

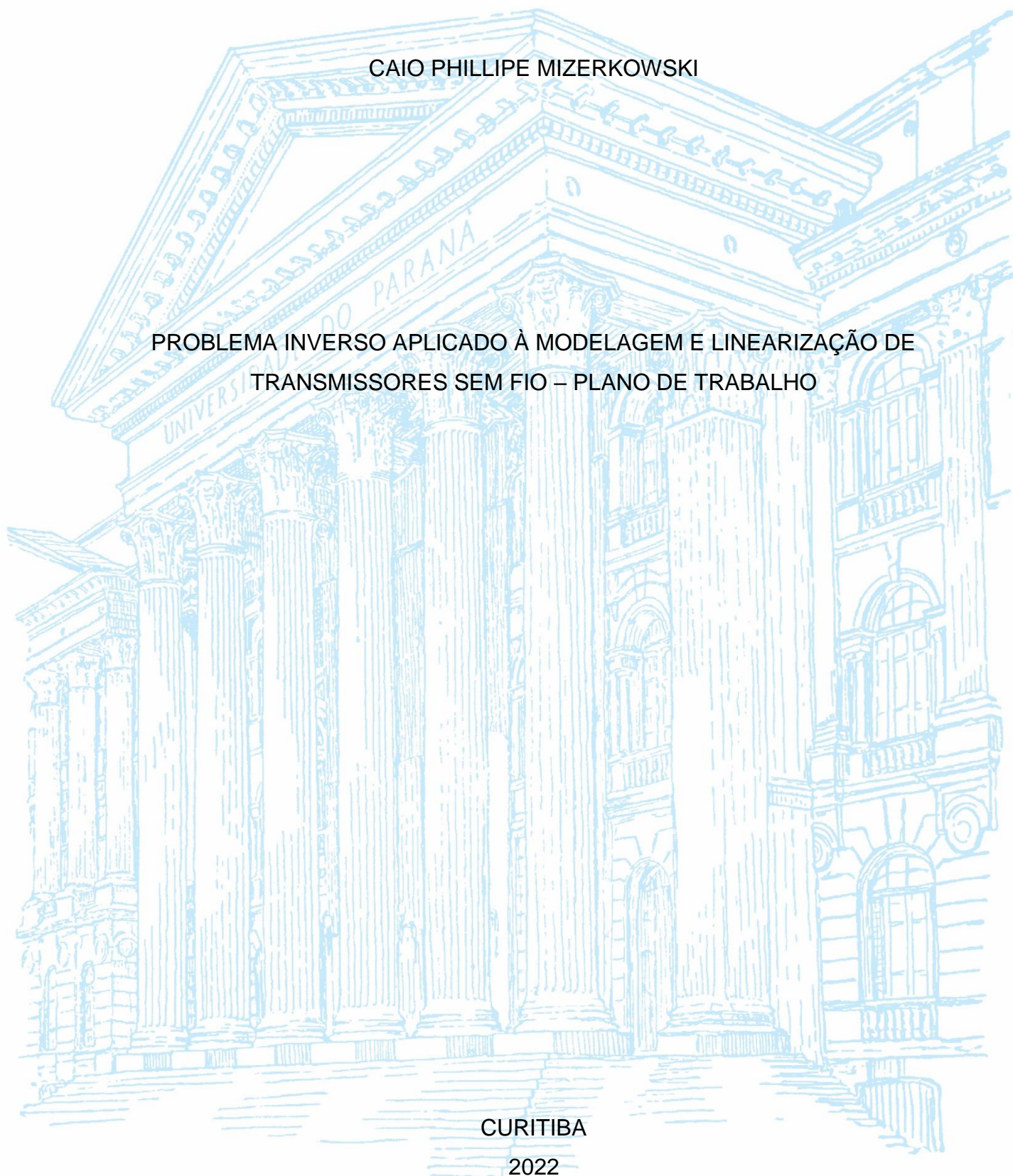
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAIO PHILLIPE MIZERKOWSKI

PROBLEMA INVERSO APLICADO À MODELAGEM E LINEARIZAÇÃO DE  
TRANSMISSORES SEM FIO – PLANO DE TRABALHO

CURITIBA

2022



CAIO PHILLIPE MIZERKOWSKI

PROBLEMA INVERSO APLICADO À MODELAGEM E LINEARIZAÇÃO DE  
TRANSMISSORES SEM FIO – PLANO DE TRABALHO

Plano de trabalho apresentado ao curso de  
graduação em engenharia elétrica, setor de  
tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gonçalves de Lima

CURITIBA

2022

## **1 INTRODUÇÃO**

O papel do amplificador de potência (PA) é o aumento da potência dos sinais nas transmissões de informações através de redes sem fio de comunicação, como as redes Wi-Fi e as tecnologias de comunicação móvel (3G, 4G, 5G etc). Nos estudos dos PAs voltados para a modelagem comportamental, duas características se destacam. A primeira delas é a não-linearidade presente em sua região de maior eficiência e a segunda são os efeitos de memória presentes no PA devido a fatores internos como os decorrentes da temperatura. Observar estas características é essencial em sua modelagem, pois o modelo a ser desenvolvido deve ser capaz de reproduzir a ambas, o que resulta em modelos de maior complexidade e com um número maior de coeficientes e entradas.

Este trabalho de TCC é uma continuação aos trabalhos de iniciação científica já desenvolvidos durante o período de três anos pelo aluno junto ao orientador, no qual foram analisados diferentes conjuntos de dados e métodos envolvendo o problema inverso (IP) aplicado aos PAs e a os distorcedores digitais. Serão aprofundados no decorrer deste trabalho estes conhecimentos, assim como os conhecimentos em modelagem e em redes neurais.

## **2 OBJETIVOS**

Neste trabalho o objetivo geral é a compreensão, a utilização e o desenvolvimento de técnicas que utilizam a resolução de um problema inverso para a modelagem, a validação e a linearização de amplificadores de potência (PA), utilizados para a transmissão de sinais através do ar para a comunicação sem fio entre dispositivos. Os PAs componentes não-lineares com efeitos de memória, que apresentam uma distorção acentuada para as altas potências de saída, região de sua maior eficiência de operação. De forma mais específica, prevê-se a utilização de redes neurais artificiais (ANN) do tipo perceptron de multicamada (MLP) para proporcionar os modelos computacionais de PA e de suas inversas, o pós-distorçor digital (DPoD) e o pré-distorçor digital (DPD). A primeira inversa é inviável para uso real, devido as altas potências presentes na saída dos PAs e os custos em eficiência, enquanto a segunda não é facilmente validada pois existe a presença de componentes não-lineares e de efeitos térmicos nos PAs que tornam a sua saída dependente não

somente das entradas atuais como também das entradas passadas, os chamados efeitos de memória. Portanto, será realizada a modelagem do PA e do DPoD com o uso de MLP numa arquitetura específica para lidar com números complexos e os efeitos de memória, para que um sistema composto pelo modelo de PA e de sua inversa, agora no papel de DPD, possa ser validado através de utilização da resolução do problema inverso (PI). Junto a isso será avaliada a capacidade do PI de identificar em modelos computacionais de PA as amostras que perdem a capacidade de serem mapeadas um para um dentro do DPD em razão da alta distorção nos PAs em suas regiões de maior eficiência.

### **3 PÚBLICO-ALVO**

Voltado aos campos da microeletrônica em rádio frequência (RF) e modelagem com redes neurais (NN), o público-alvo deste projeto é a comunidade acadêmica, projetistas e pesquisadores envolvidos nestes dois campos.

### **4 DIFERENCIAL DO PROJETO**

O diferencial do projeto está na utilização do problema inverso (PI) para a validação de DPDs e para a identificação de regiões não bijetivas entre os modelos computacionais de PAs e de DPDs.

### **5 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO**

A primeira etapa será iniciada com a leitura e o aprofundamento do arcabouço teórico sobre modelagem de PAs utilizando-se redes neurais, por meio da vasta literatura presente sobre redes neurais e sobre PAs, de forma a preparar o terreno para a segunda etapa, que consiste na modelagem e na realização de simulações através do software Matlab. Por fim, na terceira etapa, será feita a extração das métricas relevantes e a análise dos resultados.

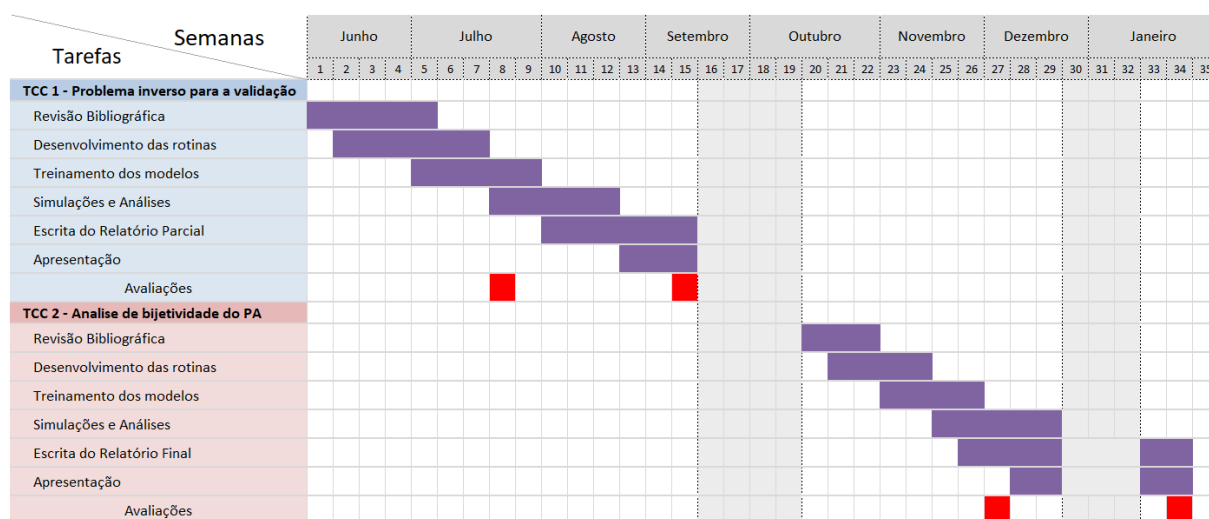
## 6 RECURSOS NECESSÁRIOS

No desenvolvimento deste projeto será utilizado o software Matlab em conjunto com outras ferramentas computacionais para a modelagem e visualização dos dados. Assim como a base de referências sobre o assunto presente no acervo de arquivos do IEEE e de outros artigos disponibilizados por meio da plataforma de periódicos da CAPES.

## 7 RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS

Como resultados fundamentais a serem obtidos na conclusão deste trabalho estão: a validação como pré-distorçor digital (DPD) de um modelo em redes neurais artificiais (ANN) da inversa do amplificador de potência (PA), tendo sido a inversa treinada como pós-distorçor digital (DPoD) e o processo de validação ocorrendo através da aplicação do problema inverso (IP), e a identificação de amostras na região de alta eficiência do PA que possuem a bijetividade dificultada em razão da extrema não-linearidade da região. De forma objetiva, os resultados serão analisados através das métricas do erro quadrático médio normalizado (NMSE) e da razão de potência de canal adjacente (ACPR), esta análise será realizada com o auxílio de gráficos quando necessário para a melhor compreensão dos resultados.

## 8 CRONOGRAMA A SER SEGUIDO



## **9 IMPORTÂNCIA DO PROJETO PARA A FORMAÇÃO DO AUTOR**

A compreensão dos princípios de modelagem computacional pode ser facilmente estendida para diversas áreas do conhecimento, estando fortemente presente na pesquisa acadêmica, na indústria e no campo da ciência de dados. Enquanto os amplificadores de potência são parte essenciais dos sistemas de comunicação sem fio e o conhecimento dos mesmos e seus usos em circuitos de RF agrega um conhecimento que pode ser aplicado em diversos campos. A junção destas duas áreas agrega o conhecimento teórico de modelagem à solução de problemas similares aqueles presentes no mercado de trabalho.

Do ponto de vista acadêmico, esse trabalho é uma continuação dos projetos de iniciação científica realizados pelo aluno, existindo a possibilidade deste servir como base para um eventual projeto de mestrado.

## REFERÊNCIAS

- D. Raychaudhuri and N. B. Mandayam, **Frontiers of Wireless and Mobile Communications**, Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 4, pp. 824–840, Apr. 2012.
- S. C. Cripps, **RF power amplifiers for wireless communications**, 2nd ed., ser. Artech House microwave library. Boston: Artech House, 2006.
- F. Raab, P. Asbeck, S. Cripps, P. Kenington, Z. Popovic, N. Potheary, J. Sevic, and N. Sokal, **Power amplifiers and transmitters for RF and microwave**, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 50, no. 3, pp. 814–826, Mar. 2002.
- P. B. Kenington, **High-linearity RF amplifier design**, ser. Artech House microwave library. Boston, MA: Artech House, 2000.
- H. Wang, G. Li, C. Zhou, W. Tao, F. Liu, and A. Zhu, **1-bit Observation for Direct-Learning-Based Digital Predistortion of RF Power Amplifiers**, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, no. 7, pp. 2465–2475, Jul. 2017.
- J. Pedro and S. Maas, **A comparative overview of microwave and wireless power-amplifier behavioral modeling approaches**, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 53, no. 4, pp. 1150–1163, Apr. 2005.
- V. J. Mathews and G. L. Sicuranza, **Polynomial Signal Processing**. Wiley-Interscience, 2000.
- S. Haykin and P. M. Engel, **Redes neurais: princípios e prática**. Porto Alegre: Bookman, 2001, oCLC: 55921641.
- C. Eun and E. Powers, **A new Volterra predistorter based on the indirect learning architecture**, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 45, no. 1, pp. 223–227, Jan. 1997.
- K. Hornik, **Approximation capabilities of multilayer feedforward networks**, Neural Networks, vol. 4, no. 2, pp. 251–257, 1991.
- L. B. Chipansky Freire, C. De Franca, and E. G. de Lima, **A Modified Real-Valued Feed-Forward Neural Network Low-Pass Equivalent Behavioral Model for RF Power Amplifiers**, Progress In Electromagnetics Research, vol. 57, pp. 43–52, 2015.
- J. Nocedal and S. Wright, **Numerical Optimization** (Springer Series in Operations Research and Financial Engineering). Springer, 2006.
- C. Franc, a, L. B. C. Freire, and E. G. Lima, **Three-Layer Perceptron versus Radial Basis Function for the Low-pass Equivalent Behavioral Modeling of Wireless Transmitters**, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications (JMoe), vol. 14, pp. 136–149, 2015.

E. J. Bonfim and E. G. de Lima, **A modified two dimensional volterra based series for the low-pass equivalent behavioral modeling of rf power amplifiers**, Progress In Electromagnetics Research M, vol. 47, pp. 27–35, 2016.

D. W. Marquardt, **An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters**, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, vol. 11, no. 2, pp. 431–441, jun 1963.

M. S. Muha, C. J. Clark, A. A. Moulthrop, and C. P. Silva, **Validation of power amplifier nonlinear block models**, in Microwave Symposium Digest, 1999 IEEE MTT-S International, vol. 2. IEEE, 1999, pp. 759–762.

E. G. Lima, **Behavioral modeling and digital base-band predistortion of rf power amplifiers**, Ph.D. thesis, Politecnico di Torino, 2009.



## Anexo III – Declaração de orientação de TCC



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Elétrica

Coordenação do curso de Engenharia Elétrica

Eu, prof. Eduardo Gonçalves de Lima declaro estar  
ciente de que serei o(a) orientador(a) do trabalho de conclusão de curso do(s) aluno(s) abaixo  
relacionado(s):

Caio Phillipe Mizerkowski, matrícula GRR20166403

do curso de Engenharia Elétrica com ênfase em

☐ eletrotécnica (curso diurno),

☐ eletrônica e telecomunicações (curso diurno),

☒ sistemas eletrônicos embarcados (curso noturno),

e que seu plano de trabalho está de acordo com a regulamentação do curso.

Informo ainda que este trabalho:

☒ não terá coorientador(a).

☐ será coorientado por \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
24/05/2022

Data

Eduardo Gonçalves de Lima

Assinatura do(a) professor(a) orientador(a)