444 – 2447, 2013.
- [22] A. Hosseini, F. Capolino, and F. De Flaviis, Gain Enhancement of a V-Band antenna using a Fabry-Pérot Cavity with a self-sustained all-metal cap with FSS, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 3, pp 909 – 921, 2015.
- [23] R. M. S. Cruz, P. H. F. Silva e A. G. D'Assunção, Neuromodeling stop band properties of Koch Island patch elements for FSS filter design, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 51, no. 12, 2009.

- [24] P. H. F. Silva, R. M. S. Cruz e A. G. D'Assunção, Blending PSO and ANN for optimal design of FSS filters with Koch Island patch elements, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 46, no. 8, 2010.
- [25] H. W. C. Lins, E. L. F. Barreto e A. G. D'Assunção, Enhanced wideband performance of coupled frequency selective surfaces using metaheuristics, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 4, 2013.
- [26] X. S. Yang, *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2010a.
- [27] X. S. Yang, S. Koziel, *Computational Optimization and Applications in Engineering and Industry*, Springer, Germany, 2011.
- [28] K. Deb, *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2001.
- [29] H. Mo, Z. Xu, L. Xu, Z. Wu and H. Ma, Constrained multiobjective biogeography optimization algorithm, *The Scientific World Journal*, vol. 2014, article ID 232714, 2014.
- [30] V. Pareto, *Cours d'Economie Politique*, Rouge, 1886.
- [31] A.R. Conn, K. Scheinberg, L. N. Vicente, *Introduction to Derivative-Free Optimization*, MPS-SIAM Series on Optimization, SIAM, Philadelphia, PA, 2009.
- [32] J. A. Nelder, R. Mead, A simplex method for function optimization, *Comput. J.* 7, 308-313, 1965.
- [33] E. G. Talbi, *Metaheuristics: From Design to Implementation*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2009.
- [34] X. S. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, first ed. Luniver Press, Frome, 2008.
- [35] Blum, C., Roli, A., 2003. Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Comput. Surv.* 35, 268-308.
- [36] J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press: Ann Arbor, MI, 1975.
- [37] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison-Wesley, 1989.
- [38] J. P. L. Araújo, *Estratégia de planejamento e otimização de sistemas sem fio, considerando redes interferentes: abordagem baseada em cross-layer*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará / PPGEE, Belém, 2011.
- [39] X. S. Yang, A new metaheuristic bat-inspired algorithm, *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*, (Eds. J. R. Gonzales et al.), Springer Berlin, vol.

284, pp. 65-74, 2010b.

[40] I. Pavlyukevich, Lévy flights, non-local search and simulated annealing, *Journal of Computational Physics*, vol. 226, pp 1830-1844, 2007.

[41] X. S. Yang, S. Deb, *Cuckoo search: recent advances and applications*, Neural Comput & Applic, London, 2013.

[42] N. E. Humphries et al., Environmental context explains Lévy and Brownian movement patterns of marine predators, *Nature* 465, 1066–1069, 2010.

[43] X. S. Yang, S. Deb, Engineering optimization by cuckoo search, *Int J Math Modelling Num. Opt.* 2010, 1(4):330–43.

[44] X. S. Yang e S. Deb, Multiobjective cuckoo search for design optimization, *Computers and Operations Research*, vol. 40, pp 1616-1624, 2011.

[45] M. R. Silva, Otimização de superfícies seletivas de frequência com elementos pré-fractais utilizando rede neural MLP e algoritmos de busca populacional, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, 2013.

[46] C. M. Su, L. C. Chou, C. I. Lin, K. Lu Wong, Embedded DTV antenna for laptop application, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 4B, pp. 68 – 71, 2005.

[47] L. C. Esteves, *Antenas Teoria Básica e Aplicações*, McGraw-Hill, 1980.

[48] C. M. M. Fonseca, “Multiobjective genetic algorithms with application to control engineering problems”, Doctorate Thesis, The University of Sheffield, Department of Automatic Control and Systems Engineering, United Kingdom - UK, 1995.

[49] R.N. Mantegna, “Fast, accurate algorithm for numerical simulation of Levy stable stochastic processes”, *Phys. Rev. E*, 49, (5), pp. 4677–4683, 1994.

[50] M. N. Kawakatsu, “Superfícies eletromagnéticas de micro-ondas com controle do regime de trapped-mode”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia (ITEC), Pará, 2012.

[51] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley and Sons, 1998.