

# Modelagem comportamental baseada em uma única função polinomial unidimensional e vários filtros de resposta ao impulso finita

Lara Eimy Kuada, Eduardo Gonçalves de Lima  
 Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil  
 larakuada@gmail.com  
 eduardo.lima@ufpr.br

**Resumo** — Amplificadores de potência (PA) são essenciais na transmissão de dados e na comunicação sem fio. Para um melhor funcionamento é necessário um comportamento linear. Neste trabalho foi comparado o comportamento de dois modelos de PA, um existente na literatura e um novo modelo proposto, com dois conjuntos de dados. O primeiro PA a ser modelado utiliza um transistor GaN e o segundo é um PA do tipo LDMOS. Ambos os modelos foram reproduzidos no ambiente MATLAB. Para a comparação dos resultados foi utilizado NMSE (Normalized Mean Square Error) e obteve-se, para o primeiro conjunto de dados, -36,11 dB e -35,76 dB, respectivamente para o modelo proposto e o da literatura. Para o segundo conjunto de dados obteve-se para modelo proposto e o da literatura, respectivamente, -34,01 dB e -36,35 dB.

## I. INTRODUÇÃO

Juntamente com o rápido aumento da quantidade de aparelhos eletrônicos e da alta demanda de comunicação sem fio, o processamento e distribuição de dados também evoluíram proporcionalmente. Os amplificadores de potência (Power Amplifier – PA) se tornaram essenciais nesse contexto, por ampliarem a potência do sinal de entrada, garantindo um maior sinal de saída. Porém alguns problemas no seu funcionamento ocorrem, como distorções no sinal de saída, devido a sua não linearidade, comprometendo sua eficiência [1].

O objetivo do trabalho é propor um novo modelo comportamental para o PA com aplicação na sua linearização pensando em uma operação mais eficiente, sendo comparado ao modelo já existente na literatura. O modelo proposto é composto de uma única função polinomial e mais de um filtro, diferentemente do da literatura, que é composto por um único filtro e mais de uma função polinomial [2].

As Seções II e III apresentam as equações e o funcionamento detalhado dos modelos da literatura e do modelo proposto, respectivamente.

Em seguida, a Seção IV descreve os resultados obtidos a partir da comparação dos dois modelos, e a Seção V mostra as conclusões finais do trabalho.

## II. DESCRIÇÃO DO MODELO DA LITERATURA

O modelo de literatura [2], composto por um único filtro e mais de uma função de polinomial (F1P+), é dado pela seguinte equação:

$$\tilde{y}(n) = \left[ \sum_{m=0}^1 \tilde{a}_{m+1} \tilde{x}(n-m) \right] \times \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{m=0}^1 \tilde{b}_{pm} |\tilde{x}(n-m)|^{p-1} \right], \quad (1)$$

assumindo  $\tilde{x}(n)$  e  $\tilde{y}(n)$  como valores de entrada e saída  $n$  do modelo, respectivamente, e  $P$  é a ordem polinomial. Os coeficientes  $\tilde{a}_{m+1}$  e  $\tilde{b}_{pm}$  são ajustáveis, se relacionando de forma não linear. O funcionamento de F1P+ é detalhado no diagrama de blocos da Figura 1.

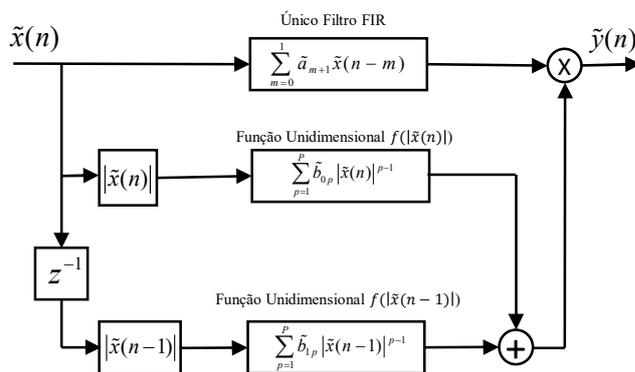


Fig. 1. Diagrama de blocos do modelo F1P+

O valor de  $\tilde{a}_{m+1}$  é obtido com ajuda de otimização não linear [3]. Conhecendo os valores de  $\tilde{a}_{m+1}$ , a partir de mínimos quadrados [4],  $\tilde{b}_{pm}$  é encontrado.

### III. DESCRIÇÃO DO MODELO PROPOSTO

O novo modelo proposto, com uma única função polinomial e mais de um filtro (F+P1), se diferencia do modelo da literatura por trocar os papéis de função polinomial e filtro, e é descrito pela equação:

$$\tilde{y}(n) = \left\{ \sum_{m_1=0}^1 \tilde{a}_{m_1,0} \left[ \sum_{p=1}^P \tilde{b}_p |x(n-m_1)|^{p-1} \right] \right\} \tilde{x}(n) + \left\{ \sum_{m_2=0}^1 \tilde{a}_{m_2,1} \left[ \sum_{p=1}^P \tilde{b}_p |x(n-m_2)|^{p-1} \right] \right\} \tilde{x}(n-1) \quad (2)$$

assumindo  $\tilde{x}(n)$  e  $\tilde{y}(n)$  como valores de entrada e saída  $n$  do modelo, respectivamente, e  $P$  é a ordem polinomial. Os coeficientes  $\tilde{a}_{m_1,0}$ ,  $\tilde{a}_{m_2,1}$  e  $\tilde{b}_p$  são ajustáveis, se relacionando de forma não linear. O funcionamento de F+P1 é detalhado no diagrama de blocos na Figura 2.

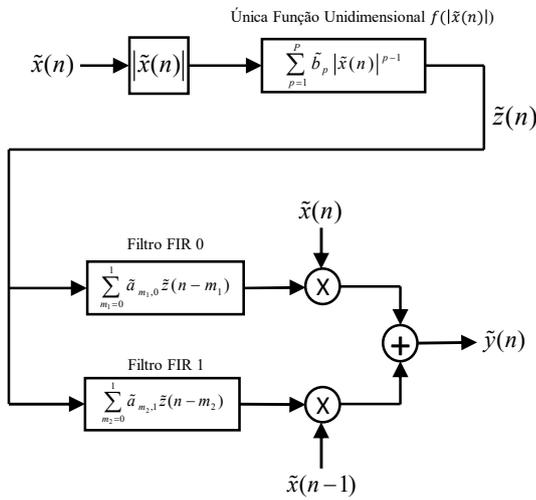


Fig. 2. Diagrama de blocos do modelo F+P1

Diferente de F1P+, em F+P1 o  $\tilde{b}_p$  é obtido por otimização linear [3]. Em seguida, aplicando mínimos quadrados [4], encontram-se  $\tilde{a}_{m_1,0}$ ,  $\tilde{a}_{m_2,1}$ .

### IV. RESULTADOS

Neste trabalho foram utilizados dois conjuntos de dados, ambos divididos em outros dois conjuntos: extração (o qual é utilizado para a obtenção dos valores dos coeficientes) e validação (para obter a saída estimada e calcular a precisão do modelo).

Para o primeiro conjunto, Amplificador *GaN*, os dados foram levantados a partir de um PA contendo um transistor do tipo *GaN*, excitado por duas portadoras moduladas por sinais *Wide Band Code Division Multiple Access* (WCDMA) de larguras de bandas semelhantes a 3,84 MHz, distanciadas entre si por 5 MHz e com sinal resultante centrado em 900 MHz. A frequência de amostragem foi de 61,44 MHz para os sinais de entrada e saída. Os conjuntos

de extração e validação possuem um total de 4500 amostras de entrada e saída.

Para o segundo conjunto, Amplificador LDMOS, os dados foram levantados de um PA do tipo *laterally-diffused metal-oxide semiconductor* (LDMOS), excitado por uma portadora com frequência de 2 GHz, modulada por um sinal WCDMA de largura de banda semelhante a 3,84 MHz. A frequência de amostragem foi de 30,72 MHz para os sinais de entrada e saída. O conjunto de extração possui um total de 26180 amostras de entrada e saída e o grupo de validação, 8501 amostras de entrada e saída.

Ambos os modelos foram desenvolvidos a partir dos mesmos valores de  $P$  e  $M$ . A escolha do valor de  $P$  é arbitrária, sendo escolhido  $P = 3$ , mas poderia ser substituído por outro valor. Já a quantidade de atrasos, obrigatoriamente, é 1 atraso, pois a equação do modelo F+P1 só é funcional com esse valor. É possível utilizar outras quantidades de atrasos, porém seria necessário mudanças na equação.

Foram validados e avaliados utilizando o ambiente *Matlab*, em vírgula flutuante de precisão dupla com auxílio de otimização não linear a partir de *lsqnonlin* e método dos mínimos quadrados com o comando “\”.

A obtenção dos resultados, foi possível com a comparação dos valores de NMSE (*Normalized Mean Square Error*), dos modelos F1P+ e F+P1, utilizando os dados do amplificador *GaN* e amplificador LDMOS, segundo a equação a seguir:

$$NMSE = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=1}^N |y_{real}(n) - y_{sim}(n)|^2}{\sum_{n=1}^N |y_{real}(n)|^2} \quad (3)$$

assumindo  $y_{real}(n)$  como o valor de saída e  $y_{sim}(n)$  como o valor de saída simulado pelo modelo no instante  $n$  e  $N$  é a quantidade total de amostras.

A Tabela 1 apresenta os valores de NMSE calculados para os dois modelos, utilizando ambos os conjuntos de dados.

TABELA 1. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE NMSE

	NMSE (dB)	
	Amplificador <i>GaN</i>	Amplificador LDMOS
F+P1	-36,11	-34,01
F1P+	-35,76	-36,35

Analisando a tabela, pode-se visualizar que para o conjunto de dados do Amplificador *GaN*, o modelo F+P1 obteve o melhor desempenho, que é de aproximadamente 0,4 dB melhor que o do modelo F1P+. Já para o conjunto do Amplificador LDMOS, o modelo F1P+ obteve uma melhoria de, aproximadamente, 2,3 dB em relação ao modelo F+P1.

Os resultados obtidos na Tabela 1 podem ser observados nas Figuras 3 e 4 mostrando o comportamento dos modelos relacionados a um conjunto de dados diferente.

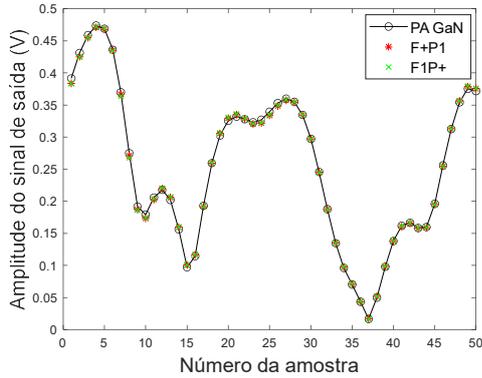


Fig. 3. Comportamentos da amplitude dos sinais de saída com dados PA GaN

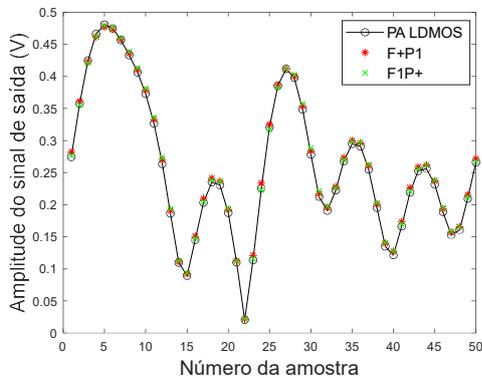


Fig. 4. Comportamentos da amplitude dos sinais de saída com dados LDMOS

Apesar da melhora no desempenho mostrado na Tabela 1, nota-se um comportamento muito parecido para ambos os modelos com grande fidelidade na amplitude de saída do conjunto de dados referentes. As Figuras 5 e 6, que contêm gráficos AM-AM (Modulação em Amplitude - Modulação em Amplitude), evidenciam ainda mais esse comportamento.

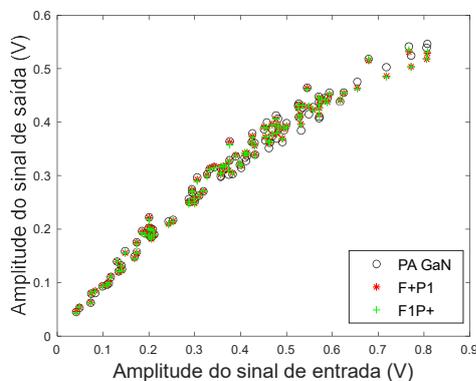


Fig. 5. Curva característica AM-AM com dados PA GaN

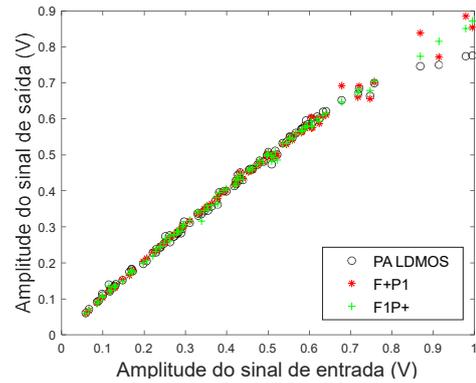


Fig. 6. Curva característica AM-AM com dados PA LDMOS

## V. CONCLUSÃO

Para o aumento da eficiência na transmissão de dados, encontrar maneiras que permitam ao PA se comportar de forma mais linear possível é essencial. Portanto, neste trabalho, foi discutido o comportamento de dois modelos, um já existente na literatura e um novo modelo proposto.

Como o intuito do atual trabalho é comparar ambos os modelos, foi necessário utilizar os mesmos valores de truncamentos. O valor de  $P$  é arbitrária, sendo escolhido  $P = 3$ . Já a quantidade de atrasos, obrigatoriamente, é 1 atraso. Caso contrário, a equação do modelo F+P1 deve ser modificada.

Ambos os modelos foram reproduzidos no ambiente *Matlab*, facilitando diversas etapas para obtenção dos resultados finais.

A comparação dos resultados foi feita através do valor de NMSE. Para o conjunto de dados Amplificador *GaN*, os valores de NMSE para F+P1 e F1P+ foram respectivamente -36,11 dB e -35,76 dB. Para o conjunto Amplificador LDMOS, os valores de NMSE para F+P1 e F1P+ foram respectivamente -34,01 dB e -36,35 dB.

A partir de gráficos comparativos observou-se que os dois modelos mostram comportamentos similares.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no âmbito do programa PIBIC UFPR 2020.

## REFERÊNCIAS

- [1] CRIPPS, S. C. RF Power Amplifiers for Wireless Communications. ArtechHouse, 2006.
- [2] MACHADO, C. L. R. ; LIMA, E. G. . A Combined Memory and Envelope-Memory Polynomial Model for RF Power Amplifiers. In: XXIII Iberchip Workshop, 2017, Bariloche. Proceedings of the XXIII Iberchip Workshop, 2017. p. 1-4.
- [3] COLEMAN, T.F. and Y. LI. "An Interior, Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds." SIAM Journal on Optimization, Vol. 6, 1996, pp. 418-445.
- [4] V. MATHEWS and G. SICURANZA, Polynomial Signal Processing. New York: Wiley, 2000.