



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**RADIÔMETRO SOLAR DE EQUIVALÊNCIA ELÉTRICA COM SENSOR
AQUECIDO À DIFERENÇA DE TEMPERATURA CONSTANTE**

PETROV CRESCENCIO LOBO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA – BRASIL

MARÇO DE 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RADIÔMETRO SOLAR DE EQUIVALÊNCIA ELÉTRICA COM SENSOR
AQUECIDO À DIFERENÇA DE TEMPERATURA CONSTANTE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADO À COORDENADORIA
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, EM
CUMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS NO DOMÍNIO DA ENGENHARIA ELÉTRICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, DR.
ORIENTADOR

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA – BRASIL,
MARÇO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L799r Lobo, Petrov Crescencio.
Radiomêtro solar de equivalência elétrica com sensor aquecido à diferença de temperatura constante / Petrov Crescencio Lobo. – Campina Grande, 2015.
104 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2015.

"Orientação: Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire, Prof. Dr. Sebastian Yuri Cavalcante Catunda".
Referências.

1. Sensor Termorresistivo. 2. Sensibilidade. 3. Radiação Solar. 4. Termistor. I. Freire, Raimundo Carlos Silvério. II. Catumba, Sebastian Yuri Cavalcante. III. Título.

CDU 621.317(043)

**"RADIÔMETRO DE EQUIVALÊNCIA ELÉTRICA COM SENSOR AQUECIDO À
DIFERENÇA DE TEMPERATURA CONSTANTE"**

PETROV CRESCENCIO LOBO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 12/02/2015

RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE

RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr., UFCG
Orientador(a)

BENEDITO ANTONIO LUCIANO

BENEDITO ANTONIO LUCIANO, D.Sc., UFCG
Examinador(a)

JUAN MOISÉS MAURÍCIO VILLANUEVA

JUAN MOISÉS MAURÍCIO VILLANUEVA, Dr., UFPB
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades.
Lembra-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.

DEDICATÓRIA

Às minha avós, Filomena Dias Sousa (In Memoriam) e
Áurea Dias Lobo (In Memoriam).

Aos meus avôs, Crescencio Lobo (In Memoriam), e
Francisco Maria da Cunha Sousa (In Memoriam).

Aos meus tios, Júlio Lobo (In Memoriam) e César Lobo
(In Memoriam).

Aos meus pais Pio Lobo e Helga Lobo

À minha futura esposa, Ivanilza Araújo

AGRADECIMENTOS

Aos professores Raimundo Carlos Silvério Freire e Sebastian Yuri Catunda, pela orientação deste trabalho.

Ao professor Benedito Antonio Luciano, pelas aulas ministradas durante o mestrado.

Aos colegas Vanderson de Lima Reis e Josnier Ramos Guardarrama, pela grande paciência, dedicação e tempo, ao longo da execução deste trabalho.

Aos amigos Vanuza Marques, Viviane Martins, Newton Sávio, Thais Luana e Arthur Luiz, pela contribuição nos assuntos pertinentes à este trabalho.

Ao amigo Marcus Tenório, pela disponibilidade de tempo.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico, pela concessão de bolsa de pesquisa para a execução deste trabalho.

Aos membros da Coordenação e Colegiado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFCG, por conceder os pedidos solicitados.

À UFCG, Universidade Federal de Campina Grande, pelo acolhimento e pela oportunidade em cursar o mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

RESUMO

Para a medição de grandezas físicas, como radiação, H , velocidade de fluidos, v e temperatura, T_a , existem configurações que se baseiam em sensores termorresistivos, utilizando o princípio da equivalência elétrica. Dentre as arquiteturas clássicas, que apresentam melhor resposta em frequência e utilizam este princípio, a mais comum é a que utiliza um sensor termorresistivo aquecido à uma temperatura constante. O sensor é aquecido por efeito Joule, à uma temperatura previamente determinada, e a variação da radiação térmica incidente, velocidade do fluido ou temperatura do meio é compensada variando-se o aquecimento elétrico devido à realimentação negativa utilizada, mantendo o sensor à uma temperatura quase constante. Neste trabalho é proposta uma arquitetura alternativa em que se faz constante a diferença de temperatura entre o sensor e o ambiente. Para ambas as configurações neste trabalho desenvolveram-se expressões e realizaram-se simulações para o sinal de saída em função da grandeza de entrada e da sensibilidade de arquiteturas com saídas analógicas e pulsadas (moduladas em duração de pulso - PWM), para sensores dos tipos PTC e NTC. Foram feitas comparações entre as arquiteturas, verificando-se que as arquiteturas com diferença de temperatura constante, saída analógica e com sensor termorresistivo do tipo PTC tinham melhor desempenho em relação à sensibilidade relativa, menor influência da grandeza interferente e maior influência da grandeza de entrada.

ABSTRACT

For the measurement of physical quantities, such as radiation, H , velocity fluids, v , and temperature, T_a , there are settings based on thermoresistive sensors, which use the principle of electrical equivalence. Among the classic architectures, which have better frequency response and use this principle, the most common is the one that uses a thermoresistive sensor heated to a constant temperature. The sensor is heated by Joule effect to a previously stipulated temperature, and the variation of thermal radiation, temperature or flow velocity of the medium is compensated by varying the electric heating due to the negative feedback used, maintaining the sensor at an almost constant temperature. In this work it is proposed an alternative architecture that makes constant the temperature difference between the sensor and the environment. For both configurations, in this work, were developed expressions and simulations held for the output signal as a function of the input and the sensitivity of architecture with analog outputs and pulsed (modulated pulse duration - PWM) for sensors types of PTC and NTC. Comparisons were made between the architectures, verifying that architectures with constant temperature difference, analog output and thermoresistive sensor PTC had better performance with respect to the sensitivity, the less influence of interfering variable and the greater influence of input variable.

ÍNDICE

RESUMO	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE	8
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE QUADROS	16
LISTA DE ABREVIACÕES	17
LISTA DE SÍMBOLOS	18
INTRODUÇÃO	20
Objetivos Gerais	21
Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO I – METODOLOGIA	23
1.1 – Revisão Bibliográfica – Caracterização de Sensores Termorresistivos	23
1.1.1 – Princípio da Equivalência Elétrica	23
1.1.2 – Radiômetro de Equivalência Elétrica	24
1.1.3 – Método da Compensação e Substituição	26
1.1.4 – Radiômetro de Equivalência Elétrica com Sensor aquecido à Temperatura Constante	27
1.1.5 – Radiômetro de equivalência elétrica com Sensor aquecido à Diferença de Temperatura Constante	29
1.1.6 – Circuito de Realimentação	30

CAPÍTULO II – EXPRESSÕES MATEMÁTICAS DOS SINAIS DE SAÍDA DOS SENSORES TERMORRESISTIVOS	31
2.1 - Expressão da Saída Analógica do Sensor PTC Aquecido à Temperatura Constante	31
2.2 - Expressão da Saída Analógica do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	33
2.3 - Expressão da Saída Pulsada do Sensor PTC Aquecido à Temperatura Constante	33
2.4 - Expressão da Saída Pulsada do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	35
2.5 - Expressão da Saída Analógica do Sensor PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	35
2.6 - Expressão da Saída Analógica do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	36
2.7 - Expressão da Saída Pulsada do Sensor PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	37
2.8 - Expressão da Saída Pulsada do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	37
CAPÍTULO III – EXPRESSÕES MATEMÁTICAS DA SENSIBILIDADE DOS SENSORES TERMORRESISTIVOS	39
3.1 - Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante.	39
3.2 - Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC de Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante.	39
3.3 - Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Pulsada Aquecido à Temperatura Constante.	40
3.4 - Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC de Saída Pulsada Aquecido à Temperatura Constante.	40
3.5 - Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Analógica Aquecido à Diferença de Temperatura Constante.	40
3.6 – Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC de Saída Analógica Aquecido à Diferença de Temperatura Constante.	41
3.7 - Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Pulsada Aquecido à Diferença de Temperatura Constante.	41
3.8 - Expressão da Sensibilidade do Sensor NTC de Saída Pulsada Aquecido à Diferença de Temperatura Constante.	41

CAPÍTULO IV – AVALIAÇÃO DA DEPENDÊNCIA DA GRANDEZA DE SAÍDA COM A GRANDEZA INTERFERENTE	42
4.1 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	44
4.2 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	45
4.3 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	46
4.4 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	47
4.5 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	48
4.6 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	49
4.7 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Temperatura ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de temperatura Constante	51
4.8 - Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente para o Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	52
CAPÍTULO V – ANÁLISE DA SENSIBILIDADE RELATIVA EM RELAÇÃO À TEMPERATURA AMBIENTE	53
5.1 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante	53
5.2 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante	54
5.3 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Pulsada Aquecido à Temperatura Constante	55
5.4 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Pulsada Aquecido à Temperatura Constante	56
5.5 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante	57
5.6 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante	58
5.7 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Pulsada Aquecido à Temperatura Constante	59

5.8 – Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Pulsada Aquecido à Temperatura Constante	60
CAPÍTULO VI – DINÂMICA DE SAÍDA – AVALIAÇÃO DA DEPENDÊNCIA DA GRANDEZA DE SAÍDA COM A GRANDEZA DE ENTRADA	61
6.1 – Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	61
6.2 – Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Radiação do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	62
6.3 – Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	63
6.4 – Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Radiação do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	64
6.5 – Simulação da Dependência da Tensão Analógica em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	65
6.6 – Simulação da Dependência da Tensão Analógica em Função da Radiação do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	66
6.7 – Simulação da Dependência da Tensão Pulsada em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	67
6.8 – Simulação da Dependência da Tensão Pulsada em Função da Radiação do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	68
CAPÍTULO VII – RESULTADOS	69
CAPÍTULO VIII – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	72
7.1 – Conclusões	72
7.2 – Perspectivas	73
CAPÍTULO IX – MATERIAIS E MÉTODOS	77
REFERÊNCIAS	78

APÊNDICES	80
Apêndice I – Algoritmos para as Simulações	80
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	80
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	81
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	82
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	83
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	84
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	85
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	86
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	87
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante	88
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Radiação do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante	89
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante	90
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Radiação do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante	91
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante	92
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Analógica em Função da Radiação do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante	93

Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante	94
Algoritmo Referente à Simulação da Dependência da Saída Pulsada em Função da Radiação do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante	95
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante em Saída Analógica	96
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante em Saída Analógica	97
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante em Saída Pulsada	98
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Temperatura Constante em Saída Pulsada	99
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante em Saída Analógica	100
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante em Saída Analógica	101
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante em Saída Pulsada	102
Algoritmo Referente à Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC na Arquitetura de Aquecimento à Diferença de Temperatura Constante em Saída Pulsada	103

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa do Potencial de Energia Solar do Mundo fornecido pela NASA	21
FIGURA 2	Piranômetro EPPLEY modelo PSP no Laboratório LIMC (Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas da Universidade Federal de Campina Grande	23
FIGURA 3	Par de Sensores Termorresistivos inseridos em um Hemisfério de Vidro	26
FIGURA 4	Termistor NTC inserido em um Hemisfério de Vidro, no Laboratório LIMC da UFCG	27
FIGURA 5	Radiômetros com Sensor Aquecido à Temperatura Constante (a) – Saída Analógica; (b) – Saída em Duração de Pulso; (c) – Forma de Onda de V_p .	28
FIGURA 6	Arquitetura contendo Sensor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante: (a) – Saída analógica; (b) – Saída em Duração de Pulso; (c) – Forma de Onda de V_p .	29
FIGURA 7	Configuração de um Instrumento de Equivalência Elétrica	30
FIGURA 8	Saída Analógica e Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	44
FIGURA 9	Saída Analógica e Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante.	45
FIGURA 10	Saída Pulsada e Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante	46
FIGURA 11	Saída Pulsada e Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante	47
FIGURA 12	Saída Analógica e Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	48
FIGURA 13	Saída Analógica e Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	49
FIGURA 14	Saída Analógica e Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante com Destaque na Variação de V_o na temperatura de 253 K	50
FIGURA 15	Saída Pulsada e Sensor Termorresistivo PTC aquecido à Diferença de Temperatura Constante	51
FIGURA 16	Saída Pulsada e Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	52
FIGURA 17	Sensibilidade do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Analógica	53
FIGURA 18	Sensibilidade do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Analógica	54

FIGURA 19	Sensibilidade do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Pulsada	55
FIGURA 20	Sensibilidade do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Pulsada	56
FIGURA 21	Sensibilidade do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Analógica	57
FIGURA 22	Sensibilidade do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Analógica	58
FIGURA 23	Sensibilidade do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Pulsada	59
FIGURA 24	Sensibilidade do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Pulsada	60
FIGURA 25	Dinâmica de Saída do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Analógica	61
FIGURA 26	Dinâmica de Saída do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Analógica	62
FIGURA 27	Dinâmica de Saída do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante em Saída Pulsada	63
FIGURA 28	Dinâmica de Saída do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante na Saída Pulsada	64
FIGURA 29	Dinâmica de Saída do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Analógica	65
FIGURA 30	Dinâmica de Saída do Termistor NTC aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Analógica	66
FIGURA 31	Dinâmica de Saída Pulsada do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Pulsada	67
FIGURA 32	Dinâmica de Saída Pulsada do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante em Saída Pulsada	68
FIGURA 33	Esquemático da Ponte de Wheatstone	73
FIGURA 34	Leiaute da Ponte de Wheatstone editado no Orcad	74
FIGURA 35	Placa com Circuito da Ponte de Wheatstone	74
FIGURA 36	Termistor NTC	75
FIGURA 37	Ponte de Wheatstone em Equilíbrio Constante	75

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Parâmetros para a Arquitetura de Sensor Aquecido à Temperatura Constante	42
QUADRO 2	Parâmetros para Arquitetura de Sensor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante	43
QUADRO 3	Análise da Dependência da Tensão de Saída em Função da Temperatura Ambiente	69
QUADRO 4	Análise da Sensibilidade Relativa em Função da Temperatura Ambiente	69
QUADRO 5	Análise da Dependência da Tensão de Saída em Função da Radiação	70

LISTA DE ABREVIações

NTC	Coeficiente de Temperatura Negativo
PTC	Coeficiente de Temperatura Positivo
PWM	Modulação em Largura de Pulso
RMS	Valor Quadrático Médio
LIMC	Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
PCI	Placa de Circuito Impresso

LISTA DE SÍMBOLOS

m	Massa do sensor (kg)
c	Calor específico do sensor (J/kg °C)
U	Coefficiente Global de transferência de calor (W/ m ² °C)
t	Tempo (s)
T _a	Temperatura ambiente (°C)
T _s	Temperatura do sensor (°C)
P _e	Potência elétrica dissipada por efeito Joule (W)
R _s	Resistência elétrica do sensor na temperatura T _s (Ω)
R _o	Resistência elétrica do sensor na temperatura de 0 °C (Ω) para PTC e na temperatura T _o (K) para o sensor NTC
τ	Constante de tempo intrínseca do sensor termo-resistivo (s)
β	Coefficiente de temperatura da resistência elétrica do PTC (°C ⁻¹)
H	Radiação incidente (W/m ²)
ΔT	Diferença entre a temperatura do sensor termorresistivo T _s , e a temperatura do ambiente, T _a (°C)
I	Corrente elétrica (mA)
S	Área do sensor exposta à radiação incidente (mm ²)
T _o	Temperatura do sensor NTC quando sua resistência for R _o (K)
B	Coefficiente de temperatura da resistência elétrica do sensor NTC (K)
V _s	Tensão elétrica sobre o sensor (V)
V _o	Tensão de saída do amplificador operacional (V)
h	Coefficiente de transferência de calor global entre o sensor e o ambiente
a	Parâmetro característico do sensor
b	Parâmetro característico do sensor
v	Velocidade do fluido
E	Amplitude do pulso
α	Coefficiente de absorção do sensor

τ/P	Variável de saída
I_s	Corrente elétrica que passa no sensor de resistência R_s
P	Comprimento do pulso
$\frac{\partial V_o}{\partial H} \cdot \frac{H}{E}$	Derivada normalizada de V_o em relação à H
$\frac{\partial \frac{\tau}{p}}{\partial H} \cdot \frac{H}{E}$	Derivada normalizada de $\frac{\tau}{p}$ em relação à H

INTRODUÇÃO

No cenário da instrumentação em eletrônica, a procura de novas alternativas para a medição de temperatura e radiação tem se tornado cada vez mais constante, uma vez que a energia solar, há bastante tempo, vem se tornando uma fonte de energia complementar, em relação às outras fontes de energia já conhecidas.

SILVA, (2010) destaca que a principal fonte de energia que rege os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na natureza é a radiação solar. Sua aplicação engloba diversas áreas científicas além de ser um indicador de variação meteorológica.

Além desta motivação, existe a importância da utilização da energia solar como fonte de energia renovável, ou complementar, ou ainda, em outras atividades humanas. Isto requer um conhecimento maior acerca desta fonte de energia, porém informações confiáveis sobre este assunto são escassas. Investigações referentes à radiação solar, enfrentam muitas limitações em função da baixa densidade de estações radiométricas sobre a região Nordeste do Brasil [1].

Hoje, os problemas de energia compõem temas de discussões pelo mundo. Apenas com uma avaliação superficial sobre o consumo de energia, torna-se possível perceber que o desenvolvimento de um determinado país está diretamente relacionado a ele. O Irã por exemplo, tem uma grande quantidade de fontes de energia renováveis; existem condições favoráveis para o uso rentável da energia eólica, muito boas oportunidades para a ampliação do uso de energia hídrica, bem como o cenário ideal para o uso da energia solar. A radiação solar global neste país é de aproximadamente de 5300 ($\text{Whm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). O nível de radiação incidente recebido no Irã é mundialmente um dos mais altos. Na Alemanha, por outro lado, há estudos e implantações de outras formas de captação de energias complementares, e a radiação global anual incidente é menos do que a metade da média iraniana [2].

Na Figura 1, está representado o mapa do potencial de energia solar mundial.

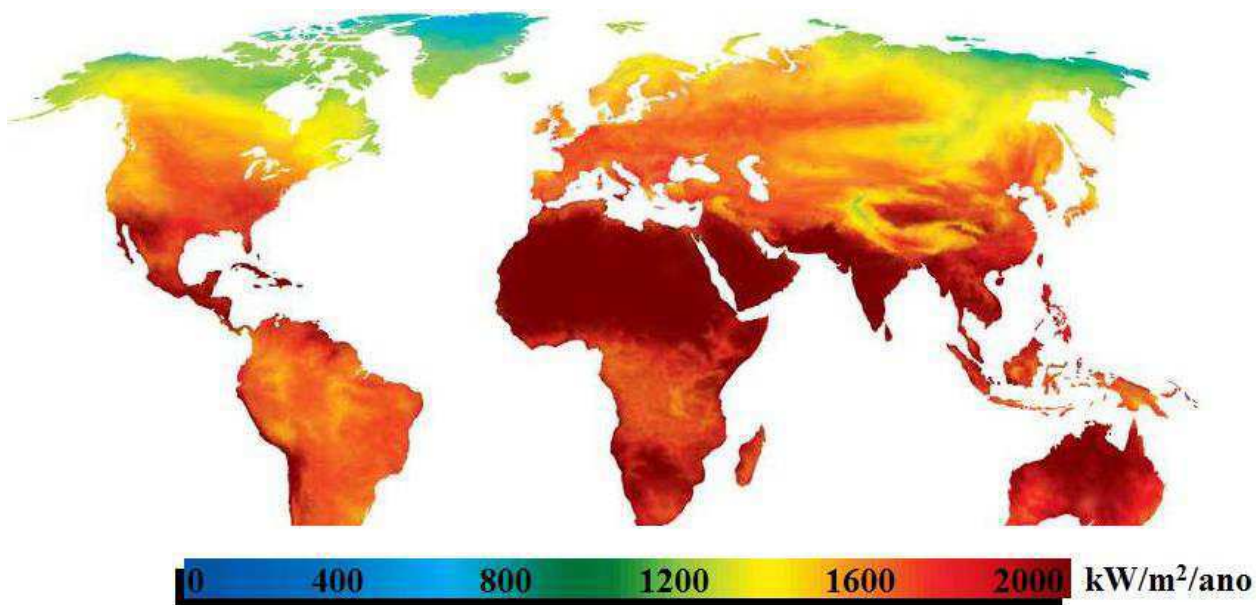


Figura 1 – Mapa do Potencial de Energia Solar do Mundo fornecido pela NASA (kW/m²/ano). 2012 – Adaptado de [2].

Em face da temática mencionada, é possível perceber importância da pesquisa de instrumentos que sejam capazes de medir radiação de maneira cada vez mais eficiente.

Objetivos Gerais

Propõe-se apresentar uma arquitetura alternativa à arquitetura clássica, em que o sensor termorresistivo é aquecido à uma diferença de temperatura constante em relação à temperatura ambiente, visando uma sensibilidade maior e dinâmica de saída melhor do que a arquitetura com sensor aquecido à temperatura constante. Após o desenvolvimento das expressões e simulações para o sinal de saída em função da grandeza de entrada e da sensibilidade, para as arquiteturas com saídas analógicas e pulsadas com sensores termorresistivos do tipo PTC e NTC, objetiva-se comparar ambas as arquiteturas para verificar qual modelo tem o melhor desempenho.

Objetivos Específicos

- Levantar informações pertinentes à estudos anteriores relativos à radiômetros configurados por equivalência elétrica;

- Realizar estudos sobre a configuração do radiômetro à diferença de temperatura constante;
- Desenvolver as expressões matemáticas das saídas (analógicas e pulsadas) e sensibilidade dos sensores termorresistivos tipo PTC e NTC nas arquiteturas à temperatura constante e à diferença de temperatura constante entre o sensor e ambiente;
- A partir das expressões, e utilizando parâmetros de sensores existentes, realizar simulações para a dependência do sinal de saída em função da grandeza de entrada.
- Realizar simulações para a dependência do sinal de saída em função da grandeza interferente.
- Realizar simulações para a sensibilidade.
- Efetuar um comparativo entre os tipos de sensores e arquiteturas analisadas, e verificar qual arquitetura e sensor tem melhor desempenho.

CAPÍTULO I - Metodologia

1.1 Revisão Bibliográfica – Caracterização de Sensores Termorresistivos

1.1.1 Princípio da Equivalência Elétrica

Existem instrumentos que, para medição de determinadas grandezas físicas, utilizam a diferença de temperatura entre dois sensores, de forma que a grandeza de saída seja equivalente à intensidade da radiação incidente, como por exemplo nos piranômetros à termopilha, conforme representado na Figura 2. Porém, diferenças entre a geometria dos sensores, o ambiente no qual estão inseridos, requerem uma calibração individual para cada um. Sendo assim, uma maneira para contornar tais problemas é a utilização de uma técnica de medição com maior acurácia utilizando apenas um sensor, mantido à temperatura constante, em que a variação da potência elétrica dissipada pelo sensor é equivalente à potência absorvida pela radiação incidente. O princípio da equivalência elétrica em sensores termorresistivos pode ser implementado por métodos de compensação e de substituição [3].

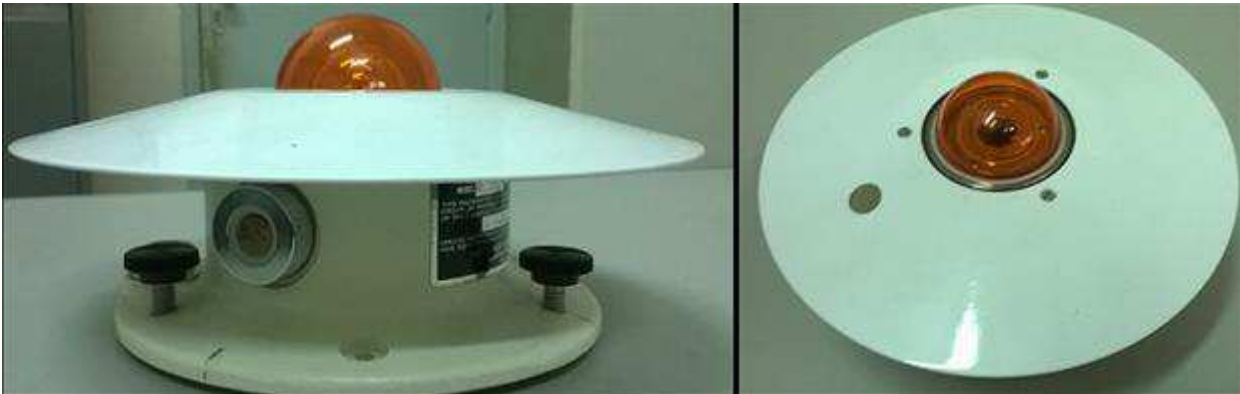


Figura 2 – Piranômetro EPPLEY Modelo PSP no Laboratório LIMC (Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas da Universidade Federal de Campina Grande).

Na caracterização e uso de sensores metálicos em sistemas para medição de grandezas como radiação, temperatura ou velocidade do fluido, em concordância com a Primeira Lei da Termodinâmica, pode-se descrever [4]:

$$\alpha \cdot S \cdot H + P_e = h \cdot S \cdot (T_s - T_a) + mc \frac{dT_s}{dt}; \text{ sendo:} \quad (1)$$

$$h = a + bv^n, \quad (2)$$

em que m é a massa específica do sensor, c é o calor específico, e h é o coeficiente de transferência de calor global entre o sensor e o ambiente dado pela expressão (2), e P_e é a Potência Joule dissipada. Em equilíbrio de estado térmico, $dT_s/dt = 0$, e para radiômetros, h pode ser substituído por U . Em (2), a e b são parâmetros característicos do sensor e v é a velocidade do fluido a ser medido (no caso de anemômetros) [5] α .

A partir de (1), a expressão de equilíbrio termodinâmico para um sensor termorresistivo eletricamente excitado, em regime permanente, na presença de radiação incidente, é dada por [5]:

$$\alpha \cdot S \cdot H + \frac{V_s^2}{R_s} = U \cdot S \cdot (T_s - T_a). \quad (3)$$

em que H é a radiação incidente na superfície do sensor, α é o coeficiente de absorção, S é a área exposta à radiação incidente, U é a constante de troca de calor do sensor com o ambiente, T_s é a temperatura do sensor, R_s é a resistência do sensor termorresistivo, T_a a temperatura ambiente e V_s é a tensão sobre o sensor termorresistivo ou termistor [6].

1.1.2 Radiômetro de Equivalência Elétrica

Em regiões como por exemplo o Norte e Nordeste do Brasil, há um maior atrativo na exploração da energia solar, pois a incidência de radiação solar é favorável durante praticamente todo o ano. Mas falta um instrumento de medição que possibilita aferir e assim, determinar o potencial energético (solar). Sendo assim, um radiômetro é de bastante utilidade para este fim e para outros, podendo ser implementado em outras regiões e aplicações em projetos diversos, tais como os de irrigação, armazenamento de água, meteorologia, dentre outras aplicações [7].

Alguns órgãos ligados à serviços meteorológicos fornecem dados referentes à radiação solar, mas o problema é que para o fornecimento de tais serviços, como por exemplo a previsão do clima, não há exatidão nestas medições, outro fato é que os bancos de dados são escassos assim como os meios necessários à exploração das medidas. [7].

Em um instrumento medidor de radiação, é desejável que o mesmo possua uma resposta rápida, ou seja, constante de tempo pequena, e um espectro amplo (a exemplo do espectro solar que abrange um gradiente de $0,29 \mu\text{m}$ à $3,2 \mu\text{m}$) e por fim, sensibilidade elevada. Tais

características são determinantes em relação à qualidade do instrumento de medição e são fatores importantes a serem consideradas no projeto do mesmo [7].

Há dois tipos de sensores de radiação solar: os sensores térmicos (que englobam termopares, sensores termorresistivos, etc) e os sensores ópticos, que são representados pelo diodo fotossensível, célula fotovoltaica, etc. Os primeiros tem resposta lenta e espectro amplo e os ópticos possuem resposta rápida e espectro limitado. Não há em um mesmo tipo de sensor, características apropriadas para que seja possível utilizá-los em um instrumento medidor de radiação solar, que seja capaz de responder à variações rápidas de radiação [7].

Os termopares e sensores termorresistivos são mais apropriados para a medição da radiação solar, mesmo tendo resposta lenta, pois respondem a todo o espectro de radiação do Sol. Porém, em alguns testes foi possível perceber que o tempo de resposta do sensor depende da estrutura na qual ele é colocado. Esta estrutura pode ser composta por uma malha aberta ou malha fechada, ou seja, realimentada. No primeiro caso, em tais experimentos, obteve-se uma constante de tempo em torno de 15 s, e cerca de 600 ms para o modelo de malha com realimentação. Sendo assim, são utilizados sensores termorresistivos em estruturas realimentadas para medição da radiação solar, caracterizando uma configuração que responda a todo espectro solar com uma constante de tempo relativamente baixa [7].

A resistência de um sensor termorresistivo possui variação de acordo com a radiação incidente. Esta, causa uma variação na temperatura do sensor. Nestes radiômetros, variações nas grandezas interferentes, tais como temperatura ambiente, influenciam nas suas características durante o tempo. Desta maneira, é preciso adotar algum modo de compensação e calibração para o sensor termorresistivo. [7]

Uma maneira para a implementação de radiômetros de equivalência elétrica consiste no ajuste da intensidade de corrente elétrica no sensor de acordo com a variação da radiação, objetivando-se manter a sua temperatura constante e, conseqüentemente, sua resistência. Em outras palavras, uma variação na potência térmica produzida pela radiação no sensor é substituída por uma variação igual e de sentido oposto na potência elétrica dissipada no mesmo, de modo a manter a sua temperatura constante. Medindo-se a variação de corrente no sensor, pode-se determinar a variação de sua potência elétrica e, conseqüentemente, as radiações absorvidas sobre o mesmo. A radiação absorvida pelo sensor é igual à radiação incidente vezes o coeficiente de absorção. No caso ideal, em que o coeficiente de absorção do sensor é 1, se as referidas radiações são iguais [7].

1.1.3 Método da Compensação e Substituição

No princípio da equivalência elétrica há duas abordagens: Método da compensação e da substituição. No primeiro, faz-se o uso de dois sensores radiômetros, um de cor preta, e outro de cor branca. O primeiro sensor absorve a radiação incidente enquanto o segundo, refletindo a radiação, possibilita fazer a compensação, conforme representado na Figura 3 [7], [8].

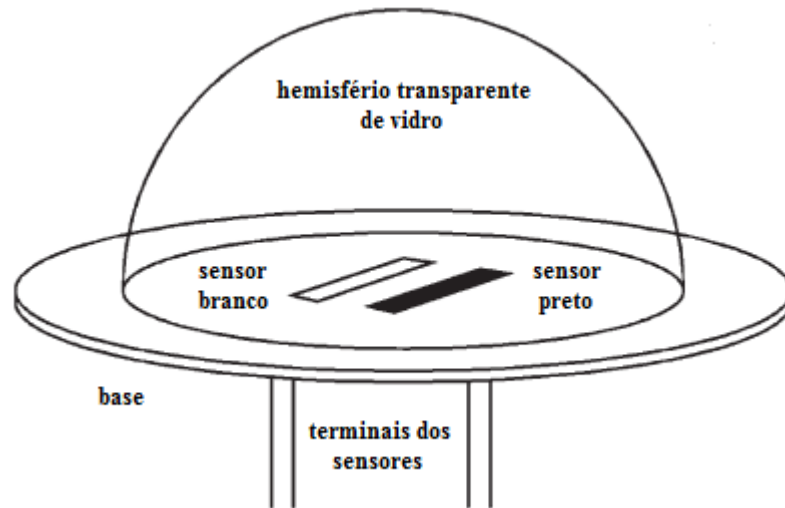


Figura 3 – Par de sensores termorresistivos inseridos em um hemisfério de vidro – Adaptado de [8].

A segunda abordagem consiste no método da substituição, em que há somente um sensor termorresistivo R_s , conforme representado na Figura 4, e uma fonte controlada de corrente I . Quando há uma variação na grandeza física de entrada, como por exemplo a radiação solar, tem-se uma variação respectiva da resistência elétrica do sensor. Com o ajuste da corrente I , de maneira que R_s fique constante, tem-se na variação de I_s , uma medida indireta da variação da radiação [7].



Figura 4 – Termistor NTC inserido em um hemisfério de vidro, no laboratório LIMC da UFCG.

1.1.4 Radiômetro de equivalência elétrica com sensor aquecido à temperatura constante

Dentre as diversas configurações para a medição de grandezas físicas (a exemplo da radiação), a arquitetura mais comum é a que utiliza um sensor termorresistivo aquecido à uma temperatura constante. Determina-se primeiramente uma temperatura para aquecimento do sensor, e o mesmo é então aquecido sob efeito Joule. O instrumento é submetido à uma variação da radiação térmica incidente, sendo assim irá ocorrer variação na temperatura do sensor. A compensação é obtida pela realimentação negativa utilizada, variando-se o aquecimento elétrico, mantendo o sensor à uma temperatura quase constante.

Neste trabalho, consideraram-se os radiômetros com saídas analógicas e pulsadas, do tipo PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo) e NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo).

Na Figura 5 está representada a arquitetura clássica, utilizando a Ponte de Wheatstone com saídas do sinal analógico (a) e PWM (b). Em largura de pulso, P e E são constantes e τ é o ciclo de trabalho (τ/P é a variável de saída). É considerado ainda na Figura 5 o sensor termorresistivo PTC. Se o sensor utilizado for um termistor NTC, deve-se inverter as entradas + e – do amplificador operacional.

Com o sensor aquecido e submetido a um aumento de radiação, sua temperatura tende a aumentar (PTC). Dessa forma, com a realimentação do circuito, a corrente no sensor diminui (PTC) de modo a manter sua resistência R_s e sua temperatura T_s aproximadamente constantes. Caso a radiação diminua, o processo se dá de forma inversa [9].

A inserção de um modulador PWM no ciclo de realimentação do circuito, possibilita obter uma relação linear entre o mesurando e a tensão de saída do amplificador operacional. Continuando a análise na Figura 5, V_p excita a ponte. As formas de onda são de período P e amplitude E , considerando que o período do pulso é bem menor que a constante de tempo intrínseca ao sensor. A resposta térmica destes sensores é a função do valor RMS da potência elétrica. Desprezando-se o efeito da tensão de desvio do amplificador operacional, e para os radiômetros, a relação entre radiação H e a duração de pulso τ , é linear [8].

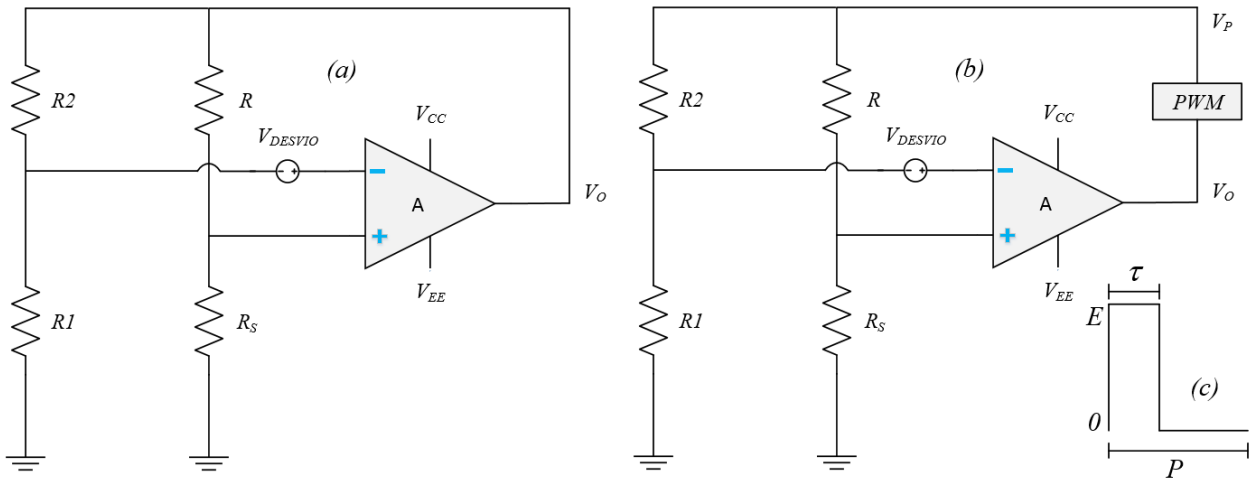


Figura 5 - Radiômetros com sensor aquecido à temperatura constante: (a) – saída analógica; (b) – saída em duração de pulso; (c) – forma de onda de V_p – adaptado [9].

Para um sensor termo-resistivo do tipo PTC é válida a expressão para a sua resistência:

$$R_s \cong R_o(1 + \beta \cdot T_s), \quad (4)$$

em que R_o é a resistência do sensor à 273 K e β é o seu coeficiente de temperatura. Para um sensor termo-resistivo NTC a relação entre sua resistência e sua temperatura é dada aproximadamente pela expressão de Steinhart-Hart:

$$R_s \cong R_o \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o} \right)}. \quad (5)$$

em que R_o é a resistência do sensor em uma temperatura de referência T_o em Kelvin, e B é o seu coeficiente de temperatura. Neste trabalho, propõe-se outra forma em que se mantém constante a

temperatura entre o sensor e o ambiente, implementando-se um bloco de controle a ser descrito a seguir.

1.1.5 Radiômetro de equivalência elétrica com sensor aquecido à diferença de temperatura constante

Propõe-se a implementação de uma arquitetura alternativa à clássica, como representada na Figura 5. Neste outro modelo, o objetivo é que a diferença de temperatura entre o ambiente e o sensor permaneça constante a partir de uma saída kV_o (ou kV_p), gerada por um bloco de controle C , tanto para implementações de circuitos com o sensor termorresistivo PTC como para o termistor NTC. Existe uma entrada neste bloco, para aferição da grandeza interferente, a temperatura ambiente T_a , tanto como outra entrada para V_o ou V_p , representado na Figura 6 [9].

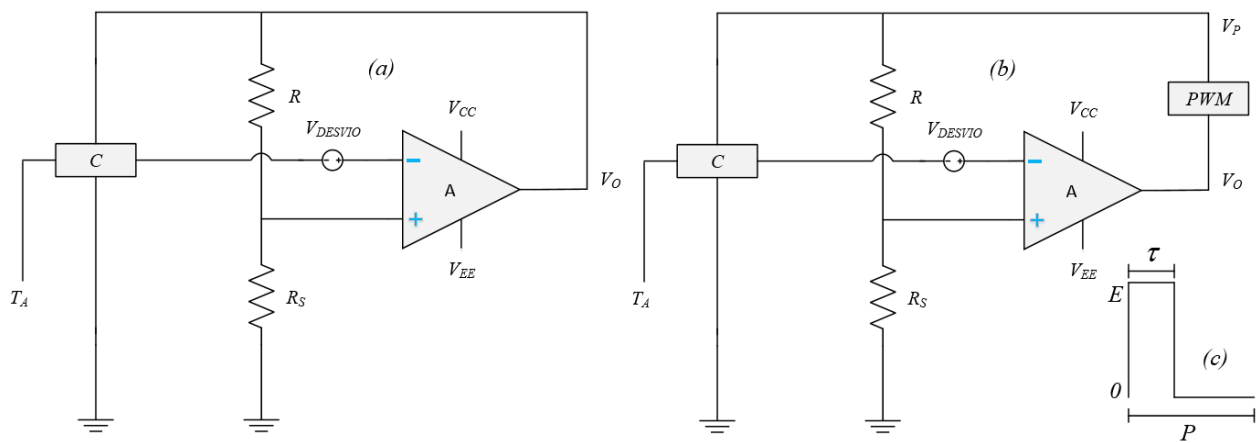


Figura 6 – Arquitetura contendo sensor aquecido à diferença de temperatura constante: (a) – saída analógica; (b) – saída em duração de pulso; (c) – forma de onda de V_p – adaptado de [9].

1.1.6 Circuito de Realimentação

Os principais aspectos associados com os circuitos de medição são as características estáticas e dinâmicas. A resposta dinâmica irá depender de alguns fatores como os parâmetros inerentes do sensor bem como aos parâmetros relativos da configuração de realimentação, magnitude da grandeza física a ser medida dentre outros [10].

Nestes circuitos, a variação da energia térmica incidente sobre o sensor, ou retirada a partir do sensor, é substituído por energia elétrica equivalente (efeito Joule) no sensor. Sabendo que um valor de referência, que pode ser o valor da energia elétrica no sensor com o mensurando igual a zero, pode-se obter o valor da grandeza medida para qualquer outra condição operacional. Conforme a Figura 7, analisando as características estáticas, considerando o amplificador ideal, ou seja $V_{os} = 0$, $R_1 = R_2$, sendo R_s a resistência do sensor, então sua temperatura sempre será mantida idealmente constante e a sua resistência será igual à R [10].

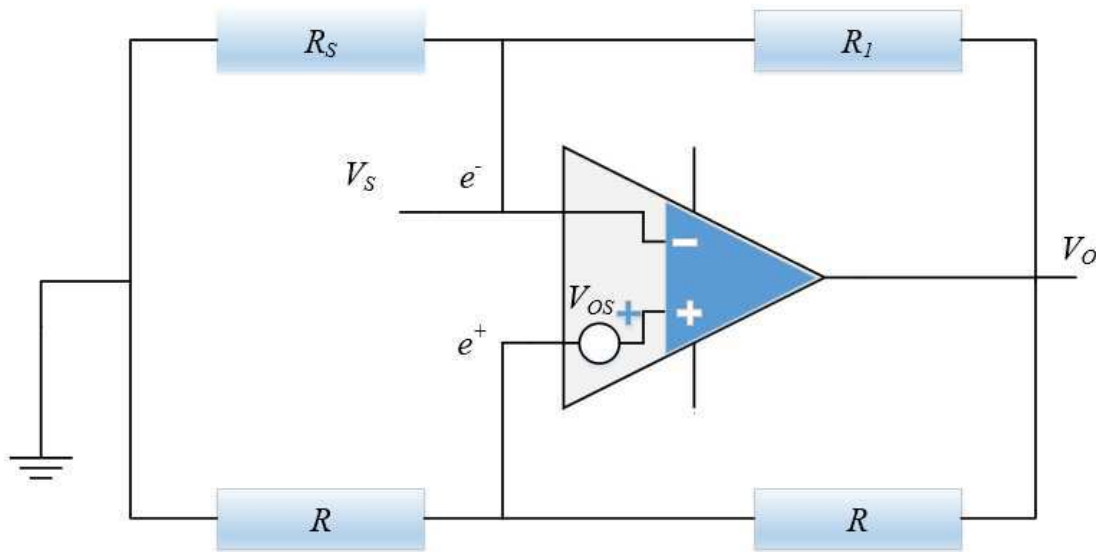


Figura 7 – Configuração de um instrumento de equivalência elétrica – adaptado de [10], [11], [12].

Na prática, por experimentos relatados em trabalhos sobre arquiteturas de sensores termorresistivos aquecidos à temperatura constante, é possível perceber que, na presença da tensão de desvio, a temperatura T_s e a resistência do sensor R_s não são constantes sob incidência de radiação ou velocidade do fluido. Por outro lado, esta característica do amplificador operacional se torna um fator importante para a estabilidade do circuito em malha fechada [10].

CAPÍTULO II – Expressões matemáticas dos sinais de saída dos sensores termorresistivos

No capítulo anterior foram demonstradas duas das principais arquiteturas para projetos de radiômetros baseados em sensores termorresistivos do tipo PTC/NTC bem como suas respectivas expressões matemáticas de saídas analógica e em PWM. A seguir serão descritas as deduções das respectivas expressões para ambas arquiteturas, tipos de sensores (PTC e NTC) e saídas (analógica e em largura de pulso).

A partir das expressões de (3) a (5) e também considerando a Figura 5 (a) e (b) e a Figura 6 (a) e (b), sendo $V_{os} = 0$, podem-se encontrar as expressões para a arquitetura com PTC e saída analógica, para PTC e saída pulsada, para NTC e saída analógica, e para NTC e saída pulsada.

2.1 Expressão da Saída Analógica do Sensor PTC aquecido à Temperatura Constante

Estando o circuito do sensor termorresistivo com a Ponte de Wheatstone em equilíbrio em regime permanente, é válida a seguinte expressão: VERIFICAR AS VARIÁVEIS DE ESTADO

$$\alpha \cdot S \cdot H + P_e = U \cdot S \cdot (T_s - T_a) . \quad (6)$$

Estando a temperatura do sensor constante, variações em T_a ou H são compensadas com variações na Potência Elétrica, que pode ser dada por $\frac{V_s^2}{R_s}$ ou $R_s \cdot I_s^2$, que pode ser representada por [13], [14]:

$$P_e = \frac{V_s^2}{R_s} = R_s \cdot I_s^2, \quad (7)$$

em que I_s é a corrente que passa no sensor. Substituindo P_e em (6), tem-se como resultado, (3).

Pela Figura 5 (a), analisando o circuito, tem-se que:

$$V_s = \frac{R_s \cdot V_o}{R_s + R}, \quad (8)$$

portanto, considerando ainda $V_{os} = 0$ e ganho infinito G em malha aberta, tem-se [13]:

$$\frac{V_s}{V_o} = \frac{R_s}{R_s + R}, \quad (9)$$

Na arquitetura de sensor aquecido à temperatura constante, o objetivo é manter a temperatura do sensor constante, aquecendo-o sob Efeito Joule sob variação da temperatura do ambiente, portanto o circuito irá variar a corrente no sensor I_s , tendendo desta forma manter R_s constante. Sendo assim, em (5), pode-se adotar uma constante k [13].

$$k = \frac{R_s}{R_s + R}. \quad (10)$$

substituindo (8) em (3) pode-se obter:

$$\alpha \cdot S \cdot H + \frac{1}{R_s} \cdot \left(\frac{R_s \cdot V_o}{R_s + R} \right)^2 = U \cdot S \cdot (T_s - T_a), \quad (11)$$

e utilizando (10) em (11) tem-se V_o :

$$\alpha \cdot S \cdot H + \frac{k^2}{R_s} \cdot V_o^2 = U \cdot S \cdot (T_s - T_a), \quad (12)$$

isolando V_o^2 :

$$V_o^2 = [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H] \cdot \frac{R_s}{k^2}, \quad (13)$$

$$V_o = \sqrt{\frac{R_s}{k^2} \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H]}. \quad (14)$$

substituindo (4) em (14), o resultado é (15), que caracteriza a saída analógica do circuito com o sensor PTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante.

$$V_o = \frac{1}{k} \sqrt{R_o \cdot (1 + \beta \cdot T_s) \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H]} . \quad (15)$$

2.2 Expressão da Saída Analógica do Termistor NTC aquecido à Temperatura Constante

Para o caso do termistor NTC, partindo-se da expressão (3) e substituindo R_s pela expressão característica que relaciona a resistência com a temperatura do NTC, (5), o resultado é a expressão encontrada em (16).

$$V_o = \frac{1}{k} \sqrt{R_o \cdot e^{B \cdot (\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o})} \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H]} . \quad (16)$$

2.3 Expressão da Saída Pulsada do Sensor PTC aquecido à Temperatura Constante

Na ponte de Wheatstone contendo o sensor, é fornecida uma largura de pulso de tensão modulada como excitação elétrica, de amplitude E , e período P , conforme representado na Figura 5 (b). Esta onda da tensão de alimentação PWM pode ser gerada usando um microcontrolador (ou um microcomputador) e o sensor termorresistivo é sensível ao valor RMS da tensão.

$$V_o = RMS(e(t)) . \quad (17)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt} . \quad (18)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{p} \int_0^p e^2(t) dt} . \quad (19)$$

Então, para as seguintes condições:

$$\begin{cases} e(t) = E, \text{ para } 0 \leq t < \tau, \\ e(t) = 0, \text{ para } \tau \leq t < p, \end{cases} \quad (20)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{p} \cdot E^2 \int_0^\tau dt}, \quad (21)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{E^2}{p} \cdot t|_0^\tau}, \quad (22)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{E^2 \cdot \tau}{p}}, \quad (23)$$

$$V_{ef} = E \sqrt{\frac{\tau}{p}}, \quad (24)$$

sendo assim, definindo a razão cíclica como:

$$\delta = \frac{\tau}{p}, \quad (25)$$

$$V_o = E \sqrt{\frac{\tau}{p}} \Rightarrow V_o^2 = \left(E \cdot \sqrt{\frac{\tau}{p}} \right)^2 = E^2 \cdot \frac{\tau}{p}, \quad (26)$$

substituindo V_o^2 em (13), tem-se que:

$$E^2 \cdot \frac{\tau}{p} = \frac{R_s}{k^2} [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (27)$$

$$\tau = \frac{p \cdot R_s}{k^2 \cdot E^2} [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (28)$$

$$\tau = \frac{p}{k^2 \cdot E^2} \cdot R_o (1 + \beta \cdot T_s) \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (29)$$

$$\frac{\tau}{p} = \frac{1}{k^2 \cdot E^2} \cdot R_o(1 + \beta \cdot T_s) \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (30)$$

resultando em:

$$\frac{\tau}{p} = \frac{R_o(1 + \beta \cdot T_s)}{k^2 \cdot E^2} \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (31)$$

$$\frac{\tau}{p} = \frac{R_o(1 + \beta \cdot T_s)}{k^2 \cdot E^2} \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H]. \quad (32)$$

2.4 Expressão da Saída Pulsada do Termistor NTC aquecido à Temperatura Constante

Para modelar a expressão característica da saída pulsada do NTC aquecido à temperatura constante, partindo-se de (16), e igualando à (26), tem-se:

$$\frac{\tau}{p} = \frac{R_o \cdot e^{\beta \cdot (\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o})}}{k^2 \cdot E^2} \cdot [U \cdot S \cdot (T_s - T_a) - \alpha \cdot S \cdot H]. \quad (33)$$

2.5 Expressão da Saída Analógica do Sensor PTC aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Nesta arquitetura, partindo-se da expressão equivalente à Primeira Lei da Termodinâmica, descrita como (3), e considerando o regime permanente, tem-se ainda que:

$$\Delta T = T_s - T_a \text{ (é constante)}, \quad (34)$$

sendo assim, considerando também (4):

$$\begin{cases} R_s \cong R_o(1 + \beta \cdot T_s), \\ T_s = T_a + \Delta T, \end{cases} \quad (35)$$

portanto:

$$R_s \cong R_o(1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)), \quad (36)$$

como R_s não é mais constante pois T_s não é constante, k também não é.

$$\frac{1}{R_s} \cdot \left(\frac{R_s \cdot V_o}{R_s + R} \right)^2 = U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H, \quad (37)$$

$$\frac{R_s \cdot V_o^2}{(R_s + R)^2} = U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H, \quad (38)$$

$$V_o = \sqrt{\frac{(R_s + R)^2}{R_s} \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H]}, \quad (39)$$

$$V_o = \sqrt{\left(2R + R_s + \frac{R^2}{R_s} \right) \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H]}, \quad (40)$$

resultando em (41).

$$V_o = \sqrt{\left(2R + R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)) + \frac{R^2}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T))} \right) \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H]}. \quad (41)$$

2.6 Expressão da Saída Analógica do Termistor NTC aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para o NTC, considera-se (3) e (34), portanto assim, (5) ficará da seguinte forma:

$$R_s \cong R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)}, \quad (42)$$

inserindo (42) em (40), o resultado é a expressão encontrada em (43), referente à saída analógica do termistor NTC, aquecido à diferença de temperatura constante.

$$V_o = \sqrt{\left(2R + R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)} + \frac{R^2}{R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)}} \right) \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H]}. \quad (43)$$

2.7 Expressão da Saída Pulsada do Sensor PTC aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Semelhante à saída pulsada do sensor termorresistivo aquecido à temperatura constante, temos que $V_o = RMS(e(t))$, considerando (26), e utilizando o resultado da análise p/ V_o , à saída analógica, da configuração à diferença de temperatura constante, ou seja, (41), temos que:

$$V_o^2 = [2R + R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)) + \frac{R^2}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T))}] \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (44)$$

$$E^2 \cdot \frac{\tau}{p} = [2R + R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)) + \frac{R^2}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T))}] \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (45)$$

resultando em (46):

$$\frac{\tau}{p} = \frac{1}{E^2} [2R + R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)) + \frac{R^2}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T))}] \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (46)$$

e sendo $\frac{\tau}{p}$ a razão cíclica $0 < \frac{\tau}{p} < 1$ ou:

$$\delta = \frac{\tau}{p} \cdot 100\% \quad 0\% < \delta < 100\%. \quad (47)$$

2.8 Expressão da Saída Pulsada do Termistor NTC aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a saída pulsada do termistor aquecido à diferença de temperatura constante, são consideradas (26) e (40).

$$V_o^2 = \left(2R + R_s + \frac{R^2}{R_s} \right) \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (48)$$

substituindo R_s da expressão anterior por (42), tem-se:

$$E^2 \frac{\tau}{p} = \left(2R + R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)} + \frac{R^2}{R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)}} \right) \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H], \quad (49)$$

resultando em (50):

$$\frac{\tau}{p} = \frac{1}{E^2} = \left(2R + R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)} + \frac{R^2}{R_o \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{(T_a + \Delta T)} - \frac{1}{T_o} \right)}} \right) \cdot [U \cdot S \cdot \Delta T - \alpha \cdot S \cdot H]. \quad (50)$$

CAPÍTULO III – Expressões Matemáticas da Sensibilidade dos Sensores Termorresistivos PTC e NTC

A partir das expressões analógicas e pulsadas dos sensores termorresistivos PTC e NTC, foram desenvolvidas as expressões de sensibilidade.

As sensibilidades associadas às configurações clássica e de diferença de temperatura constante são resultados das derivadas normalizadas das expressões de saída da tensão analógica ou a razão cíclica em relação à grandeza de entrada, em função da grandeza interferente [12].

No caso, estão sendo analisadas as sensibilidades para radiômetros, sendo assim, a grandeza de entrada é a radiação H .

3.1 Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Analógica aquecido à Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada na expressão (15) em relação à H , ou seja, em relação à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (51).

$$\frac{\partial V_o}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = -\frac{\alpha SH}{2kE} \sqrt{\frac{R_o(1 + \beta T_s)}{US(T_s - T_a) - \alpha SH}} \quad (51)$$

3.2 Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC de Saída Analógica aquecido à Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (16) em relação à H , ou seja, em relação à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (52).

$$\frac{\partial V_o}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = -\frac{\alpha SH}{2kE} \sqrt{\frac{R_o e^{B(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o})}}{US(T_s - T_a) - \alpha SH}} \quad (52)$$

3.3 Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Pulsada aquecido à Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (32) em relação à H , ou seja, em relação à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (53).

$$\frac{\partial \frac{\tau}{p}}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = -\frac{\alpha SH}{k^2 E^2} R_o (1 + \beta T_s). \quad (53)$$

3.4 Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC de Saída Pulsada aquecido à Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (33) em relação à H , ou seja, em relação à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (54).

$$\frac{\partial \frac{\tau}{p}}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = -\frac{R_o^{B\left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o}\right)}}{k^2 E^2} \cdot \alpha SH \quad (54)$$

3.5 Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC de Saída Analógica aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (41) em relação à H , ou seja, em relação à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (55).

$$\frac{\partial V_o}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = -\frac{\alpha SH}{2 \cdot \frac{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T))}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)) + R} \cdot E} \cdot \sqrt{\frac{R_o (1 + \beta (T_a + \Delta T))}{US \Delta T - \alpha SH}}. \quad (55)$$

3.6 Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC em Saída Analógica aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (43) em relação à H , ou seja, em relação à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (56).

$$\frac{\partial V_o}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = - \frac{\alpha SH}{2 \cdot \frac{R_o e^{B(\frac{1}{T_a + \Delta T} - \frac{1}{T_o})}}{R_o e^{B(\frac{1}{T_a + \Delta T} - \frac{1}{T_o})} + R} \cdot E} \cdot \sqrt{\frac{R_o e^{B((\Delta T + T_o)^{-1} - T_o^{-1})}}{U \cdot S(\Delta T) - \alpha SH}}}. \quad (56)$$

3.7 Expressão da Sensibilidade do Sensor PTC em Saída Pulsada aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (46) em relação à H , ou seja, à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (57).

$$\frac{\partial \frac{\tau}{p}}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = - \frac{\alpha SH}{\left(\frac{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T))}{R_o \cdot (1 + \beta \cdot (T_a + \Delta T)) + R} \right)^2 \cdot E^2} \cdot R_o (1 + \beta (T_a + \Delta T)). \quad (57)$$

3.8 Expressão da Sensibilidade do Termistor NTC em Saída Pulsada aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Aplicando-se a derivada da expressão (50) em relação à H , ou seja, à radiação incidente sobre a área do sensor, o resultado é a expressão (58).

$$\frac{\partial \frac{\tau}{p}}{\partial H} \cdot \frac{H}{E} = - \frac{\alpha SH}{\left(\frac{R_o e^{B(\frac{1}{T_a + \Delta T} - \frac{1}{T_o})}}{R_o e^{B(\frac{1}{T_a + \Delta T} - \frac{1}{T_o})} + R} \right)^2 \cdot E^2} \cdot R_o e^{B((\Delta T + T_o)^{-1} - T_o^{-1})}. \quad (58)$$

CAPÍTULO IV – Dinâmica de Saída - Avaliação da Dependência da Grandeza de Saída com a Grandeza Interferente

Com as expressões de saídas analógicas e em largura de pulso desenvolvidas, e com a utilização de parâmetros de sensores termorresistivos comerciais, foi possível realizar simulações que englobam a arquitetura de aquecimento do sensor à temperatura constante e à diferença de temperatura constante, avaliando-se a dependência da grandeza de saída V_o e τ/p com a grandeza interferente, T_a , traçando-se os gráficos a seguir, respeitando os dados do Quadro 1 e Quadro 2.

Quadro 1 – Parâmetros para a Arquitetura de Sensor Aquecido à Temperatura Constante.

Parâmetros para a Arquitetura de Sensor Aquecido à Temperatura Constante				
Parâmetros para o Sensor PTC		Parâmetros para o Termistor NTC		
k	0,5	k	0,5	
U	211,5 W/m ² °C	U	211,5 W/m ² °C	
α	0,9	α	0,9	
S	20 mm ²	S	1,28 mm ²	
R_o	100 ohms	R_o	30 ohms	
β	0,00385 °C ⁻¹	B	3100 K	
H	0/100/500/1000/1500 W/m ²	H	0/100/500/1000/1500 W/m ²	
T_s	50 °C	T_s	323 K	
R	100 ohms	R	30 ohms	
T_a	-20/-10/0/10/20/30/40 °C	T_a	253/263/273/283/293/303/313 K	
		T_o	323 K	
E	12 V	E	1,6 V	
$\Delta T = T_s - T_a$		--	$\Delta T = T_s - T_a$	

Quadro 2 – Parâmetros para a Arquitetura de Sensor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante.

Parâmetros para a Arquitetura de Sensor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante			
Parâmetros para o Sensor PTC		Parâmetros para o Termistor NTC	
k	--	k	--
U	211,5 W/m ² °C	U	211,5 W/m ² °C
α	0,9	α	0,9
S	20 mm ²	S	1,28 mm ²
R_o	100 ohms	R_o	30 ohms
β	0,00385 °C ⁻¹	B	3100 K
H	0/100/500/1000/1500 W/m ²	H	0/100/500/1000/1500 W/m ²
T_s	50 °C	T_s	323 K
R	100 ohms	R	30 ohms
T_a	-20/-10/0/10/20/30/40 °C	T_a	253/263/273/283/293/303/313 K
		T_o	323 K
E	3.8 V	E	1 V
$\Delta T = T_s - T_a$		$\Delta T = T_s - T_a$	
7 °C		7 K	

Considerou-se a radiação máxima de 1500 W/m², sendo esta a maior intensidade de radiação incidente na superfície da Terra [10].

Para a arquitetura de temperatura constante, nas saídas pulsadas, escolheu-se $E = 12$ V, para o PTC, e $E = 1,6$ V, para o NTC. Valores estes para que os sinais de saída (V_p nas Figuras 5 e 6), controlados pela amplitude de pulso do PWM, sempre garantam uma duração de pulso menor que 1 (ou 100%) do seu período total. Para a arquitetura à diferença de temperatura constante, escolheu-se $E = 3,8$ V para PTC e $E = 1$ V para o NTC.

4.1 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída analógica (V_o) em função da grandeza interferente à temperatura (T_a). A partir de (15) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 8.

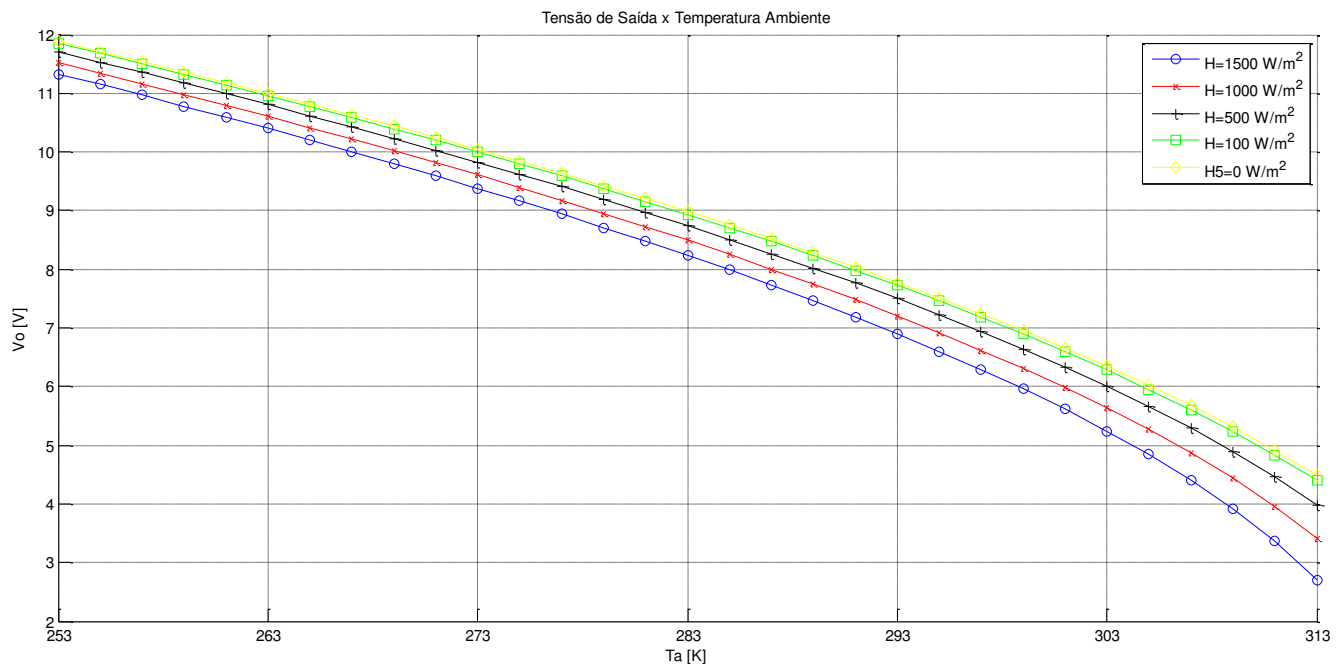


Figura 8 - Saída analógica e sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o sensor termorresistivo submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m². Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação de tensão de saída, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 273 K a 313 K, houve a maior variação de tensão (V_o) sob 1500 W/m² de radiação, correspondente a um valor de 8,63 V.

4.2 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída analógica (V_o), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (16) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 9.

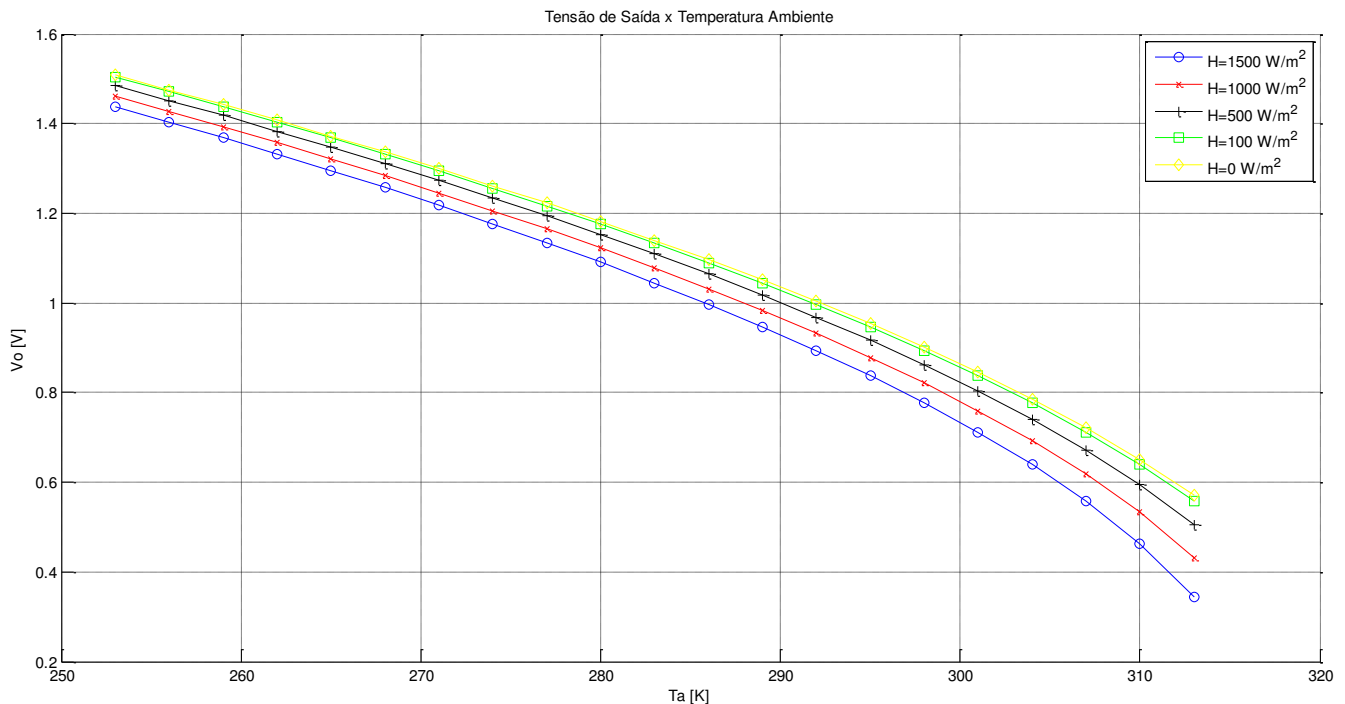


Figura 9 - Saída analógica e termistor NTC aquecido à temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o termistor submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m². Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação de tensão de saída, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação de tensão (V_o) sob 1500 W/m² de radiação, correspondente à um valor de 1,08 V.

4.3 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza da saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (32) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 10.

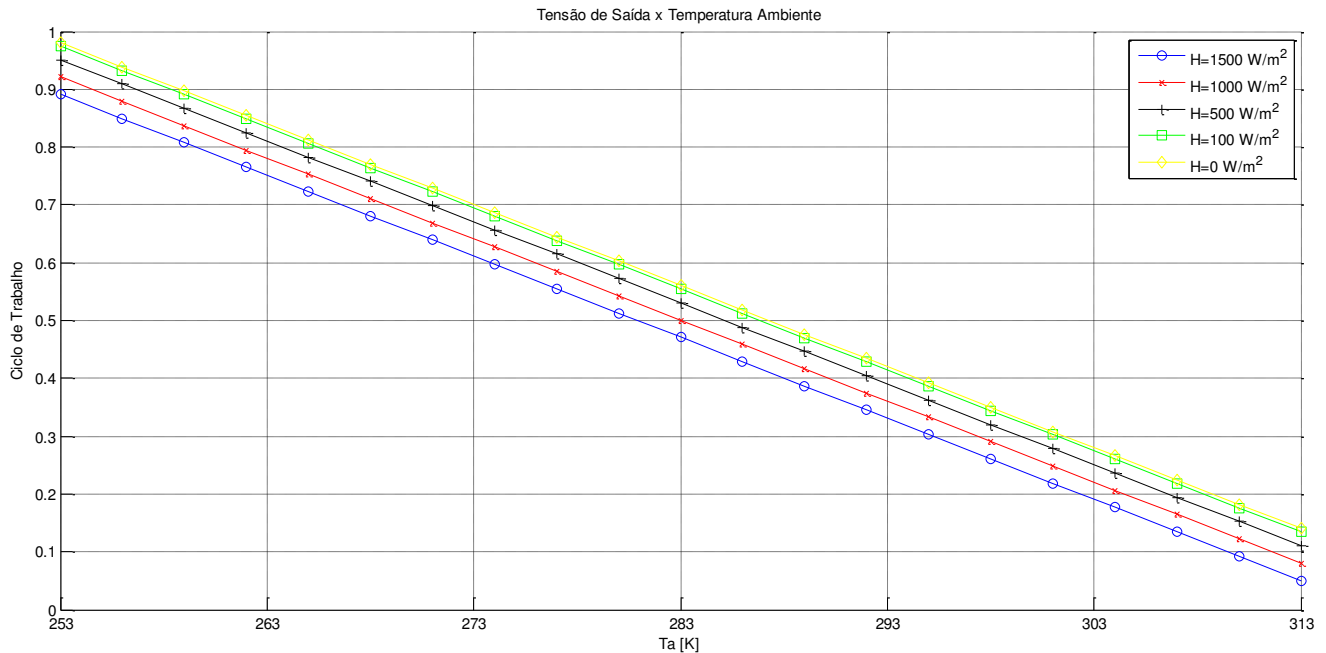


Figura 10 - . Saída pulsada e sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o sensor termorresistivo submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m^2 . Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação da razão cíclica, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação da razão cíclica, sob 1500 W/m^2 de radiação, correspondente à $\tau/p = 0,84$ ou 84 % do período total, equivalente à variação de tensão (V_o) de 11 V, considerando (26).

4.4 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (33) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 11.

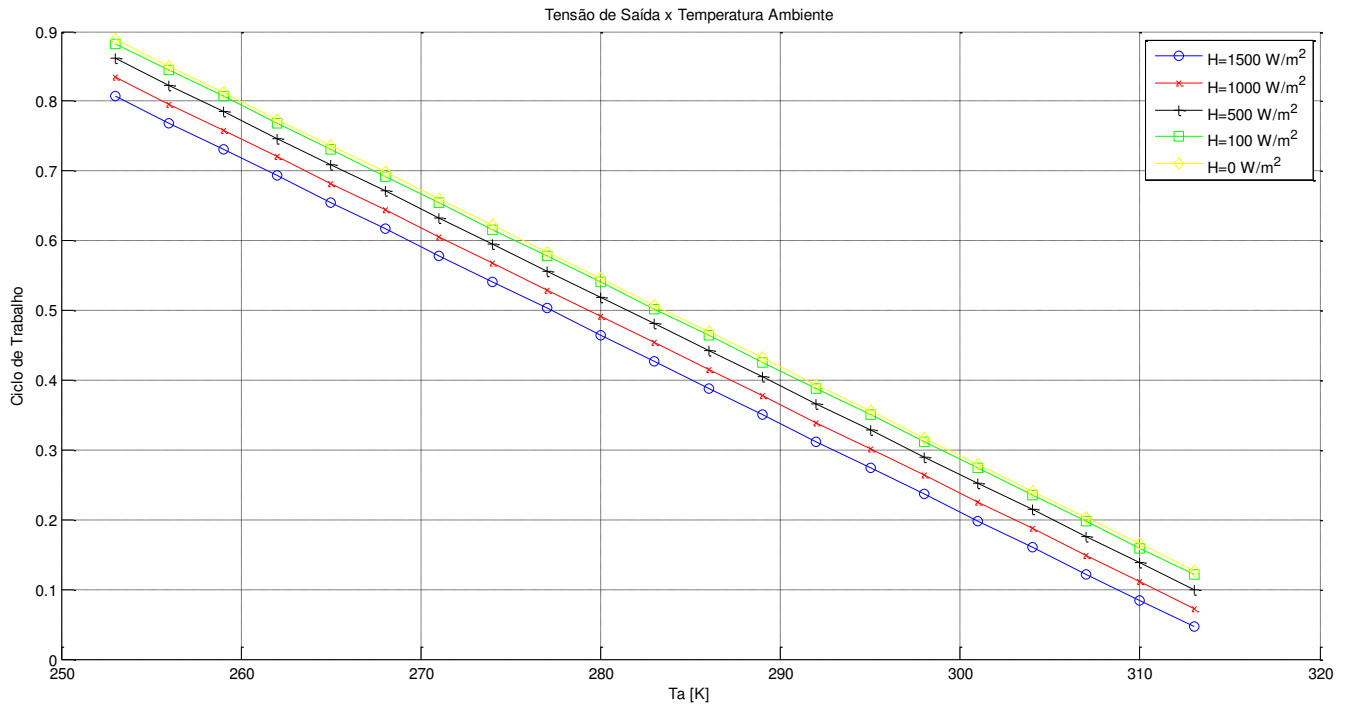


Figura 11 - Saída pulsada e termistor NTC aquecido à temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o termistor submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m^2 . Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação da razão cíclica, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação da razão cíclica, sob 1500 W/m^2 de radiação, correspondente à $\tau/p = 0,76$ ou 76 % do período total equivalente à variação de tensão (V_o) de 1,66 V.

4.5 Simulação da Dependência da Tensão Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da saída analógica (V_o), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (41) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 12.

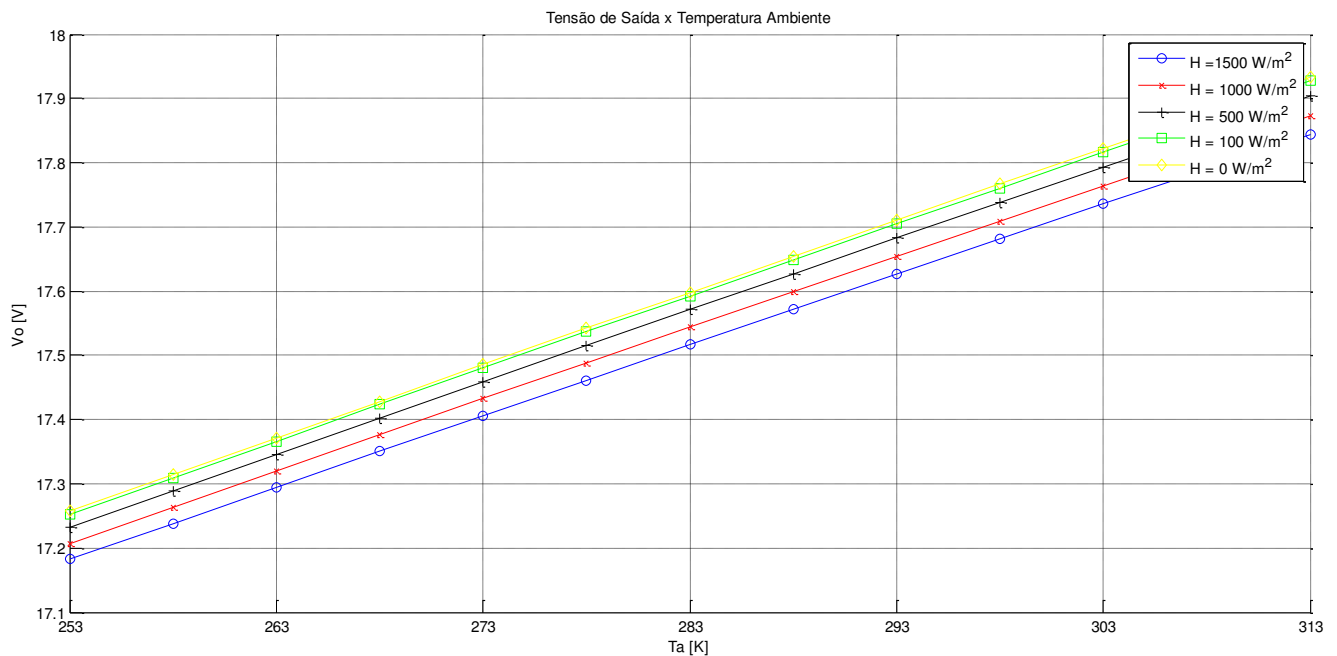


Figura 12 - Saída analógica e sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o sensor termorresistivo submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m². Sob esta condição, foi avaliada qual a maior variação de tensão de saída, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação de tensão (V_o) sob 1500 W/m² de radiação, correspondente à um valor de 0,66 V.

4.6 Simulação da Dependência da Tensão Analógica em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída analógica (V_o), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (43) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 13.

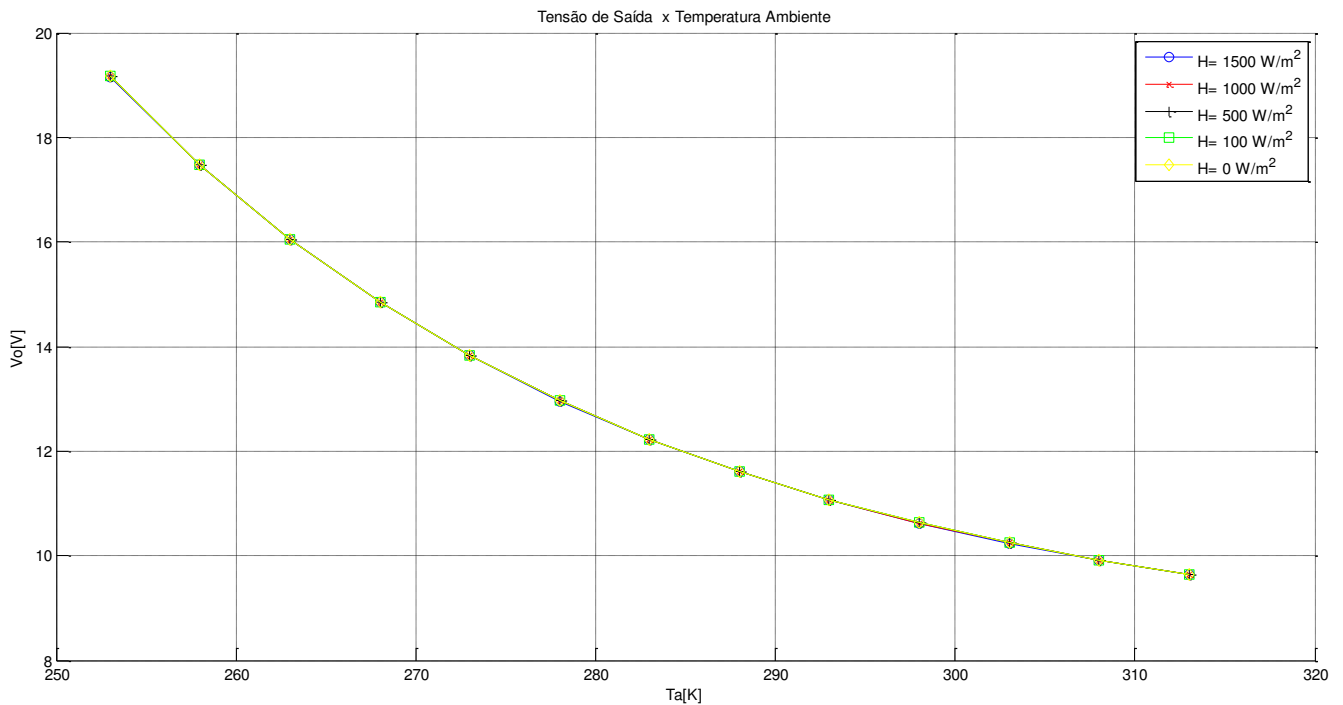


Figura 13 - Saída analógica e termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o termistor submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m². Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação de tensão de saída, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação de tensão (V_o) sob 1500 W/m² de radiação, correspondente à um valor de 9,52 V. Para um ponto fixo na faixa de temperaturas ambiente, a variação de tensão é mínima, sendo perceptível apenas, na Figura 14.

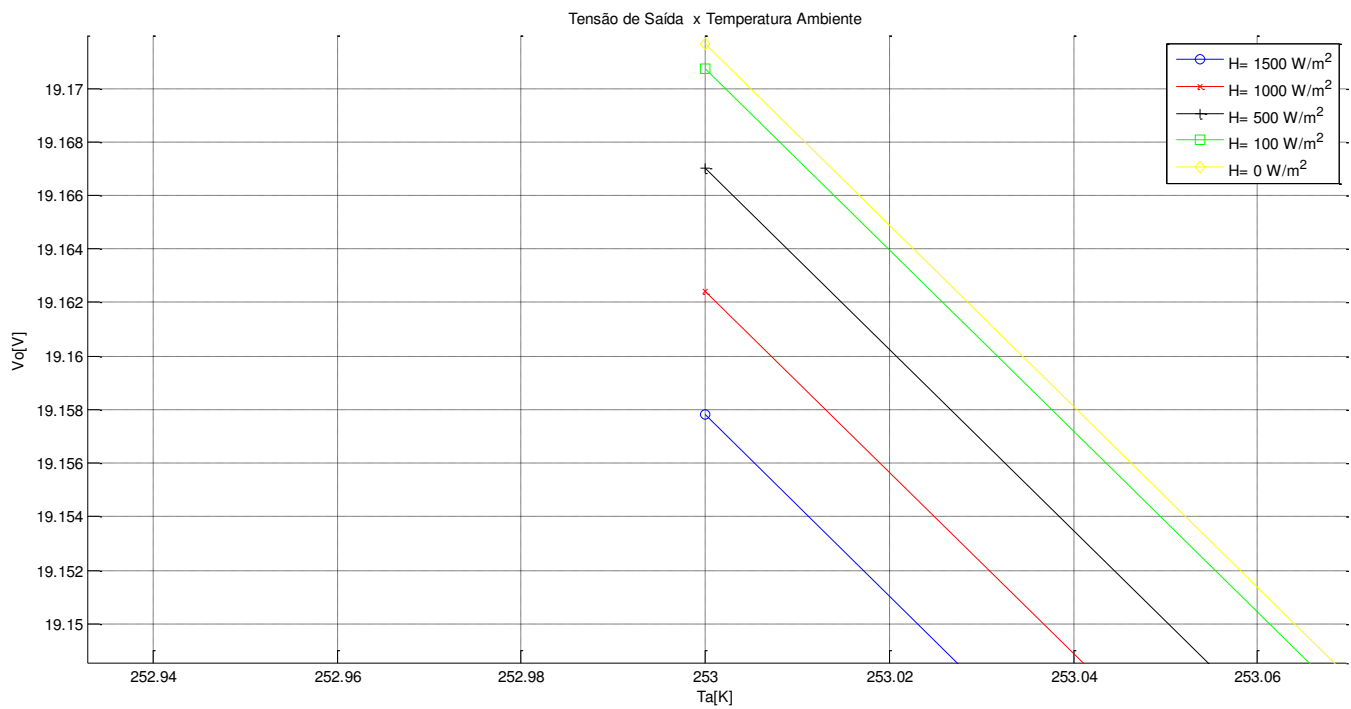


Figura 14 - Saída analógica e termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante com destaque na variação de V_o em 253 K.

4.7 Simulação da Tensão Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (32) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 15.

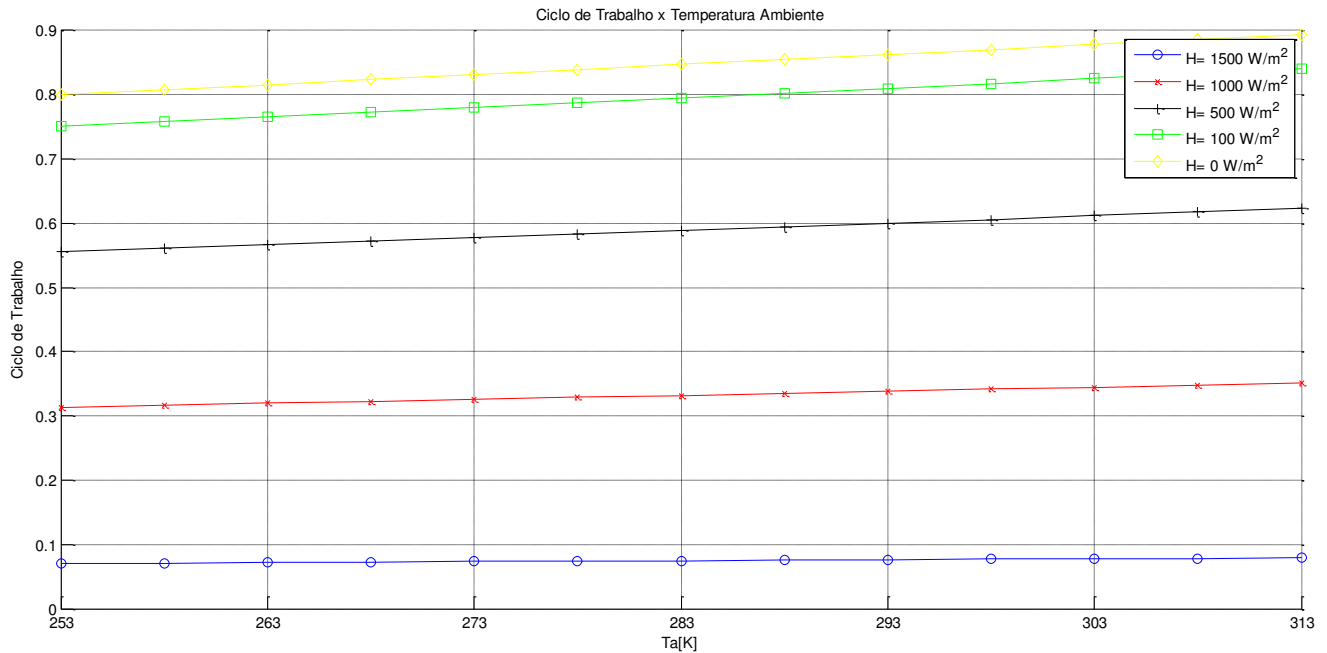


Figura 15 - Saída pulsada e sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o sensor termorresistivo submetido à uma faixa de radiação de 0 a 1500 W/m^2 . Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação da razão cíclica, considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação da razão cíclica, sob 0 W/m^2 de radiação, correspondente à $\tau/p = 0,09$ ou 9 % do período total equivalente à variação de tensão (V_o) de 1,14 V.

4.8 Simulação da Dependência da Tensão Pulsada em Função da Temperatura Ambiente do Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (33) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 16.

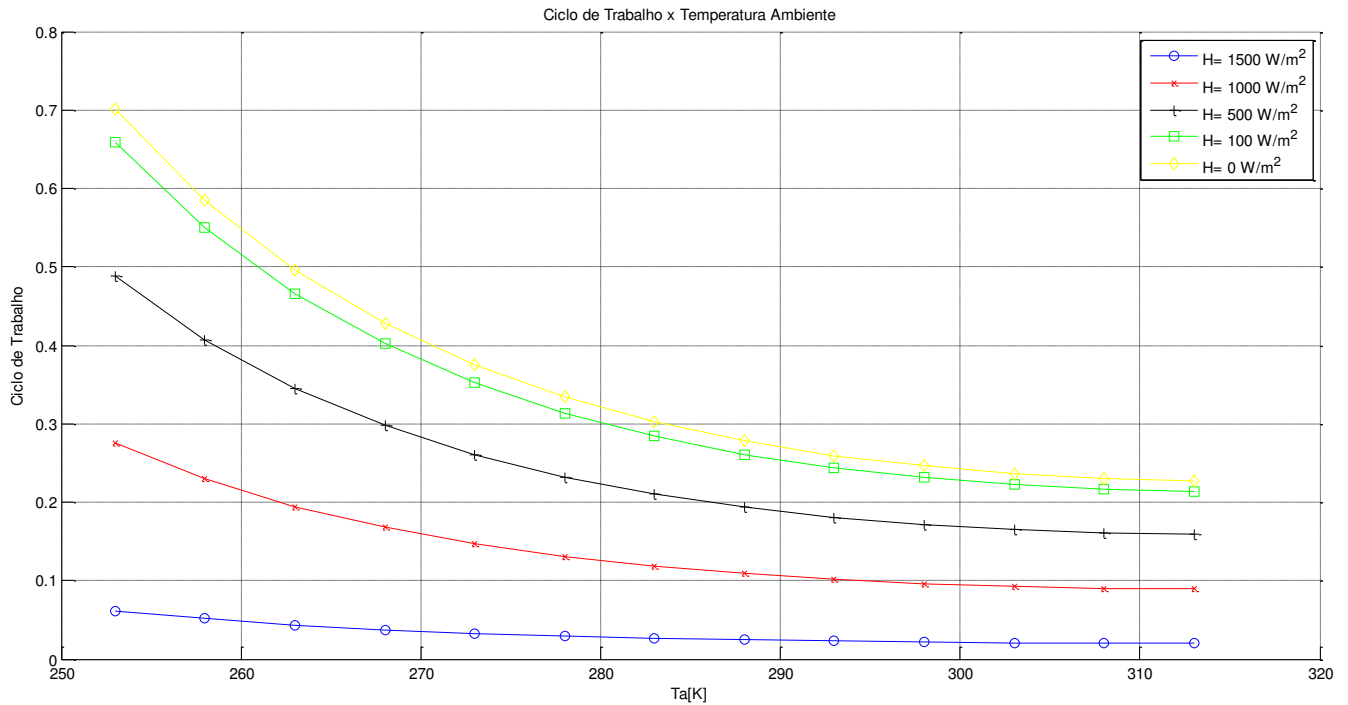


Figura 16 - Saída pulsada e termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante.

Para a análise da simulação, considerou-se o termistor submetido à faixa de radiação de 0 a $1500 W/m^2$. Sob esta condição, foi avaliado qual a maior variação da razão cíclica considerando toda a faixa da temperatura ambiente (T_a [K]). Constatou-se que, de 253 K a 313 K, houve a maior variação da razão cíclica, sob $0 W/m^2$ de radiação, correspondente à $\tau/p = 0,47$ ou 47 % do período total, equivalente à variação de tensão (V_o) de 0,68 V.

CAPÍTULO V – Análise da Sensibilidade Relativa em Relação à Temperatura Ambiente.

Tendo como objetivo avaliar a sensibilidade relativa à radiação em função da temperatura ambiente (T_a), foram desenvolvidos os gráficos a seguir, correspondentes das Figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

5.1 Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (51) e dos parâmetros no Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 17.

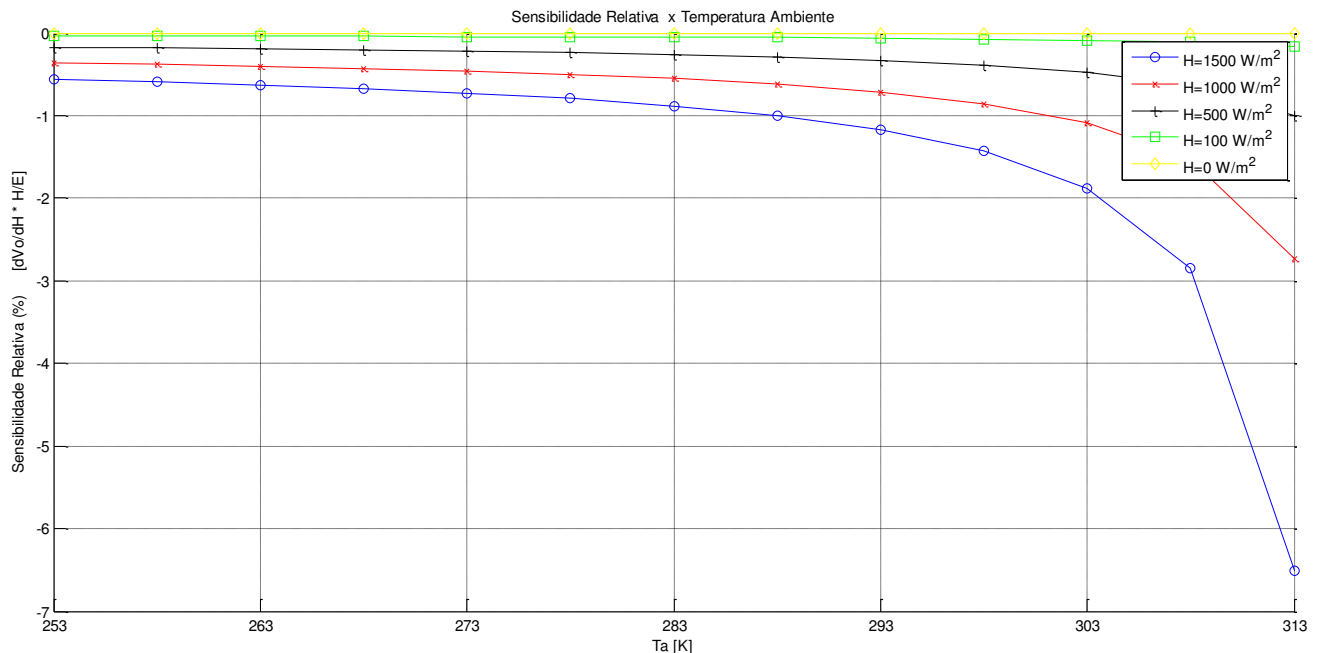


Figura 17 - Sensibilidade do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante em saída analógica.

Constatou-se que, para uma radiação máxima de 1500 W/m², a sensibilidade foi maior no ponto do eixo da abscissa referente à temperatura ambiente de 313 K. Foi constatada uma taxa de variação de aproximadamente -6,50 % da tensão de saída (V_o) em relação à radiação em função da

temperatura ambiente (T_a) correspondente. Significa que neste ponto, em dadas condições, o sensor tem uma maior sensibilidade em relação a outras temperaturas ambiente. Conforme o gráfico, também é perceptível a variação da temperatura ambiente, ou seja, a grandeza interferente tem influência na variação da sensibilidade, principalmente estando o sensor sob radiação incidente máxima.

5.2 Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Analógica Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (52) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 18.

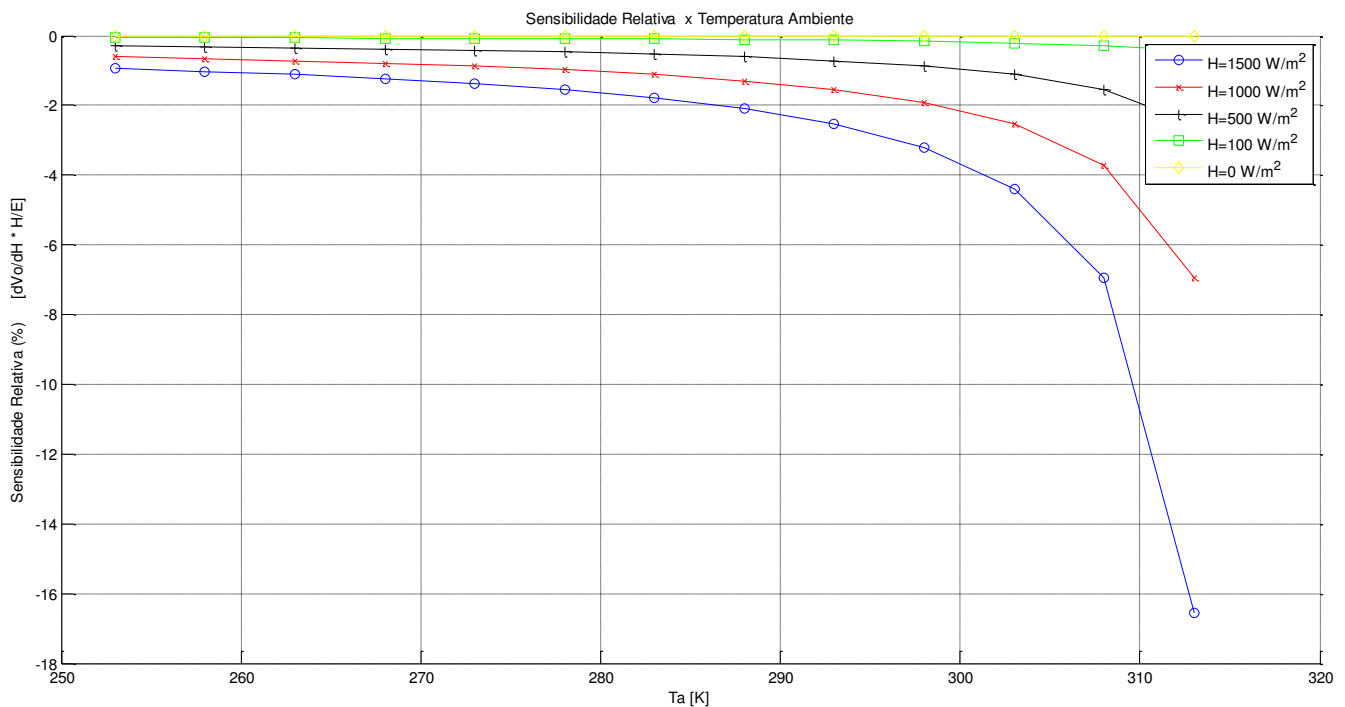


Figura 18 - Sensibilidade do termistor NTC aquecido à temperatura constante em saída analógica

Foi constatado que, para uma radiação máxima de 1500 W/m^2 , a sensibilidade foi maior no ponto da abscissa referente à temperatura ambiente de 313 K . Foi constatada uma taxa de variação de aproximadamente $-16,54 \%$ da tensão de saída (V_o) em relação à radiação, em função

da temperatura ambiente (T_a) correspondente. A variação da temperatura ambiente, ou seja, a grandeza interferente, tem influência na variação da sensibilidade nesta simulação, principalmente estando o sensor sob radiação incidente máxima.

5.3 Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Pulsada aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (53) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 19.

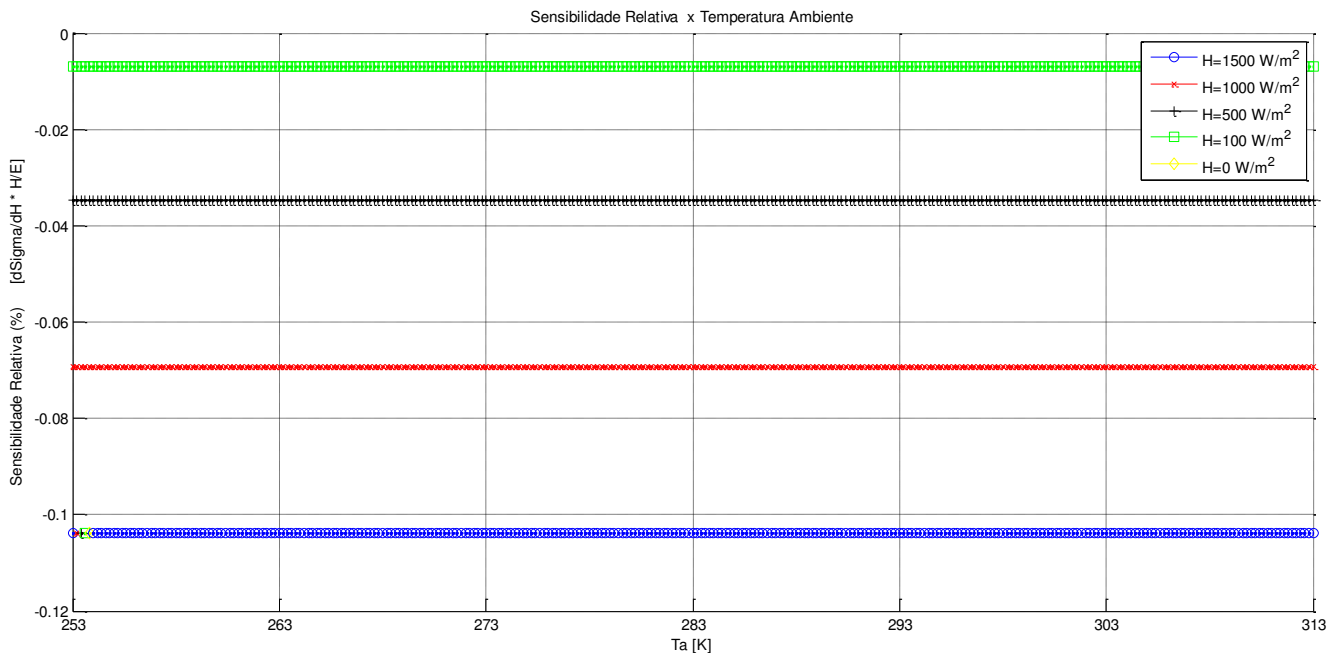


Figura 19 - Sensibilidade do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante em saída pulsada.

Percebe-se que, em uma radiação incidente de 1500 W/m², em qualquer ponto da variação de temperatura ambiente, houve uma sensibilidade relativa (-0,16 %) constante, para qualquer ponto na abscissa correspondente à valores de T_a , ou seja, a grandeza interferente tem pouca influência na variação da sensibilidade.

5.4 Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Pulsada aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termistor NTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (54) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 20.

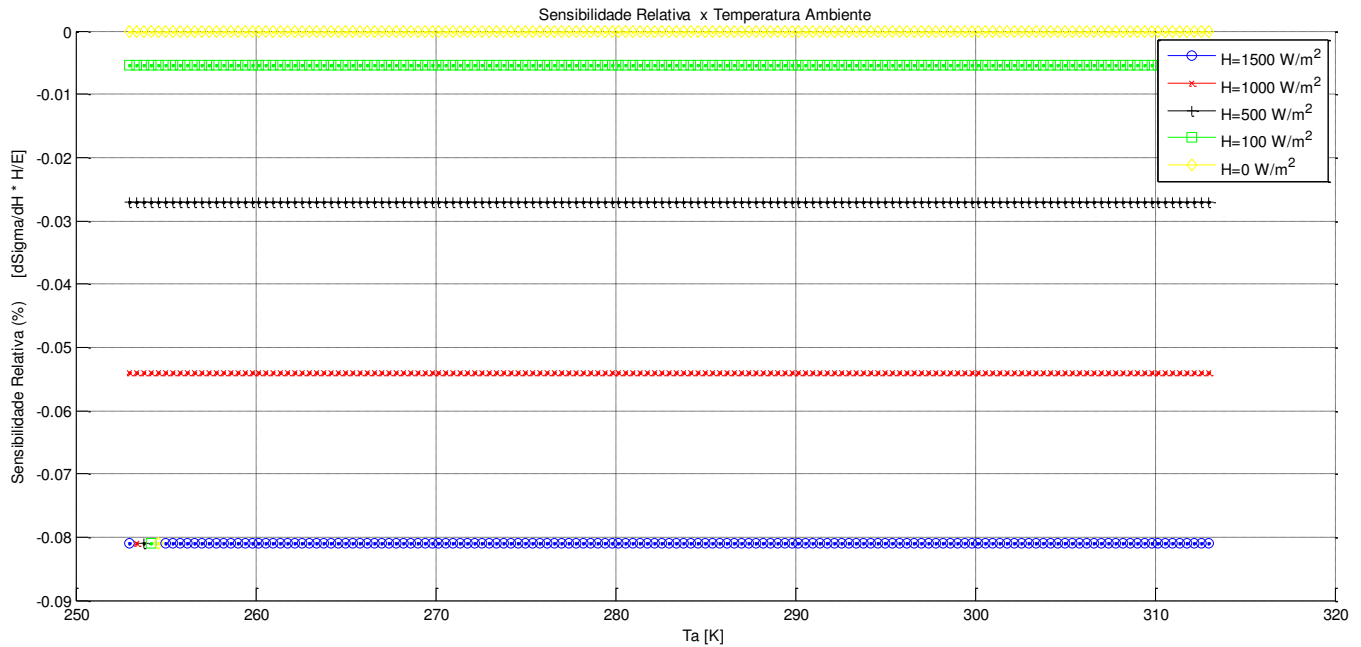


Figura 20 - Sensibilidade do termistor NTC aquecido à temperatura constante em saída pulsada.

Foi constatado que, para uma radiação incidente de 1500 W/m^2 , em qualquer ponto do eixo T_a [K], houve uma sensibilidade relativa (-0,08 %) constante, tendo assim a grandeza interferente, pouca influência na variação da sensibilidade.

5.5 Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Analógica aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à (T_a), ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (55) e dos parâmetros do Quadro 2, foi gerado o gráfico, representado na Figura 21.

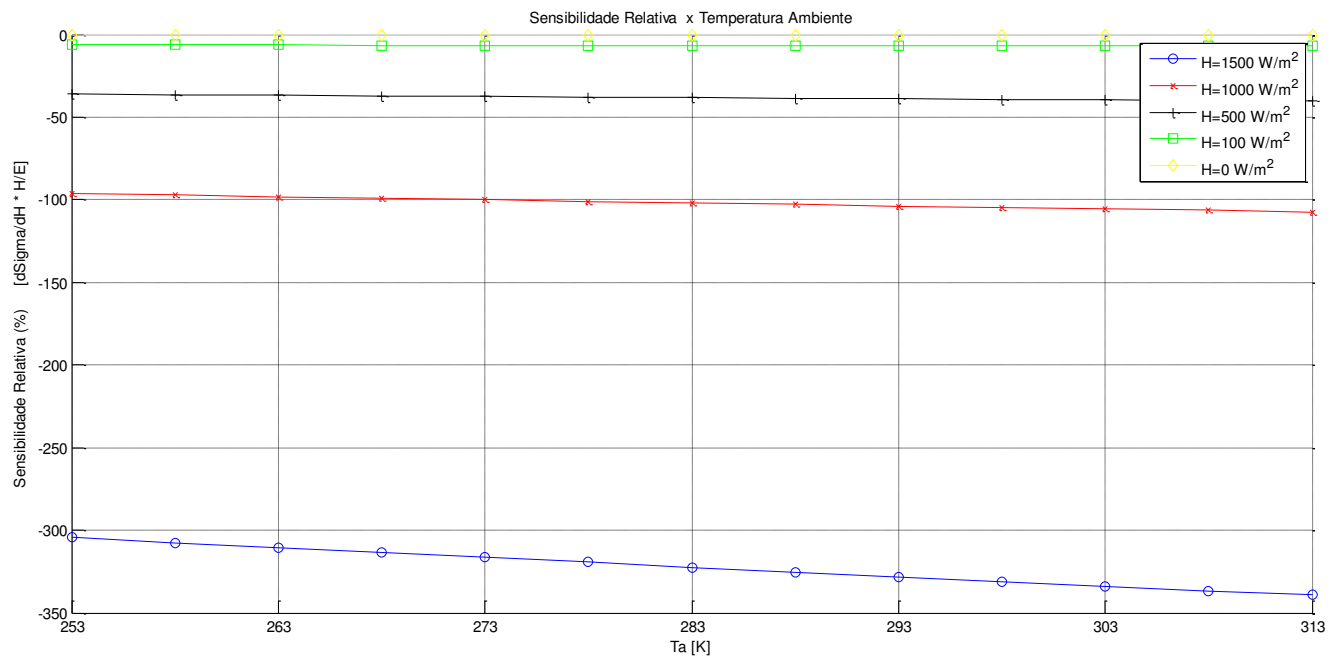


Figura 21 - Sensibilidade do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada.

Constatou-se que, para uma radiação máxima de 1500 W/m^2 , a sensibilidade relativa foi maior no ponto referente à abscissa, em 313 K, uma taxa de variação de aproximadamente -338 % da tensão de saída (V_o) em relação à radiação, em função da temperatura ambiente (T_a) correspondente. Sob os níveis de radiação até 1000 W/m^2 , houve pouca influência da grandeza interferente na variação da sensibilidade. Porém, sob radiação máxima é possível perceber que a sensibilidade varia com a variação de T_a .

5.6 Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Analógica aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (56) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 22.

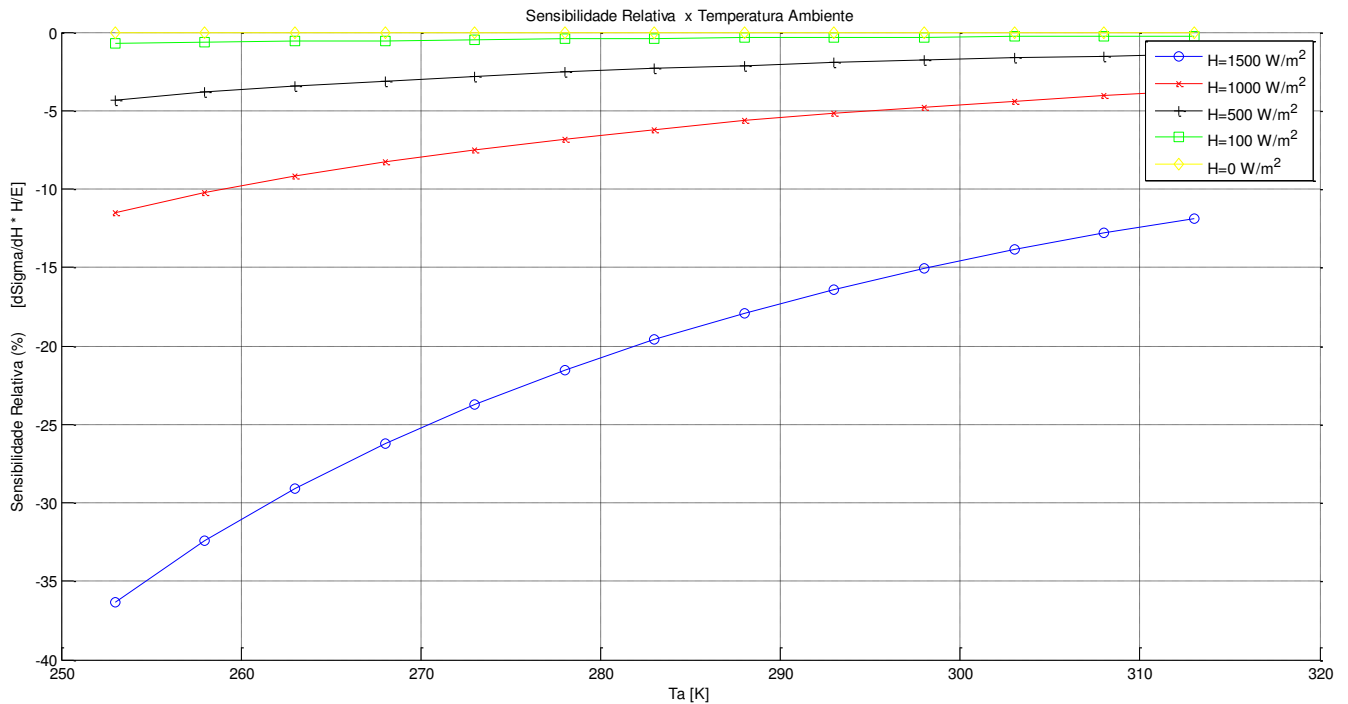


Figura 22 - Sensibilidade do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada.

Foi constatado que, para uma radiação máxima de 1500 W/m^2 a sensibilidade relativa foi maior no ponto da abscissa referente à 253 K , com uma taxa de variação de aproximadamente -36,31 % da tensão de saída (V_o) em relação à radiação, em função da temperatura ambiente (T_a) correspondente. Sob radiação máxima, a variação de temperatura ambiente tem grande influência na sensibilidade.

5.7 Simulação da Sensibilidade Relativa do Sensor Termorresistivo PTC em Saída Pulsada aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor PTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (57) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 23.

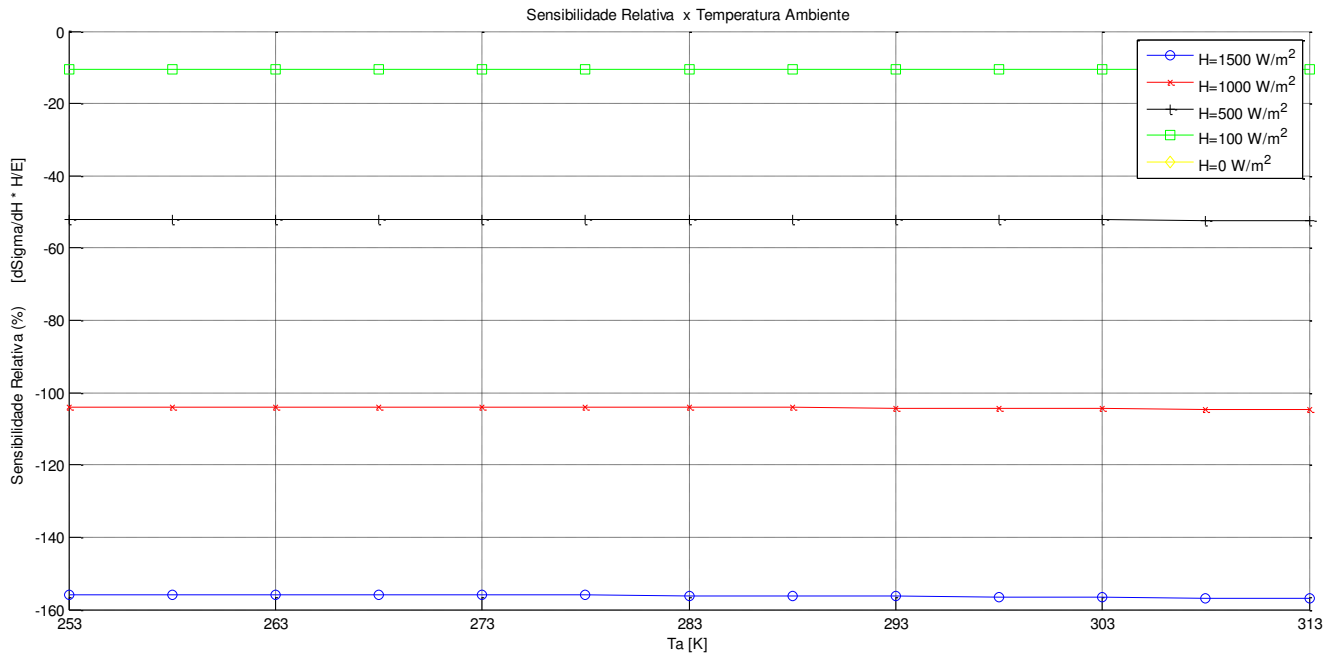


Figura 23 - Sensibilidade da saída pulsada e sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante.

Foi constatado que, para uma radiação máxima de 1500 W/m², a sensibilidade relativa foi maior no ponto referente à abscissa, em 313 K, uma taxa de variação de aproximadamente -157 % da razão cíclica em relação à radiação em função da temperatura ambiente (T_a) correspondente. Em todas as faixas de radiação, a sensibilidade relativa não teve variações significativas, indicando que a variação da grandeza interferente não tem muita influência na variação da sensibilidade.

5.8 Simulação da Sensibilidade Relativa do Termistor NTC em Saída Pulsada aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a sensibilidade em relação à grandeza interferente, ou seja, a temperatura (T_a). A partir de (58) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 24.

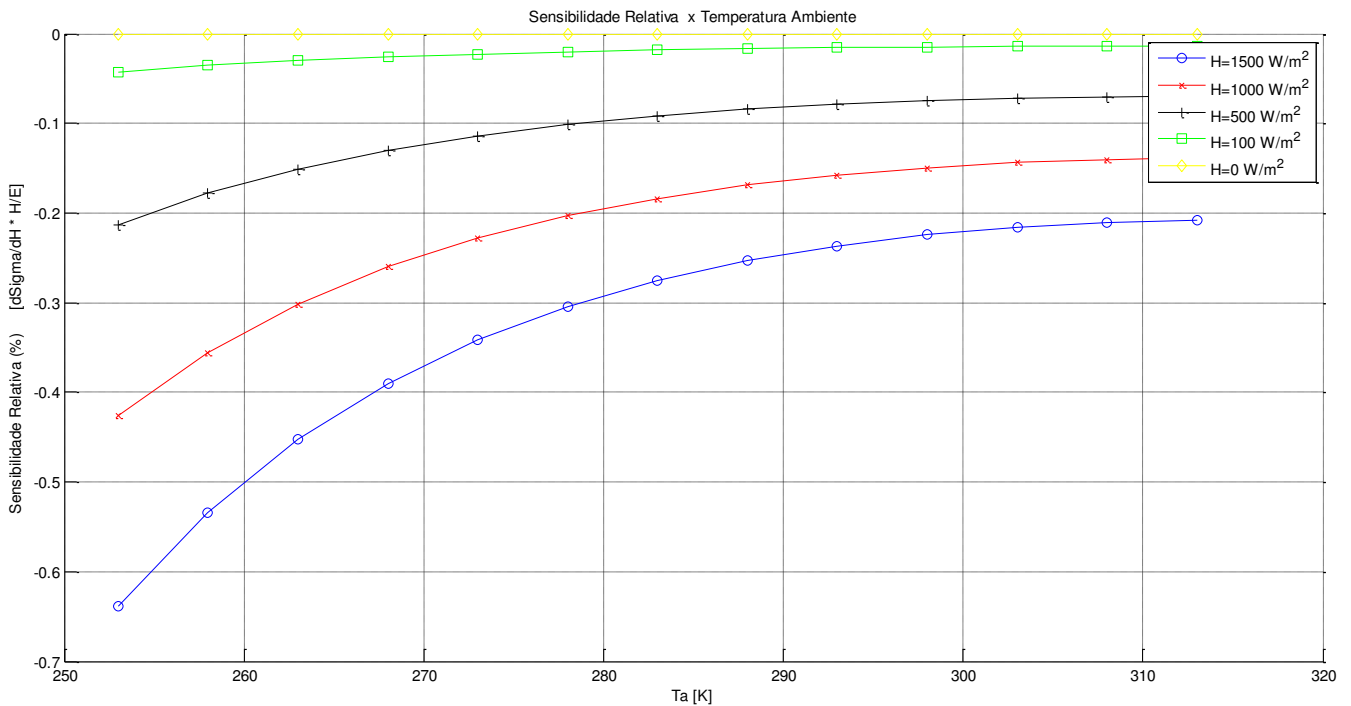


Figura 24 - Sensibilidade do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada.

Constatou-se que, para uma radiação máxima de 1500 W/m^2 , a sensibilidade relativa foi maior no ponto referente à abscissa, em 253 K, ou seja, uma taxa de variação de aproximadamente -0,64 % da grandeza de saída em relação à radiação em função da temperatura ambiente (T_a). Pela análise foi possível também perceber a nítida variação da sensibilidade ao variar-se a temperatura ambiente, sob uma mesma intensidade de radiação.

CAPÍTULO VI – Dinâmica de Saída - Avaliação da Dependência da Grandeza de Saída com a Grandeza de Entrada

Tendo como objetivo a continuação da análise da dinâmica de saída para cada arquitetura, com a utilização de parâmetros de sensores termorresistivos comerciais, e demais constantes do Quadro 1 e Quadro 2, foi possível avaliar a dependência da grandeza de saída V_o e τ/p com a grandeza de entrada H .

6.1 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, tensão de saída analógica (V_o), em função da grandeza de entrada, a radiação (H). A partir de (15) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 25.

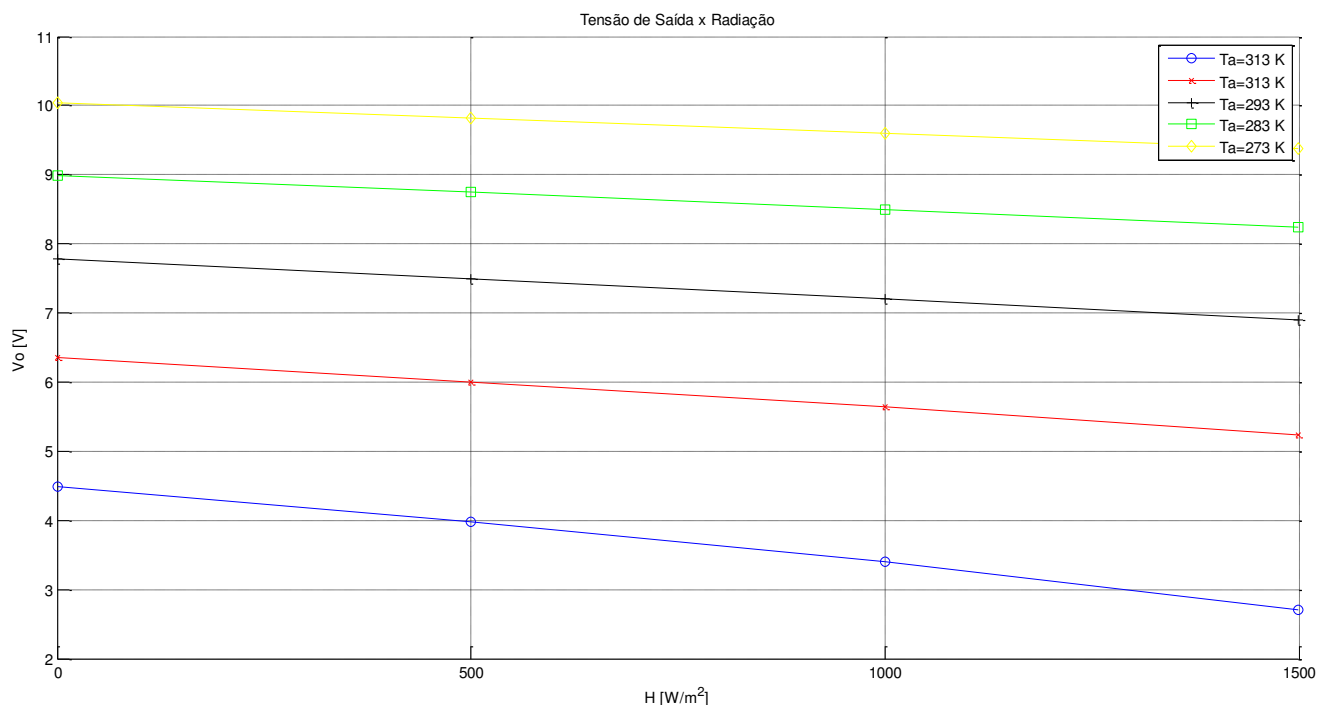


Figura 25 - Dinâmica de saída do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante em saída analógica.

Nesta simulação, é perceptível a influência da grandeza de entrada sobre a tensão de saída. Submetendo o sensor termorresistivo à uma variação de radiação de 0 à 1500 W/m², sob diversas temperaturas ambiente, ocorre a variação de V_o , que é o equivalente elétrico da grandeza de entrada, H . Na instrumentação eletrônica, deseja-se que esta variação seja a maior possível, para uma melhor dinâmica de resposta. Na temperatura ambiente de 313 K, por exemplo, variando a radiação até o seu valor máximo no gráfico, a variação de V_o é de 1,8 V.

6.2 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Analógica em Função da Radiação do Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, tensão de saída analógica (V_o), em função da grandeza de entrada, a radiação (H). A partir de (16) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 26.

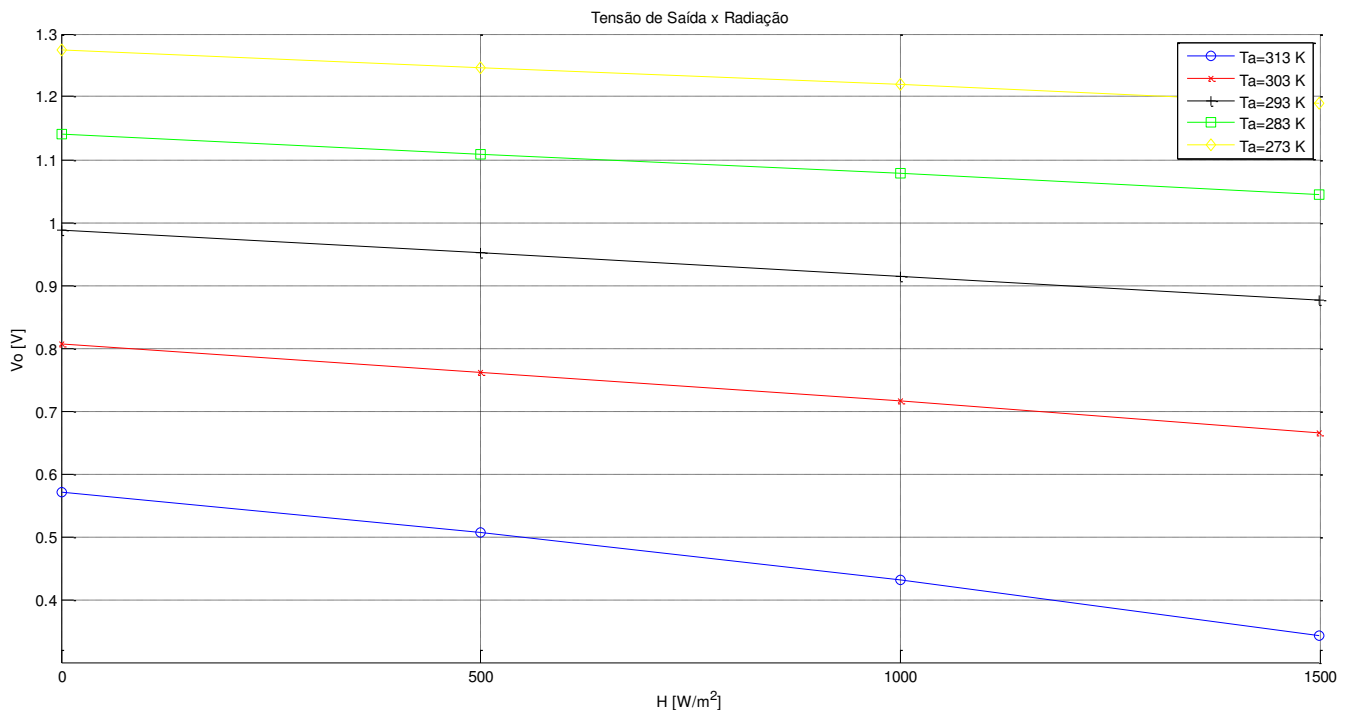


Figura 26 - Dinâmica de saída do termistor NTC aquecido à temperatura constante em saída analógica.

Nesta simulação, estando o sensor sob uma radiação variante de 0 à 1500 W/m², em diversas temperaturas ambiente, ocorre a variação de V_o , que é o equivalente elétrico da grandeza de entrada, H . Na temperatura ambiente de 313 K, por exemplo, variando a radiação até o seu valor máximo no gráfico, a variação de V_o é de 0,23 V.

6.3 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Radiação do Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, da saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza de entrada, a radiação (H). A partir de (32) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 27.

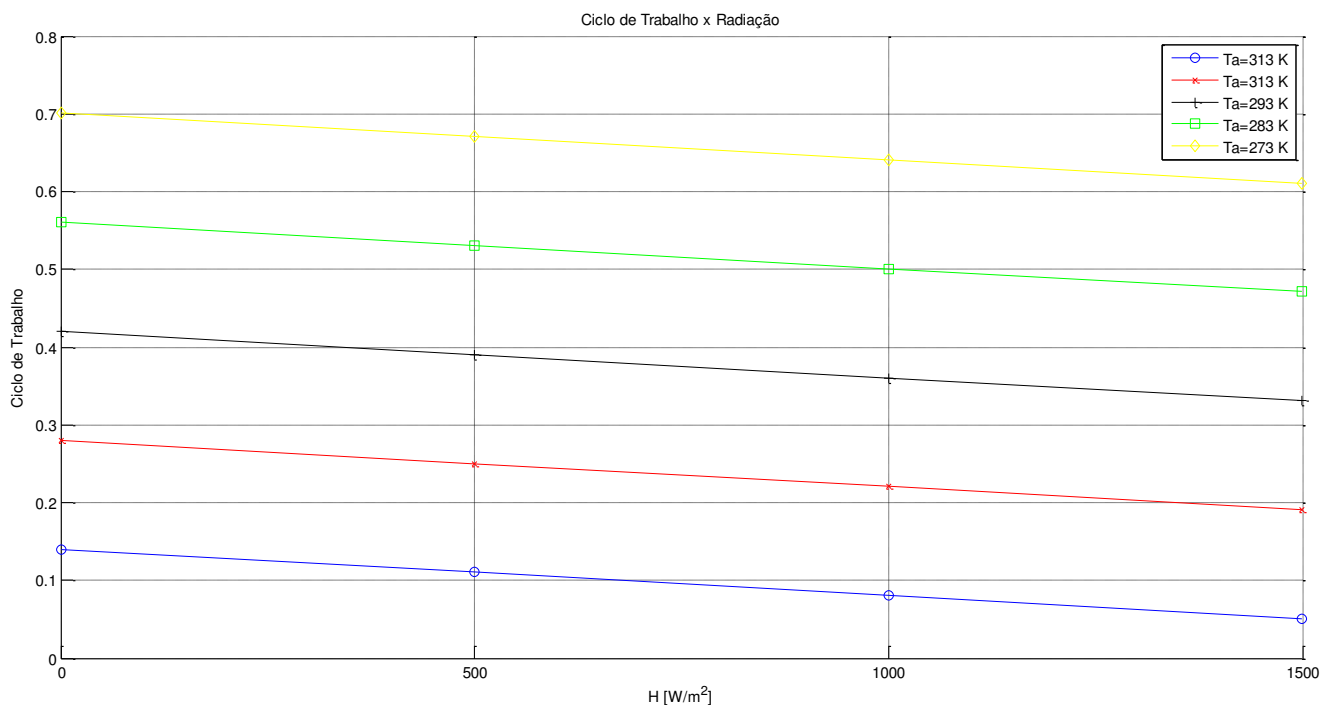


Figura 27 - Dinâmica de saída do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante em saída pulsada.

Simulando o sensor sob uma radiação variante de 0 à 1500 W/m², em diversas temperaturas ambiente, ocorre a variação do ciclo de trabalho. Na temperatura ambiente de 313 K

por exemplo, variando a radiação até o seu valor máximo no gráfico, a variação do ciclo de trabalho é de $\tau/p = 0,09$ ou (9 % do período total).

6.4 Simulação da Dependência da Tensão de Saída Pulsada em Função da Radiação para o Termistor NTC Aquecido à Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, da saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza de entrada, a radiação (H). A partir de (33) e dos parâmetros do Quadro 1, foi obtido o gráfico, representado na Figura 28.

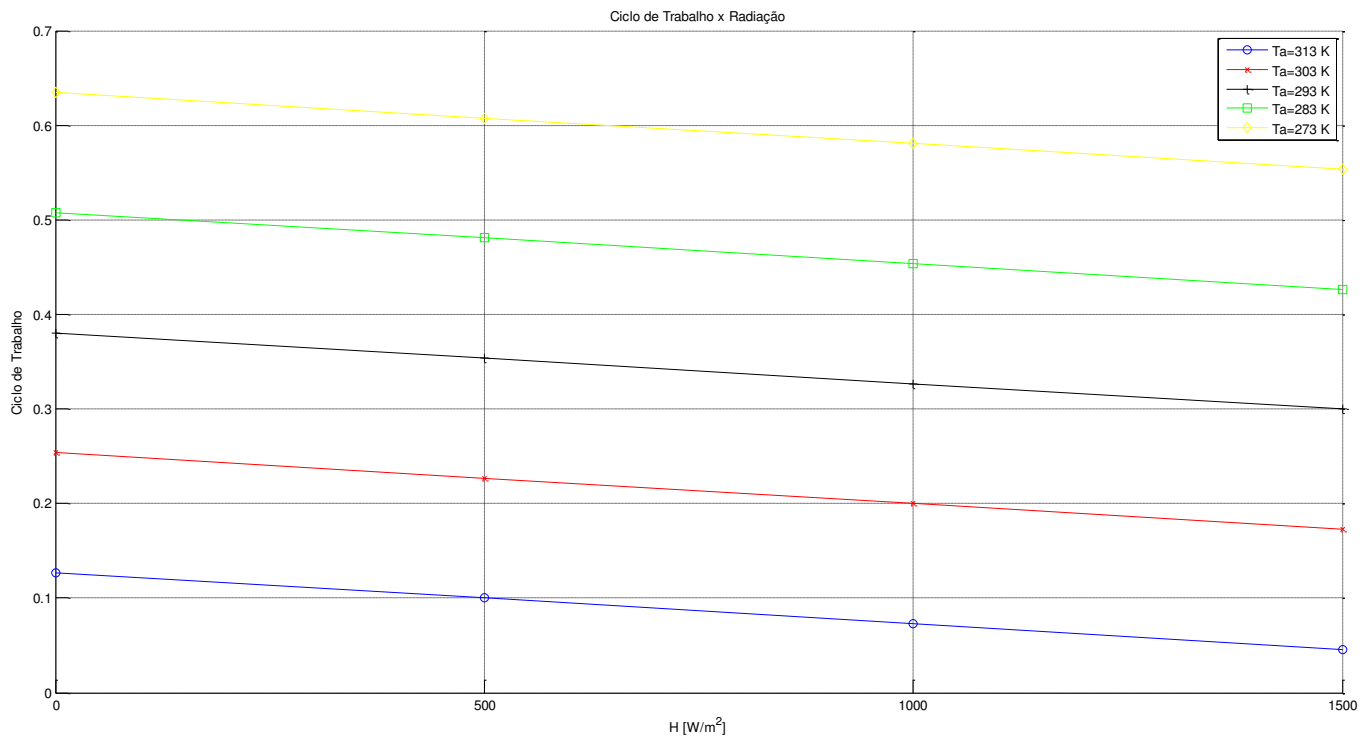


Figura 28 - Dinâmica de saída do termistor NTC aquecido à temperatura constante em saída pulsada.

Simulando o sensor sob uma radiação variante de 0 à 1500 W/m^2 , em diversas temperaturas ambiente, ocorre a variação do ciclo de trabalho. Na temperatura ambiente de 313 K por exemplo, variando a radiação até o seu valor máximo no gráfico, a variação do ciclo de trabalho é de $\tau/p = 0,08$ ou (8 % do período total).

6.5 Simulação da Dependência da Tensão Analógica em Função da Radiação para o Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, tensão de saída analógica (V_o), em função da grandeza interferente, a radiação (H). A partir de (41) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 29.

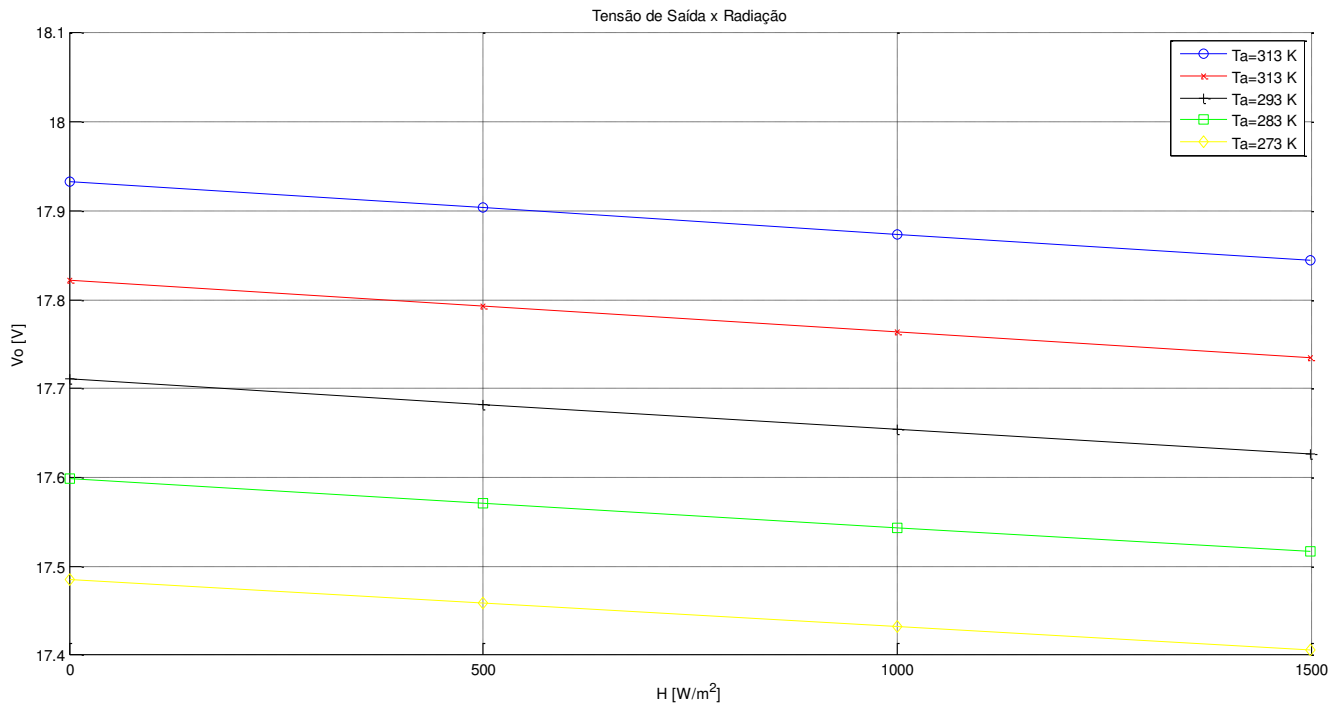


Figura 29 - Dinâmica de saída do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída analógica.

Nesta simulação, estando o sensor sob uma radiação variante de 0 à $1500 W/m^2$, em diversas temperaturas ambiente, ocorre a variação de V_o , que é o equivalente elétrico da grandeza de entrada, H . Na temperatura ambiente de 313 K, por exemplo, variando a radiação até o seu valor máximo no gráfico, a variação de V_o é de 0,1 V.

6.6 Simulação da Dependência da Tensão Analógica em Função da Radiação para o Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, tensão de saída analógica (V_o), em função da grandeza interferente, a radiação (H). A partir de (43) e dos parâmetros do Quadro 2, foi traçado o gráfico, representado na Figura 30.

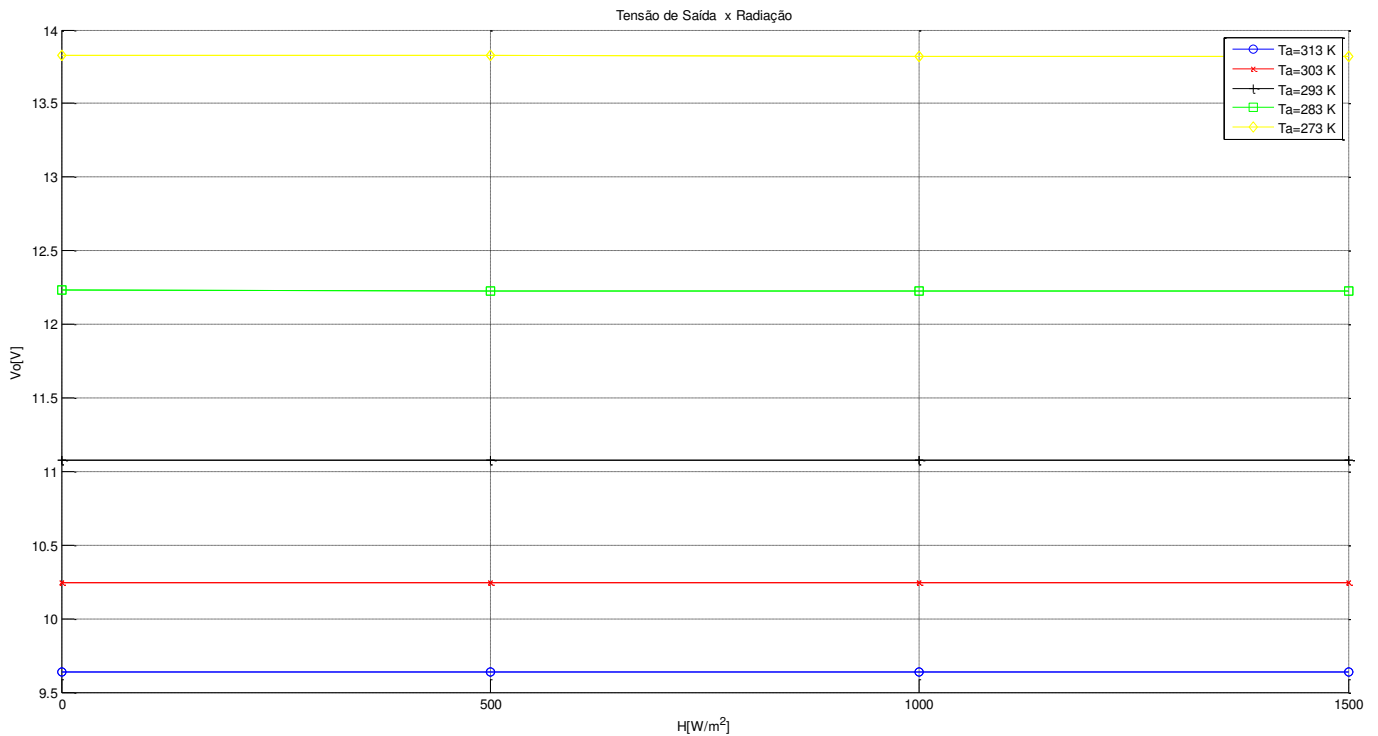


Figura 30 - Dinâmica de saída do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída analógica.

Nesta simulação, estando o sensor sob uma radiação variante de 0 à 1500 W/m^2 , em diversas temperaturas ambiente, não há significativa variação da tensão de saída, equivalente à variação da grandeza de entrada.

6.7 Simulação da Dependência da Tensão Pulsada em Função da Radiação para o Sensor Termorresistivo PTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, da saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza de entrada, a radiação (H). A partir de (32) e dos parâmetros do Quadro 2, foi obtido o gráfico, representado na Figura 31.

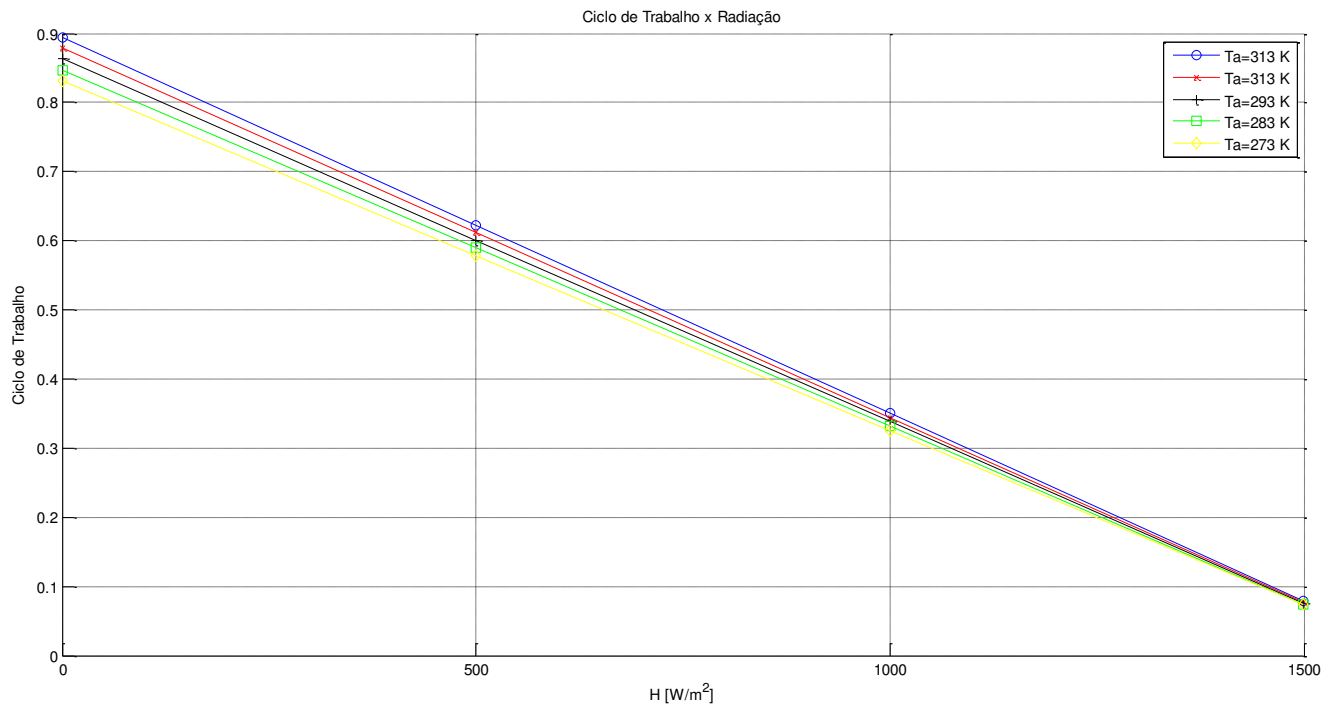


Figura 31 - Dinâmica de saída do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada.

Percebe-se uma grande variação em V_o ao variar H . Sendo assim, a grandeza de entrada tem significativa influência no sinal de saída. Sob uma faixa de radiação incidente de 0 a $1500 W/m^2$, à $313 K$, houve uma variação de $\tau/p = 0,81$ ou 81% do período total do pulso.

6.8 Simulação da Dependência da Tensão Pulsada em Função da Radiação para o Termistor NTC Aquecido à Diferença de Temperatura Constante

Para a arquitetura do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante, foi avaliada a dependência da grandeza de saída, ou seja, da saída pulsada, (Ciclo de Trabalho), em função da grandeza interferente, a temperatura (T_a). A partir de (33) e dos parâmetros do Quadro 2, foi traçado o gráfico, representado na Figura 32.

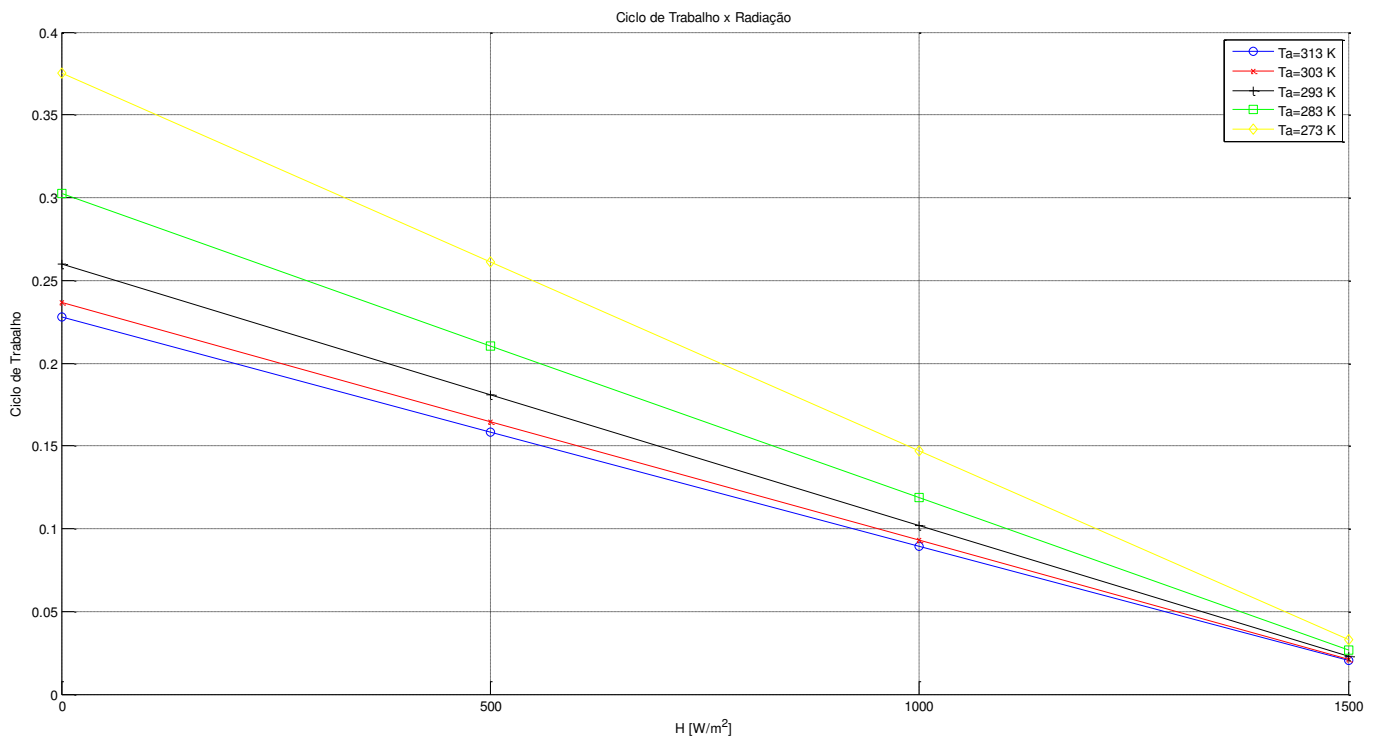


Figura 32 - Dinâmica de saída do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada.

Nesta simulação, há uma variação significativa em V_o , ao variar H . Sendo assim, a grandeza de entrada tem influência considerável no sinal de saída. Sob uma faixa de radiação incidente de 0 a $1500 W/m^2$, houve uma variação de $\tau/p = 0,34$ ou 34 % do período total do pulso, à 273 K.

CAPÍTULO VII – Resultados

Nas simulações realizadas, teve-se como objetivo analisar as arquiteturas baseadas em sensores termorresistivos em três aspectos diferentes: a influência da variação da temperatura ambiente (T_a) na tensão de saída (V_o) ou na razão cíclica δ , a dependência das grandezas de saída com a grandeza de entrada (radiação, H) e a sensibilidade relativa. Nesta última avaliação, também é analisada a influência que a variação da temperatura ambiente tem sobre a sensibilidade.

A partir dos resultados apresentados no Quadro 3, foi possível determinar qual arquitetura e sensor obteve o melhor desempenho em relação à influência da grandeza interferente sobre a grandeza de saída.

Quadro 3 – Análise da Dependência da Tensão de Saída em Função da Temperatura Ambiente.

Tensão de Saída V_o e Razão Cíclica δ em Função da Temperatura Ambiente T_a							
Sensor/Termistor aquecido à Temperatura Constante				Sensor/Termistor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante			
Saída Analógica		Saída Pulsada		Saída Analógica		Saída Pulsada	
PTC	NTC	PTC	NTC	PTC	NTC	PTC	NTC
$\Delta V_o=8,63$ V	$\Delta V_o=1,08$ V	$\Delta \delta = 84$ %	$\Delta \delta = 76$ %	$\Delta V_o=0,66$ V	$\Delta V_o=9,52$ V	$\Delta \delta = 9$ %	$\Delta \delta = 47$ %

No primeiro aspecto avaliado, é desejável que a grandeza interferente tenha a menor influência possível na grandeza de saída, para que haja uma melhor dinâmica de resposta. Para os radiômetros simulados, sob uma radiação de 0 W/m² a 1500 W/m², é preferível que a tensão de saída, correspondente à variação de radiação, seja constante se houver variação de temperatura ambiente (de -20 °C à 40 °C para sensores termorresistivos e 253 K à 313 K para termistores).

Dentre os sensores termorresistivos e termistores analisados, o que teve menor influência da grandeza interferente é o sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, nas saídas analógica e em largura de pulso. O pior desempenho foi constatado para o PTC em saída pulsada aquecido à temperatura constante.

A partir dos resultados apresentados no Quadro 4, foi possível determinar qual arquitetura e sensor obteve o melhor desempenho em relação à sensibilidade relativa em função da temperatura ambiente.

Quadro 4 – Análise da Sensibilidade Relativa em Função da Temperatura Ambiente.

Sensibilidade Relativa em Função da Temperatura Ambiente T_a							
Sensor/Termistor aquecido à Temperatura Constante				Sensor/Termistor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante			
Saída Analógica		Saída Pulsada		Saída Analógica		Saída Pulsada	
PTC	NTC	PTC	NTC	PTC	NTC	PTC	NTC
-6,5 %	-16,54 %	-0,16 %	-0,08 %	-338 %	-36,51 %	-157 %	-0,64 %

Na segunda análise, é preferível que o instrumento possua a maior sensibilidade possível, de forma que, sob variação da grandeza interferente, tal sensibilidade seja constante. Sendo assim, o sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída analógica foi o mais sensível. Porém a temperatura ambiente teve grande influência na variação de sua sensibilidade, sendo assim, o melhor desempenho foi obtido pelo do PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada, pois sua sensibilidade se manteve constante sob a variação da temperatura ambiente.

A partir dos resultados obtidos no Quadro 5, foi possível determinar qual arquitetura e sensor obteve o melhor desempenho em relação à influência da grandeza de entrada sobre a grandeza de saída.

Quadro 5 – Análise da Dependência da Tensão de Saída em Função da Radiação .

Tensão de Saída V_o e Razão Cíclica δ em Função da Radiação H							
Sensor/Termistor aquecido à Temperatura Constante				Sensor/Termistor Aquecido à Diferença de Temperatura Constante			
Saída Analógica		Saída Pulsada		Saída Analógica		Saída Pulsada	
PTC	NTC	PTC	NTC	PTC	NTC	PTC	NTC
$V_o = 1,8 \text{ V}$	$V_o = 0,23 \text{ V}$	$\delta = 9 \%$	$\delta = 8 \%$	$V_o = 0,1 \text{ V}$	$V_o = 0,01$	$\delta = 81 \%$	$\delta = 64 \%$

Na terceira análise, é desejável que a grandeza de entrada, ou seja, a grandeza medida pelo sensor ou termistor, tenha a maior influência possível na grandeza de saída, de forma que seja garantida uma melhor dinâmica de saída do instrumento. Para os radiômetros simulados, sob uma radiação de 0 W/m^2 a 1500 W/m^2 , é preferível que a tensão de saída, correspondente à variação de radiação, seja ampla para cada ponto da temperatura ambiente (de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ para sensores termorresistivos e 253 K a 313 K para termistores).

Dentre os sensores termorresistivos e termistores analisados, o que teve maior influência da radiação é o sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, na saída em largura de pulso.

Dados os resultados das análises, foi possível comprovar o melhor desempenho da arquitetura de sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante, se comparada à arquitetura clássica. O sensor apresentou uma elevada sensibilidade nas duas saídas (analógica e em largura de pulso), menor influência da temperatura ambiente, porém apenas em saída pulsada obteve melhor dinâmica de resposta em relação à influência da grandeza de entrada sobre a grandeza de saída e menor interferência da temperatura ambiente na sua sensibilidade.

CAPÍTULO VIII – Conclusões e Perspectivas

8.1 Conclusões

Neste trabalho, foram analisadas duas arquiteturas que utilizam o princípio da equivalência elétrica, na implementação de sensores termorresistivos: a arquitetura de aquecimento do sensor à temperatura constante e à diferença de temperatura constante.

Os critérios para a avaliação do melhor desempenho foram: verificar a influência da grandeza externa (T_a) na tensão de saída (V_o) para os casos de saídas analógicas, e (τ/p), ou ciclo de trabalho para os casos de saída pulsada. Foi objetivo também, analisar a sensibilidade de cada sensor e arquitetura, em relação à temperatura ambiente. Ainda verificou-se a relação da grandeza de saída (V_o ou τ/p) com a grandeza de entrada, H . Tais aspectos foram muito importantes para a escolha de um sensor e arquitetura ideal.

Para a análise da sensibilidade, comparando-se os gráficos da arquitetura de sensor aquecido à diferença de temperatura constante, com os gráficos da arquitetura do sensor aquecido à temperatura constante, foi possível verificar que as sensibilidades das primeiras são bem maiores do que as encontradas na arquitetura clássica. Principalmente na saída analógica e pulsada do PTC, em que, na arquitetura proposta, além de apresentar uma sensibilidade maior, teve pouca variação sob influência da temperatura ambiente. Variando-se (T_a) neste caso, a sensibilidade se manteve praticamente constante em toda a faixa de temperatura ambiente. Uma melhor sensibilidade para o radiômetro tem como resultado uma melhor exatidão nas medições.

Simulando a relação entre a tensão de saída e a grandeza interferente na arquitetura de aquecimento do sensor à temperatura constante, para ambos (PTC e NTC), percebe-se que as saídas (analógicas e pulsadas) são muito sensíveis às variações em (T_a). E tem pouca variação de tensão em relação à um (T_a) fixo, quando submetido à uma variação de radiação

Na arquitetura de aquecimento com o sensor PTC aquecido à diferença de temperatura constante, a saída pulsada teve uma alta porcentagem de ciclo de trabalho em relação ao período total do PWM, além de variar pouco com a influência da temperatura ambiente.

Nas simulações que relacionam (V_o) ou (τ/p) com H , deseja-se que o sensor tenha a maior variação de sua tensão de saída, com o estímulo da menor variação na grandeza de entrada.

Portanto, na arquitetura proposta, o sensor termorresistivo PTC em saída pulsada obteve maior variação.

Foram constatadas as maiores sensibilidades nas simulações do sensor PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída analógica e pulsada, porém no primeiro caso, sob incidência máxima de radiação e influência da variação da temperatura ambiente, houve alteração na sensibilidade em diferentes valores de (T_a). No segundo caso, em saída pulsada, foi perceptível uma menor influência da grandeza interferente, refletindo-se em uma dinâmica de saída melhor.

O sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante em saída pulsada obteve então, o melhor desempenho.

8.2 Perspectivas

Propõe-se realizar ensaios a partir de implementações em *hardware* que possuam como objetivo, comparar as arquiteturas de temperatura constante e de diferença de temperatura constante, utilizando sensores termorresistivos PTC e termistores NTC.

No Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas, da Universidade Federal de Campina Grande, foi editado no *software* Orcad, o esquemático de um circuito de uma Ponte de Wheatstone, para a arquitetura de temperatura constante, conforme Figura 33.

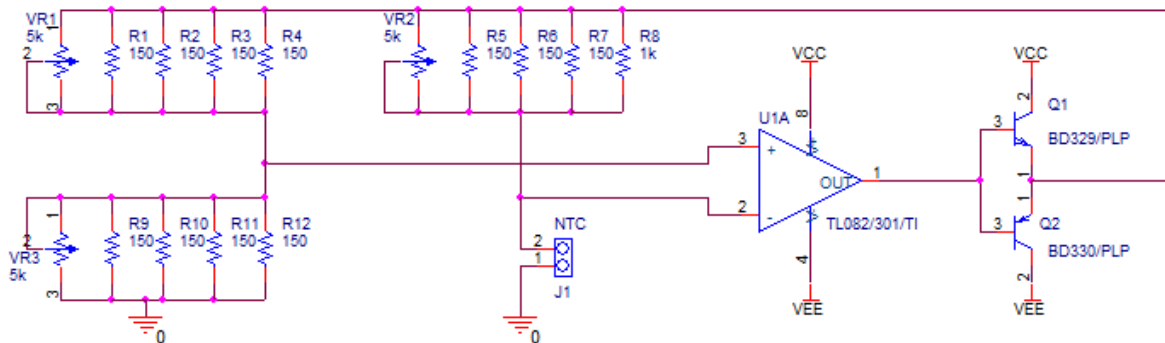


Figura 33 – Esquemático da Ponte de Wheatstone

Após a edição, foi gerado o leiaute da placa para a montagem do circuito, conforme apresentado na Figura 34. Na confecção da placa, uma máquina de prototipagem rápida de PCI (Placa de Circuito Impresso) foi utilizada. A seguir, deu-se início a montagem dos componentes:

Amplificador operacional TL081, transistores BD 329 e BD 330, resistores e termistor NTC de encapsulamento 0603.

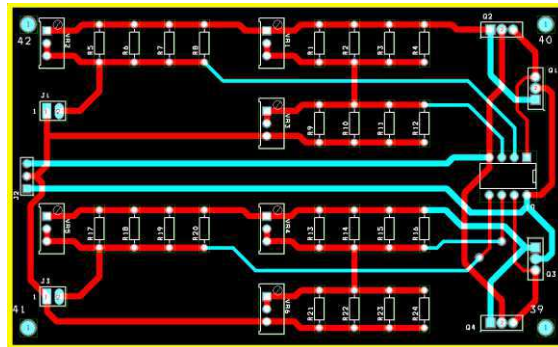


Figura 34 – Leiaute da Ponte de Wheatstone editado no Orcad

Os dados contendo os parâmetros para o termistor foram coletados do Quadro 1. Escolheu-se o aquecimento do termistor para 50 °C, cuja resistência a tal temperatura é de aproximadamente 30,421 Ω (valor de resistência constatado através da verificação dos parâmetros fornecidos pelo fabricante do termistor). Foram dispostos resistores de forma que seu valor equivalente fosse igual à resistência do sensor na sua temperatura de aquecimento.

Os potenciômetros não suportaram a corrente do circuito (Figura 33), portanto todas as resistências então foram substituídas por outras, de valor diferente, de forma que a equivalência das resistências permitisse uma operação do termistor na mesma temperatura, e possibilitando que a Ponte de Wheatstone entre em equilíbrio, conforme Figura 35.

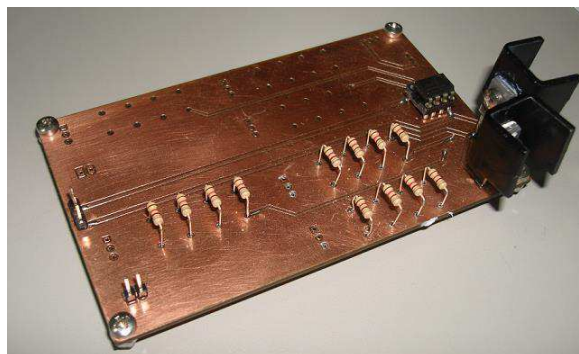


Figura 35 – Placa com Circuito da Ponte de Wheatstone

Para reduzir o efeito da variação da temperatura ambiente na dinâmica de resposta do termistor, o mesmo foi inserido em uma cúpula de vidro conforme Figura 36 e Figura 37.

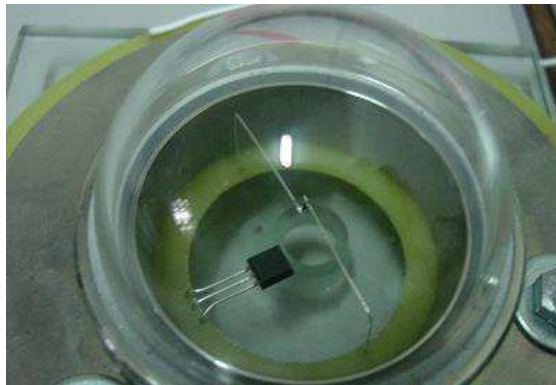


Figura 36 – Termistor NTC

Idealmente, para reduzir o efeito da convecção, é desejável que o termistor ou sensor termorresistivo esteja em um meio com vácuo. Uma tensão simétrica de ± 5 V foi fornecido para o circuito contendo o termistor. Para futuras implementações da arquitetura de aquecimento do sensor à diferença de temperatura constante, foi inserido à cúpula, um circuito integrado LM 35 para a aferição de temperatura ambiente (T_a).

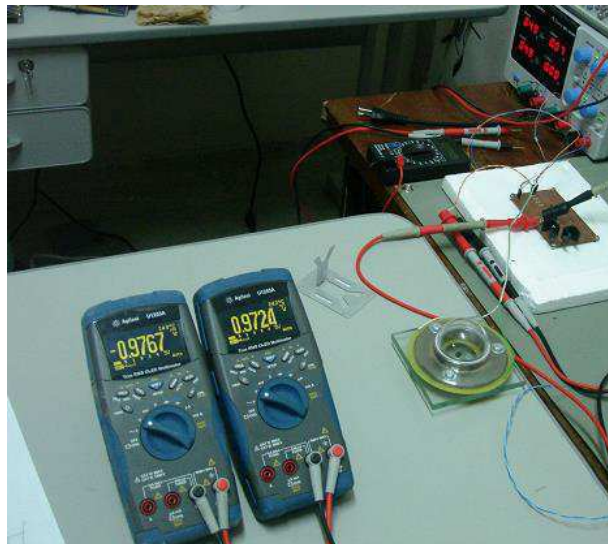


Figura 37 – Ponte de Wheatstone em Equilíbrio Constante

Com dois multímetros, foi possível aferir a tensão sobre o termistor e sobre o resistor em série com o primeiro. Pela Figura 37, e assimilando com a Figura 6, é possível perceber a medição da tensão sobre o termistor R_s e sobre o resistor em série com o mesmo (R). Sendo estes $V = 0,9724$ V e também $V_s = 0,9767$ V. Considerando que:

$$R_s = \frac{V_s}{I}, \quad (59)$$

$$R_s = \frac{V_s}{V/R} = \frac{V_s \cdot R}{V}. \quad (60)$$

De acordo com (59), tem-se:

$$R_s = \frac{0,9724 \cdot 30}{0,9767}, \quad (61)$$

$$R_s = 29,9 \, \Omega. \quad (62)$$

Com o circuito em operação, a Ponte de Wheatstone realimentada entra em equilíbrio e mantém o termistor aquecido à 50 °C, com uma resistência de aproximadamente 30 Ω , conforme (62). Sob incidência de radiação, a temperatura do sensor tende a variar, variando sua resistência. O circuito irá compensar variando a corrente sobre o termistor.

Objetiva-se nas próximas montagens, avaliar a sensibilidade do termistor e realizar ensaios utilizando o mesmo circuito, mas também sendo implementando com sensores termorresistivos PTC. Além de realizar a montagem da arquitetura de aquecimento do sensor à diferença de temperatura constante e comparar o desempenho de ambos nos aspectos avaliados neste trabalho.

CAPÍTULO IX – Materiais e Métodos

Para as simulações das expressões de saída dos sensores termorresistivos PTC e NTC em ambas arquiteturas de aquecimento do sensor à temperatura constante e diferença de temperatura constante, sinais de saída analógica e em largura de pulso, foi utilizado o *software* Matlab R2014A. A partir das expressões conhecidas, foi possível desenvolver as expressões de saída analógica e pulsada, para as arquiteturas de temperatura constante e diferença de temperatura constante, e derivando estas, foi possível desenvolver as expressões de sensibilidade relativa para posterior análise e verificação de qual arquitetura e sensor teve o melhor desempenho.

Para o desenvolvimento do circuito da Ponte de Wheatstone foram utilizados o *software* Orcad 9.1 para o projeto do leiatute e uma máquina de prototipagem rápida de PCI (Placa de Circuito Impresso), a LPKF Protomat L33 para a confecção do circuito .

REFERÊNCIAS

- [1] Roberta A. e Silva, V. d. (2010). *Estudo da viabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14(5), 501-509.
- [2] Sh. Gorijan, T. Tavakkoli Hashjin, B Ghobadian. (2012). *Estimation of Mean Monthly and Hourly Global Solar Radiation on Surfaces Tracking the Sun*. – Second Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, (pp. 172-177). Tehran, Iran.
- [3] José S. R. Neto. (1994). *Caracterização de Sensores Termo-resistivos*. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Campina Grande – Paraíba, Brazil.
- [4] Gurdip. S. Deep, S. R. (1996). *Thermoresistive Radiation Sensor Response Time Employing Electrical Heating*. IEEE Transactions of Instrumentation and Measurement, .45(No.1), pp. 332-335.
- [5] Raimundo C. S. Freire, G. S. Deep. (1997). *Effect of Operational Amplifier Parameters on the Performance of Feedback Structures with Thermoresistive Sensors*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, (pp. 898-903). Ottawa, Canada.
- [6] Ivan S. S. Silva, Raimundo C. S. Freire. (2002). *Architectures of Anemometers Using the Electric Equivalence Principle*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, (pp. 397-401). Anchorage - Alasca, USA .
- [7] Chaquibe. C. Farias, (1995). *Considerações de Projeto de um Radiômetro Solar de Equivalência Elétrica*. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Campina Grande – Paraíba, Brazil.
- [8] Raimundo C. S. Freire, Sebastian Y. C. Catunda, Benedito A. Luciano (2009). *Applications of Thermoresistive Sensors Using the Electric Equivalence*. IEE Transactions of Instrumentation and Measurement, Vol. 58, No.6, p.1823-1830.
- [9] Viviane S. G. Martins, Thais L. V. N. Silva, Vanuza M. do Nascimento, Raimundo C.S. Freire. (2012). *Sensibilidade de Radiômetros Baseados em Sensores Termoresistivos*. X Semetro, Buenos Aires – Argentina.

[10] Raimundo C. S. Freire, Gurdip. S. Deep. (Fevereiro - 1999). *Error in the Thermoresistive Sensor-Based Feedback Measurement Configuration due to DC Amplifier Offset Voltage*. IEEE Transactions of Instrument Measurements - Instrumentation and Measurement Technology Conference, 48 (No.1)

[11] Amauri Oliveira, Raimundo C. S. Freire, Gurdip. S. Deep. (1999). *Compensation of the Fluid Temperature Variation in a Hot-Wire Anemometer*. IEEE - Instrumentation and Measurement Technology Conference, (pp. 1377-1380). Ottawa – Canada.

[12] Raimundo C. S. Freire, Gurdip. S. Deep. (2003). *Static Error in Temperature Constant Measurement Configuration Due to DC Amplifier Offset Voltage*. IMTC 2003 - Instrumentation and Measurement Technology Conference, Vail – Colorado, USA.

[13] Viviane S.G. Martins, Raimundo C.S. Freire, Sebastian Y.C. Catunda. (2012). *Sensitivity Analysis and Automatic Adjustment of a Controlled-Temperature Thermoresistive-based Anemometer*. IEEE.

[14] Amauri Oliveira, G. S. (1998). *A Feedback I²-Controlled Constant Temperature Solar Radiation Meter*. IEEE Instrumentation and Technology Conference, (pp. 1062-1066). St. Paul - Mineesota, USA.

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE I - Algoritmos para as simulações

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da temperatura ambiente do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante

```
10 % Valores Constantes:
11
12 k=0.5; % Coeficiente Referente à (Rs/Rs+R)
13 U=211.5; % Coeficiente da Troca de Calor do Sensor com o Ambiente,
    W/(m^2*°C)
14 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0 °C, ohms
15 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
16 alpha=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
17 S=20*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação Solar Incidente, m^2
18 Ts=50; % Temperatura do Sensor aquecido, °C
19
20 % Valores de Radiação em W/m^2
21 H1=1500;
22 H2=1000;
23 H3=500;
24 H4=100;
25 H5=0;
26
27 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
28 Ta=[-20:2:40];
29
30 Vo1=(1/k) .* (Ro .* (1+B .* Ts) .* (U .* S .* (Ts-Ta) - alpha .* S .* H1)) .^(1/2);
31 Vo2=(1/k) .* (Ro .* (1+B .* Ts) .* (U .* S .* (Ts-Ta) - alpha .* S .* H2)) .^(1/2);
32 Vo3=(1/k) .* (Ro .* (1+B .* Ts) .* (U .* S .* (Ts-Ta) - alpha .* S .* H3)) .^(1/2);
33 Vo4=(1/k) .* (Ro .* (1+B .* Ts) .* (U .* S .* (Ts-Ta) - alpha .* S .* H4)) .^(1/2);
34 Vo5=(1/k) .* (Ro .* (1+B .* Ts) .* (U .* S .* (Ts-Ta) - alpha .* S .* H5)) .^(1/2);
35
36 figure(1); hold on; grid on;
37 xlabel('Ta [°C]');
38 ylabel('Vo [V]');
39 title('Tensão de Saída x Temperatura Ambiente');
40
41 % h = legend('H=1500 W/m^2', 'H=1000 W/m^2', 'H=500 W/m^2', 'H=100
    W/m^2', 'H=0 W/m^2', 5);
42 % set(h, 'Interpreter', 'none')
43 %plot(Ta, Vo1, 'b');
44 %plot(Ta, Vo2, 'r');
45 %plot(Ta, Vo3, 'k');
46 %plot(Ta, Vo4, 'g');
```

```

47 %plot(Ta,Vo5,'y');
48
49 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
50 Ta=[-20:3:40];
51
52 Vo1=(1/k) .* (Ro.*(1+B.*Ts) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-alpha.*S.*H1)).^(1/2);
53 Vo2=(1/k) .* (Ro.*(1+B.*Ts) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-alpha.*S.*H2)).^(1/2);
54 Vo3=(1/k) .* (Ro.*(1+B.*Ts) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-alpha.*S.*H3)).^(1/2);
55 Vo4=(1/k) .* (Ro.*(1+B.*Ts) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-alpha.*S.*H4)).^(1/2);
56 Vo5=(1/k) .* (Ro.*(1+B.*Ts) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-alpha.*S.*H5)).^(1/2);
57
58 plot(Ta,Vo1,'-bo',Ta,Vo2,'-rx',Ta,Vo3,'-k+',Ta,Vo4,'-gs',Ta,Vo5,'-yd');
59 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2',5);
60 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da temperatura ambiente do termistor NTC aquecido à temperatura constante.

```

18 % Valores Constantes:
19
20 k= 0.5; %Coeficiente referente à (Rs/Rs+R)
21 U=211.5; % Coeficiente da Troca de Calor do Termistor com o Ambiente,
W/(m^2*°C)
22 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
23 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
24 alpha=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
25 S=1.28*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação Solar Incidente, m^2
26 Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, Equivalente à 50°C, K
27 To =323; % Temperatura do Termistor na resistência Ro, K
28
29 % Valores de Radiação em W/m^2
30 H1=1500;
31 H2=1000;
32 H3=500;
33 H4=100;
34 H5=0;
35
36 % Faixa de variação da temperatura ambiente em K.
37 Ta=[253:3:313]; % Equivalente aos valores de -20 °C à 40 °C, K.
38
39 Vo1=(1/k) * ((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-
alpha.*S.*H1)).^(1/2));
40 Vo2=(1/k) * ((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-
alpha.*S.*H2)).^(1/2));
41 Vo3=(1/k) * ((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-
alpha.*S.*H3)).^(1/2));
42 Vo4=(1/k) * ((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)) .* (U.*S.*(Ts-Ta)-
alpha.*S.*H4)).^(1/2));

```

```

43 Vo5=(1/k)*((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)).*(U.*S.*(Ts-Ta)-
alpha.*S.*H5)).^(1/2));
44
45 figure(1); hold on; grid on;
46 xlabel('Ta [°C]');
47 ylabel('Vo [V]');
48 title('Tensão de Saída x Temperatura Ambiente');
49 plot(Ta,Vo1,'-bo',Ta,Vo2,'-rx',Ta,Vo3,'-k+',Ta,Vo4,'-gs',Ta,Vo5,'-yd');
50 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2',5);
51 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da temperatura ambiente do sensor termorresistivo PTC aquecido à temperatura constante.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 k= 0.5; % Coeficiente Referente à (Rs/Rs+R)
9 U=211.5; % Constante da Troca de Calor do Sensor com o Ambiente W/(m^2*°C)
10 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo na Temperatura 0 °C, ohms
11 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
12 alpha=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
13 S=20*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação Solar Incidente m^2
14 Ts=50; % Temperatura do Sensor Termorresistivo Aquecido, °C
15 E=12; % Amplitude do Pulso
16
17 % Valores de Radiação em W/m^2
18 H1=1500;
19 H2=1000;
20 H3=500;
21 H4=100;
22 H5=0;
23
24 figure(1); hold on; grid on;
25 xlabel('Ta [°C]');
26 ylabel('Ciclo de Trabalho');
27 title('Ciclo de Trabalho x Temperatura Ambiente');
28
29 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
30 Ta=[-20:3:40];
31
32 variavell = Ro.*(1+B.*Ts)/(k^2*E^2);
33 Sigma1 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta)- alpha.*S.*H1);
34 Sigma2 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta)- alpha.*S.*H2);
35 Sigma3 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta)- alpha.*S.*H3);
36 Sigma4 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta)- alpha.*S.*H4);
37 Sigma5 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta)- alpha.*S.*H5);

```

```

38
39 plot(Ta,Sigma1,'-bo',Ta,Sigma2,'-rx',Ta,Sigma3,'-k+',Ta,Sigma4,'-
gs',Ta,Sigma5,'-yd');
40 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2',5);
41 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da temperatura ambiente do termistor NTC aquecido à temperatura constante.

```

18 % Valores Constantes:
19
20 k= 0.5; %Coeficiente referente à (Rs/Rs+R)
21 U=211.5; % Constante da Troca de Calor do Termistor com o Ambiente,
W/(m^2*°C)
22 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
23 B=3100; % Coeficiente de temperatura do Termistor, K
24 alpha=0.9; %Coeficiente de Absorção do Termistor
25 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação Solar Incidente, m^2
26 Ts=323; % Temperatura de Aquecimento do Termistor, K
27 To = 323; % Temperatura do Termistor quando sua Resistência é Ro, K
28 E=1.6; % Amplitude do Pulso
29
30 % Valores de Radiação em W/m^2
31 H1=1500;
32 H2=1000;
33 H3=500;
34 H4=100;
35 H5=0;
36
37 % Faixa de variação da temperatura ambiente em K.
38 Ta=[253:3:313]; % Equivalente aos valores de -20 °C à 40 °C, K.
39
40 figure(1); hold on; grid on;
41 xlabel('Ta [°C]');
42 ylabel('Ciclo de Trabalho');
43 title('Ciclo de Trabalho x Temperatura Ambiente');
44
45 variavell = Ro*exp(B*(1/Ts -1/To))/((k^2)*(E^2));
46
47 Sigma1 = variavell*(U*S*(Ts-Ta)- alpha*S*H1);
48 Sigma2 = variavell*(U*S*(Ts-Ta)- alpha*S*H2);
49 Sigma3 = variavell*(U*S*(Ts-Ta)- alpha*S*H3);
50 Sigma4 = variavell*(U*S*(Ts-Ta)- alpha*S*H4);
51 Sigma5 = variavell*(U*S*(Ts-Ta)- alpha*S*H5);
52
53 plot(Ta,Sigma1,'-bo',Ta,Sigma2,'-rx',Ta,Sigma3,'-k+',Ta,Sigma4,'-
gs',Ta,Sigma5,'-yd');

```

```

54 h = legend('H=1500 W/m^2', 'H=1000 W/m^2', 'H=500 W/m^2', 'H=100 W/m^2', 'H=0
W/m^2', 5);
55 set(h, 'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da temperatura ambiente do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante.

```

6  % Valores Constantes:
7
8  U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor Termorresistivo com o
Ambiente, W/(m^2*°C)
9  Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
10 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
11 alpha=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
12 S=20*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação Solar Incidente, m^2
13 Ts=50; % Temperatura do Sensor Termorresistivo Aquecido, °C
14 deltaT=7; % °C (Ts-Ta)
15 R=100; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
16
17 % Valores de Radiação em W/m^2
18 H1=1500;
19 H2=1000;
20 H3=500;
21 H4=100;
22 H5=0;
23
24 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
25 Ta=[-20:5:40];
26
27 Vo1=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT)))))+
(R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-alpha.*S.*H1)).^(1/2);
28 Vo2=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT)))))+
(R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-alpha.*S.*H2)).^(1/2);
29 Vo3=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT)))))+
(R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-alpha.*S.*H3)).^(1/2);
30 Vo4=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT)))))+
(R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-alpha.*S.*H4)).^(1/2);
31 Vo5=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT)))))+
(R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-alpha.*S.*H5)).^(1/2);
32
33
34 figure(1); hold on; grid on;
35 xlabel('Ta [°C]');
36 ylabel('Vo [V]');
37 title('Tensão de Saída x Temperatura Ambiente');
38
39 plot(Ta, Vo1, '-bo', Ta, Vo2, '-rx', Ta, Vo3, '-k+', Ta, Vo4, '-gs', Ta, Vo5, '-yd');

```

```
40 legend('H = 1500 W/m^2', 'H = 1000 W/m^2', 'H = 500 W/m^2', 'H = 100
W/m^2', 'H = 0 W/m^2')
```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da temperatura ambiente do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante.

```
41 % Valores Constantes:
42
43 k=0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
44 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
45 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
46 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
47 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
48 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação Solar Incidente, m^2
49 Ts=323; % Temperatura de Aquecimento do Termistor, K
50 To=323;% Temperatura do Termistor na Resistência Ro, K
51 deltaT=7; %(Ts-Ta)
52 R=30; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
53
54 % Valores de Radiação em W/m^2
55 H1=1500;
56 H2=1000;
57 H3=500;
58 H4=100;
59 H5=0;
60
61 % Faixa de variação da temperatura ambiente em K.
62 Ta=[253:5:313]; % Equivalente aos valores de -20 °C à 40 °C, K.
63
64 Vo1=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-
1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-1./(To)))).*(U.*S.*(deltaT)-
a.*S.*H1));
65 Vo2=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-
1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-1./(To)))).*(U.*S.*(deltaT)-
a.*S.*H2));
66 Vo3=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-
1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-1./(To)))).*(U.*S.*(deltaT)-
a.*S.*H3));
67 Vo4=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-
1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-1./(To)))).*(U.*S.*(deltaT)-
a.*S.*H4));
68 Vo5=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-
1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta+deltaT)-1./(To)))).*(U.*S.*(deltaT)-
a.*S.*H5));
69
70 figure(1); hold on; grid on;
71 xlabel('Ta [K]');
```

```

72 ylabel('Vo [V]');
73 title('Tensão de Saída x Temperatura Ambiente');
74 plot(Ta,Vo1, '-bo',Ta,Vo2, '-rx',Ta,Vo3, '-k+',Ta,Vo4, '-gs',Ta,Vo5, '-yd');
75 h = legend('H= 1500 W/m^2', 'H= 1000 W/m^2', 'H= 500 W/m^2', 'H= 100
W/m^2', 'H= 0 W/m^2');
76 set(h, 'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da temperatura ambiente do sensor termorresistivo PTC aquecido à diferença de temperatura constante.

```

18 % Valores Constantes:
19
20 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
21 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
22 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
23 a=0.9;% Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
24 S=20*10^-6; % Área do Sensor Termorresistivo sob Radiação Solar
Incidente, m^2
25 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor Termorresistivo, °C
26 E=3.8; % Amplitude do Pulso
27 DeltaT=7;%(Ts-Ta)
28 R=100; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
29
30 % Valores de Radiação em W/m^2
31 H1= 1500;
32 H2= 1000;
33 H3= 500;
34 H4= 100;
35 H5= 0;
36
37 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
38 Ta=[-20:5:40];
39
40 Sigma1
=1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT)))*(U*S
*DeltaT-a*S*H1);
41 Sigma2
=1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT)))*(U*S
*DeltaT-a*S*H2);
42 Sigma3
=1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT)))*(U*S
*DeltaT-a*S*H3);
43 Sigma4
=1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT)))*(U*S
*DeltaT-a*S*H4);
44 Sigma5
=1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta+DeltaT)))*(U*S
*DeltaT-a*S*H5);

```



```

45 figure(1); hold on; grid on;
46 xlabel('Ta[°C]');
47 ylabel('Ciclo de Trabalho ');
48 title('Ciclo de Trabalho x Temperatura Ambiente');
49 plot(Ta,Vo1, '-bo', Ta,Vo2, '-rx', Ta,Vo3, '-k+', Ta,Vo4, '-gs', Ta,Vo5, '-yd');
50 h = legend('H= 1500 W/m^2', 'H= 1000 W/m^2', 'H= 500 W/m^2', 'H= 100
W/m^2', 'H= 0 W/m^2');
51 set(h, 'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da temperatura ambiente do termistor NTC aquecido à diferença de temperatura constante.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 U=211.5; % Coeficiente de Troca de Calor do Sensor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
9 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
10 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
11 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
12 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação Solar Incidente, m^2
13 Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, K
14 E=1; % Amplitude do Pulso
15 DeltaT=7; %(Ts-Ta)
16 R=30; %Valores das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
17 To=323; % Temperatura do Termistor quando a sua Resistência é Ro, K
18
19 % Valores de Radiação em W/m^2
20 H1= 1500;
21 H2= 1000;
22 H3= 500;
23 H4= 100;
24 H5= 0;
25
26 % Faixa de variação da temperatura ambiente em K.
27 Ta=[253:5:313]; % Equivalente aos valores de -20 °C à 40 °C, K.
28
29 Sigma1=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H1);
30 Sigma2=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H2);
31 Sigma3=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H3);
32 Sigma4=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H4);

```

```

33 Sigma5=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H5);
34 figure(1); hold on; grid on;
35 xlabel('Ta[K]');
36 ylabel('Ciclo de Trabalho');
37 title('Ciclo de Trabalho x Temperatura Ambiente');
38 plot(Ta,Sigma1,'-bo',Ta,Sigma2,'-rx',Ta,Sigma3,'-k+',Ta,Sigma4,'-
gs',Ta,Sigma5,'-yd');
39 legend('H= 1500W/m^2', 'H= 1000W/m^2', 'H= 500W/m^2', 'H= 100W/m^2', 'H=
0W/m^2')
40 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da radiação do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor Termorresistivo com o
Ambiente W/(m^2*°C)
9 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
10 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura, °C^-1
11 a=0.9;% Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
12 S=20*10^-6; % Área do Sensor Termorresistivo sob Radiação Solar Incidente,
m^2
13 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor Termorresistivo, °C
14
15 % Valores da Temperatura Ambiente em °C.
16 Ta1=40;
17 Ta2=30;
18 Ta3=20;
19 Ta4=10;
20 Ta5=0;
21
22 figure(1); hold on; grid on;
23 xlabel('H [W/m^2]');
24 ylabel('Vo [V]');
25 title('Tensão de Saída x Radiação');
26
27 % Valores de Radiação em W/m^2
28 H=[0:500:1500];
29
30 Vo1=(1/k).*(Ro.*(1+B.*Ts).*(U.*S.*(Ts-Ta1)-alpha.*S.*H)).^(1/2);
31 Vo2=(1/k).*(Ro.*(1+B.*Ts).*(U.*S.*(Ts-Ta2)-alpha.*S.*H)).^(1/2);
32 Vo3=(1/k).*(Ro.*(1+B.*Ts).*(U.*S.*(Ts-Ta3)-alpha.*S.*H)).^(1/2);
33 Vo4=(1/k).*(Ro.*(1+B.*Ts).*(U.*S.*(Ts-Ta4)-alpha.*S.*H)).^(1/2);
34 Vo5=(1/k).*(Ro.*(1+B.*Ts).*(U.*S.*(Ts-Ta5)-alpha.*S.*H)).^(1/2);
35

```

```

36 plot(H,Vo1, '-bo',H,Vo2, '-rx',H,Vo3, '-k+',H,Vo4, '-gs',H,Vo5, '-yd');
37 h = legend('Ta=40°C', 'Ta=30 °C', 'Ta=20 °C', 'Ta=10 °C', 'Ta=0 °C ',5);
38 set(h, 'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da radiação do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante.

```

6  % Valores Constantes:
7
8  k= 0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
9  U=211.5; % Coeficiente de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
   W/(m^2*°C)
10 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
11 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
12 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
13 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação Solar Incidente m^2
14 Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, °C
15 R=30; %Valores das Resistência da Ponte de Wheatstone, ohms
16 To=323; % Temperatura do Termistor quando a sua Resistência é Ro
17
18 %Valores de Temperatura Ambiente:
19 Ta1=313;
20 Ta2=303;
21 Ta3=293;
22 Ta4=283;
23 Ta5=273;
24
25 figure(1); hold on; grid on;
26 xlabel('H [W/m^2]');
27 ylabel('Vo [V]');
28 title('Tensão de Saída x Radiação');
29
30 % Faixa de variação da radiação em W/m^2.
31 H=[0:500:1500];
32
33 Vo1=(1/k)*((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)).*(U.*S.*(Ts-Ta1)-
   alpha.*S.*H)).^(1/2));
34 Vo2=(1/k)*((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)).*(U.*S.*(Ts-Ta2)-
   alpha.*S.*H)).^(1/2));
35 Vo3=(1/k)*((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)).*(U.*S.*(Ts-Ta3)-
   alpha.*S.*H)).^(1/2));
36 Vo4=(1/k)*((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)).*(U.*S.*(Ts-Ta4)-
   alpha.*S.*H)).^(1/2));
37 Vo5=(1/k)*((Ro.*exp(B.*(1/Ts - 1./To)).*(U.*S.*(Ts-Ta5)-
   alpha.*S.*H)).^(1/2));
38
39 plot(H,Vo1, '-bo',H,Vo2, '-rx',H,Vo3, '-k+',H,Vo4, '-gs',H,Vo5, '-yd');
40 h = legend('Ta=313 K', 'Ta=303 K', 'Ta=293 K', 'Ta=283 K', 'Ta=273 K',5);

```

```
41 set(h, 'Interpreter')
```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da radiação do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante.

```
6 % Valores Constantes:
7
8 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor Termorresistivo com o
Ambiente, W/(m^2*°C)
9 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
10 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
11 a=0.9;% Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
12 S=20*10^-6; % Área do Sensor Termorresistivo sob Radiação Solar Incidente,
m^2
13 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor Termorresistivo, °C
14 E=12; % Amplitude do Pulso
15 R=100; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
16
17 %Valores de Temperatura Ambiente
18 Ta1=40;
19 Ta2=30;
20 Ta3=20;
21 Ta4=10;
22 Ta5=0;
23
24 figure(1); hold on; grid on;
25 xlabel('H [W/m^2]');
26 ylabel('Ciclo de Trabalho');
27 title('Ciclo de Trabalho x Radiação');
28
29 % Faixa de variação da radiação em W/m^2.
30 H=[0:500:1500];
31
32 variavell = Ro.*(1+B.*Ts)/(k^2*E^2);
33 Sigma1 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta1)- alpha.*S.*H);
34 Sigma2 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta2)- alpha.*S.*H);
35 Sigma3 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta3)- alpha.*S.*H);
36 Sigma4 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta4)- alpha.*S.*H);
37 Sigma5 = variavell.*(U.*S.*(Ts-Ta5)- alpha.*S.*H);
38
39 plot(H,Vo1, '-bo', H,Vo2, '-rx', H,Vo3, '-k+', H,Vo4, '-gs', H,Vo5, '-yd');
40 h = legend('Ta=40°C', 'Ta=30 °C', 'Ta=20 °C', 'Ta=10 °C', 'Ta=0 °C', 5);
41 set(h, 'Interpreter')
```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da radiação do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante.

```
6 % Valores Constantes:
7
8 k= 0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
9 U=211.5; % Coeficiente de Troca de Calor do Sensor com o Ambiente
   W/(m^2*°C)
10 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
11 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
12 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
13 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação Solar Incidente m^2
14 Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, °C
15 DeltaT=7;%(Ts-Ta)
16 To=323; % Temperatura do Termistor quando a sua Resistência é Ro
17 E=1.6; % Amplitude do Pulso
18
19 %Valores de Temperatura Ambiente
20 Ta1=313;
21 Ta2=303;
22 Ta3=293;
23 Ta4=283;
24 Ta5=273;
25
26 figure(1); hold on; grid on;
27 xlabel('H [W/m^2]');
28 ylabel('Ciclo de Trabalho');
29 title('Ciclo de Trabalho x Radiação');
30
31 % Faixa de variação da radiação em W/m^2.
32 H=[0:500:1500];
33
34 variavell = Ro*exp(B*(1/Ts -1/To))/((k^2)*(E^2));
35 Sigma1 = variavell*(U*S*(Ts-Ta1)- alpha*S*H);
36 Sigma2 = variavell*(U*S*(Ts-Ta2)- alpha*S*H);
37 Sigma3 = variavell*(U*S*(Ts-Ta3)- alpha*S*H);
38 Sigma4 = variavell*(U*S*(Ts-Ta4)- alpha*S*H);
39 Sigma5 = variavell*(U*S*(Ts-Ta5)- alpha*S*H);
40
41 plot(H,Sigma1, '-bo', H,Sigma2, '-rx', H,Sigma3, '-k+', H,Sigma4, '-
   gs', H,Sigma5, '-yd');
42 h = legend('Ta=313 K', 'Ta=303 K', 'Ta=293 K', 'Ta=283 K', 'Ta=273 K',);
43 set(h, 'Interpreter')
```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da radiação do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante.

```
6  % Valores Constantes:
7
8  U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor com o Ambiente,
      W/(m^2*°C)
9  Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
10 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
11 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
12 S=20*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação Solar Incidente, m^2
13 Ts=50; % Temperatura do Sensor Aquecido, °C
14 deltaT=7; % °C (Ts-Ta)
15 R=100; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
16
17 %Valores de Temperatura Ambiente
18 Ta1=40;
19 Ta2=30;
20 Ta3=20;
21 Ta4=10;
22 Ta5=0;
23
24 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
25 H=[0:500:1500];
26
27 Vo1=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta1+deltaT)))))+
      (R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta1+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H)).^(1/2);
28 Vo2=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta2+deltaT)))))+
      (R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta2+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H)).^(1/2);
29 Vo3=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta3+deltaT)))))+
      (R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta3+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H)).^(1/2);
30 Vo4=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta4+deltaT)))))+
      (R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta4+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H)).^(1/2);
31 Vo5=(2.*R+(Ro.*(1+(B.*(Ta5+deltaT)))))+
      (R.^2/Ro.*(1+(B.*(Ta5+deltaT))))*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H)).^(1/2);
32
33 figure(1); hold on; grid on;
34 xlabel('H [W/m^2]');
35 ylabel('Vo [V]');
36 title('Tensão de Saída x Radiação');
37
38 plot(H,Vo1,'-bo',H,Vo2,'-rx',H,Vo3,'-k+',H,Vo4,'-gs',H,Vo5,'-yd');
39 h = legend('Ta=40 °C','Ta=30 °C','Ta=20 °C','Ta=10 °C','Ta=0 °C',5);
40 set(h,'Interpreter')
```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída analógica em função da radiação do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante.

```
6  % Valores Constantes:
7
8  U=211.5; % Coeficiente de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
    W/(m^2*°C)
9  Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
10 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
11 a=0.9;% Coeficiente de Absorção do Termistor
12 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob radiação Incidente, m^2
6  Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, K
13 deltaT=7; % K (Ts-Ta)
14 R=30; % Valores das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
15 To=323; % Temperatura do Termistor em que a Resistência é Ro, K
16
17 %Valores de Temperatura Ambiente, K
18 Ta1= 313;
19 Ta2= 303;
20 Ta3= 293;
21 Ta4= 283;
22 Ta5= 273;
23
24 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
25 H=[0:500:1500]
26
27 Vo1=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta1+deltaT)-
    1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta1+deltaT)-
    1./(To))))).*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H));
28 Vo2=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta2+deltaT)-
    1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta2+deltaT)-
    1./(To))))).*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H));
29 Vo3=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta3+deltaT)-
    1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta3+deltaT)-
    1./(To))))).*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H));
30 Vo4=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta4+deltaT)-
    1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta4+deltaT)-
    1./(To))))).*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H));
31 Vo5=sqrt((2*R+(Ro.*exp(B.*(1./(Ta5+deltaT)-
    1./(To)))))+(R.^2./Ro.*exp(B.*(1./(Ta5+deltaT)-
    1./(To))))).*(U.*S.*(deltaT)-a.*S.*H));
32
33 figure(1); hold on; grid on;
34 xlabel('H[W/m^2]');
35 ylabel('Vo[V]');
36 title('Tensão de Saída x Radiação');
37
38 plot(H,Vo1,'-bo',H,Vo2,'-rx',H,Vo3,'-k+',H,Vo4,'-gs',H,Vo5,'-yd');
```

```

39 h = legend('Ta=313 K', 'Ta=303 K', 'Ta=293 K', 'Ta=283 K', 'Ta=273 K');
40 set(h, 'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da radiação do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante.

```

7  % Valores Constantes:
8
9  U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor Termorresistivo com o
    Ambiente, W/(m^2*°C)
10 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
11 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
12 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor
13 S=20*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação Solar Incidente m^2
14 Ts=50; % Temperatura do Sensor Termorresistivo Aquecido, °C
15 DeltaT=7; % °C (Ts-Ta)
16 R=100; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
17 E=3.8; % Amplitude de Pulso
18
19 %Valores de Temperatura Ambiente °C.
20 Ta1=40;
21 Ta2=30;
22 Ta3=20;
23 Ta4=10;
24 Ta5=0;
25
26 % Faixa de variação da radiação em W/m^2
27 H=[0:500:1500];
28
29 Sigma1
    =1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta1+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta1+DeltaT)))*(U*
    S*DeltaT-a*S*H);
30 Sigma2
    =1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta2+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta2+DeltaT)))*(U*
    S*DeltaT-a*S*H);
31 Sigma3
    =1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta3+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta3+DeltaT)))*(U*
    S*DeltaT-a*S*H);
32 Sigma4
    =1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta4+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta4+DeltaT)))*(U*
    S*DeltaT-a*S*H);
33 Sigma5
    =1./E.^2.*(2.*R+Ro.*(1+B.*(Ta5+DeltaT))+R.^2./Ro.*(1+B.*(Ta5+DeltaT)))*(U*
    S*DeltaT-a*S*H);
34
35 figure(1); hold on; grid on;
36 xlabel('H [W/m^2]');
37 ylabel('Ciclo de Trabalho');

```



```

38 title('Ciclo de Trabalho x Radiação');
39
40 plot(H,Sigma1,'-bo',H,Sigma2,'-rx',H,Sigma3,'-k+',H,Sigma4,'-
gs',H,Sigma5,'-yd');
41 h = legend('Ta=40 °C','Ta=30 °C','Ta=20 °C','Ta=10 °C','Ta=0 °C');
42 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da dependência da saída pulsada em função da radiação do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 U=211.5; % Coeficiente de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
9 Ro=30; % Resistência do Termistor na temperatura To, ohms
10 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
11 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
12 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação Solar Incidente, m^2
13 Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, K
14 E=1; % Amplitude de Pulso
15 DeltaT=7;%(Ts-Ta)
16 R=30; % Valor das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
17 To=323; % Temperatura do Termistor quando a sua Resistência é Ro, K
18
19 %Valores de Temperatura Ambiente em K
20 Ta1=273;
21 Ta2=283;
22 Ta3=303;
23 Ta4=293;
24 Ta5=313;
25
26 % Faixa de variação da radiação em W/m^2.
27 H=[0:500:1500];
28
29 Sigma1=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta1+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta1+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H);
30 Sigma2=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta2+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta2+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H);
31 Sigma3=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta3+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta3+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H);
32 Sigma4=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta4+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta4+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H);
33 Sigma5=1./E.^2.*(2.*R+(Ro.*exp (B.*(1./(Ta5+DeltaT)-
1./(To))))+R.^2./(Ro.*exp (B.*(1./(Ta5+DeltaT)-1./(To)))))*(U*S*DeltaT-
a*S*H);

```

```

34 figure(2); hold on; grid on;
35 xlabel('H [W/m^2]');
36 ylabel('Ciclo de Trabalho');
37 title('Ciclo de Trabalho x Radiação');
38
39 plot(H,Sigma1, '-bo',H,Sigma2, '-rx',H,Sigma3, '-k+',H,Sigma4, '-
gs',H,Sigma5, '-yd');
40 h = legend('Ta=313 K', 'Ta=303 K', 'Ta=293 K', 'Ta=283 K', 'Ta=273');
41 set(h, 'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante em saída analógica.

```

18 % Valores Constantes:
19
20 k=0.5; %Coeficiente referente à (Rs/Rs+R)
21 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor Termorresistivo com o
Ambiente W/(m^2*°C)
22 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0 °C, ohms
23 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
24 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
25 S=20*10^-6; % Área do Sensor Termorresistivo sob Incidência de Radiação,
m^2
26 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor Termorresistivo, °C
27 E=12; % Amplitude de Pulso
28
29 % Valores de Radiação em W/m^2
30 H1=1500;
31 H2=1000;
32 H3=500;
33 H4=100;
34 H5=0;
35
36 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
37 Ta=[-20:5:40];
38
39 Sensib1= -(a.*S.*H1)./(2.*k.*E).*((Ro.*(1+B.*Ts))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H1)).^1./2);
40 Sensib2= -(a.*S.*H2)./(2.*k.*E).*((Ro.*(1+B.*Ts))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H2)).^1./2);
41 Sensib3= -(a.*S.*H3)./(2.*k.*E).*((Ro.*(1+B.*Ts))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H3)).^1./2);
42 Sensib4= -(a.*S.*H4)./(2.*k.*E).*((Ro.*(1+B.*Ts))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H4)).^1./2);
43 Sensib5= -(a.*S.*H5)./(2.*k.*E).*((Ro.*(1+B.*Ts))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H5)).^1./2);
44
45 figure(1); hold on; grid on;

```

```

46 xlabel('Ta [°C]');
47 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dVo/dH * H/E]');
48 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
49 plot(Ta,Sensib1,'-bo',Ta,Sensib2,'-rx',Ta,Sensib3,'-k+',Ta,Sensib4,'-
gs',Ta,Sensib5,'-yd');
50 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2',5);
51 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante em saída analógica.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 k=0.5;% Constante Referente à (Rs/Rs+R)
9 U=211.5; % Coeficiente de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente,
W/(m^2*°C)
10 Ro=30; % Resistência do Termistor na Temperatura To, ohms
11 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
12 a=0.9;% Coeficiente de Absorção do Termistor
13 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Incidência de Radiação, m^2
14 Ts=323; % Temperatura do Termistor Aquecido, K
15 To=323; % Temperatura do Termistor na Resistência Ro, K
16 E=1.6; % Amplitude de Pulso
17
18 % Valores de Radiação em W/m^2
19 H1=1500;
20 H2=1000;
21 H3=500;
22 H4=100;
23 H5=0;
24
25 % Faixa de variação da temperatura ambiente em K.
26 Ta=[253:5:313];
27
28 variavel=1./(Ts)-1./(To)
29
30 Sensib1= -(a.*S.*H1)./(2.*k.*E).*((Ro.*exp(B.*variavel))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H1).^1./2);
31 Sensib2= -(a.*S.*H2)./(2.*k.*E).*((Ro.*exp(B.*variavel))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H2).^1./2);
32 Sensib3= -(a.*S.*H3)./(2.*k.*E).*((Ro.*exp(B.*variavel))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H3).^1./2);
33 Sensib4= -(a.*S.*H4)./(2.*k.*E).*((Ro.*exp(B.*variavel))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H4).^1./2);
34 Sensib5= -(a.*S.*H5)./(2.*k.*E).*((Ro.*exp(B.*variavel))./(U.*S.*(Ts-Ta)-
a.*S.*H5).^1./2);
35
36 figure(1); hold on; grid on;

```

```

37 xlabel('Ta [K]');
38 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dVo/dH * H/E]');
39 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
40 plot(Ta,Sensib1,'-bo',Ta,Sensib2,'-rx',Ta,Sensib3,'-k+',Ta,Sensib4,'-
gs',Ta,Sensib5,'-yd');
41 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2',5);
42 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à temperatura constante em saída pulsada.

```

18 % Valores Constantes:
19
20 k=0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
21 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor com o Ambiente,
W/(m^2*°C),
22 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
23 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
24 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
25 S=20*10^-6; % Área do Sensor Termorresistivo sob Radiação m^2
26 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor Termorresistivo, °C
27 E=12; % Amplitude de Pulso
28 To=50;% Temperatura do Sensor Termorresistivo na Resistência Ro, K
29
30 % Valores de Radiação em W/m^2
31 H1=1500;
32 H2=1000;
33 H3=500;
34 H4=100;
35 H5=0;
36
37 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
38 Ta=[-20:0.2:40];
39
40 variavel= Ro.*(1+(B.*Ts));
41
42 Sensib1= -(a.*S.*H1./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*(1+(B.*Ts));
43 Sensib2= -(a.*S.*H2./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*(1+(B.*Ts));
44 Sensib3= -(a.*S.*H3./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*(1+(B.*Ts));
45 Sensib4= -(a.*S.*H4./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*(1+(B.*Ts));
46 Sensib5= -(a.*S.*H5./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*(1+(B.*Ts));
47
48 figure(1); hold on; grid on;
49 xlabel('Ta [°C]');
50 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dSigma/dH * H/E]');
51 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');

```

```

52 plot(Ta,Sensib1,'-bo',Ta,Sensib2,'-rx',Ta,Sensib3,'-k+',Ta,Sensib4,'-
gs',Ta,Sensib5,'-yd');
53 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100
W/m^2','H=0 W/m^2');
54 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo da referente à simulação da sensibilidade relativa do termistor NTC
na arquitetura de aquecimento à temperatura constante em saída pulsada.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 k=0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
9 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
10 Ro=30; % Resistência do Termistor em To, ohms
11 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
12 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
13 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação, m^2
14 Ts=323; % Temperatura de Aquecimento do Termistor equivalente a 50°C, K
15 E=1.6; % Amplitude de Pulso
16 To=323;% Temperatura do Termistor na Resistência Ro, K
17
18 % Valores de Radiação em W/m^2
19 H1=1500;
20 H2=1000;
21 H3=500;
22 H4=100;
23 H5=0;
24
25 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
26 Ta=[253:2:313];
27
28 variavel= 1./(Ts)-1./(To);
29
30 Sensib1= -(a.*S.*H1./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*exp(variavel);
31 Sensib2= -(a.*S.*H2./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*exp(variavel);
32 Sensib3= -(a.*S.*H3./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*exp(variavel);
33 Sensib4= -(a.*S.*H4./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*exp(variavel);
34 Sensib5= -(a.*S.*H5./((k.^2).*E.^2)).*Ro.*exp(variavel);
35
36 figure(1); hold on; grid on;
37 xlabel('Ta [K]');
38 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dSigma/dH * H/E]');
39 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
40 plot(Ta,Sensib1,'-bo',Ta,Sensib2,'-rx',Ta,Sensib3,'-k+',Ta,Sensib4,'-
gs',Ta,Sensib5,'-yd');
41 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2');
42 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do sensor termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante em saída analógica.

```
18 % Valores Constantes:
19
20 k=0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
21 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor Termorresistivo com o
    Ambiente W/(m^2*°C)
22 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
23 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
24 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
25 S=20*10^-6; % Área do Sensor Termorresistivo sob Radiação m^2
26 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor Termorresistivo, °C
27 To=50; % Temperatura do Sensor Termorresistivo na Resistência Ro, °C
28 deltaT=7; % (Ts-Ta)
29 E=12; % Amplitude de Pulso
30
31 % Valores de Radiação em W/m^2
32 H1=1500;
33 H2=1000;
34 H3=500;
35 H4=100;
36 H5=0;
37
38 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
39 Ta=[-20:5:40];
40
41 variavel1= (Ro.*(1+B.*(Ta+deltaT)));
42
43 Sensibilidade1= -
    (a.*S.*H1./2.*(variavel1./(variavel1)+R)).*E.*sqrt((variavel1./(U.*S.
    *deltaT-a.*S.*H1)));
44 Sensibilidade2= -
    (a.*S.*H2./2.*(variavel1./(variavel1)+R)).*E.*sqrt((variavel1./(U.*S.
    *deltaT-a.*S.*H2)));
45 Sensibilidade3= -
    (a.*S.*H3./2.*(variavel1./(variavel1)+R)).*E.*sqrt((variavel1./(U.*S.
    *deltaT-a.*S.*H3)));
46 Sensibilidade4= -
    (a.*S.*H4./2.*(variavel1./(variavel1)+R)).*E.*sqrt((variavel1./(U.*S.
    *deltaT-a.*S.*H4)));
47 Sensibilidade5= -
    (a.*S.*H5./2.*(variavel1./(variavel1)+R)).*E.*sqrt((variavel1./(U.*S.
    *deltaT-a.*S.*H5)));
48
49 figure(1); hold on; grid on;
50 xlabel('Ta [°C]');
```

```

51 ylabel('Sensibilidade Relativa (%)      [dVo/dH * H/E]');
52 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
53 plot(Ta,Sensibilidade1,'-bo',Ta,Sensibilidade2,'-
rx',Ta,Sensibilidade3,'-k+',Ta,Sensibilidade4,'-gs',Ta,Sensibilidade5,'-
yd');
54 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100
W/m^2','H=0 W/m^2');
55 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante em saída analógica.

```

6  % Valores Constantes:
7
8  k=0.5; % Coeficiente referente à (Rs/R+Rs)
9  U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
10 Ro=30; % Resistência do Termistor em To, ohms
11 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
12 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
13 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação, m^2
14 Ts=323; % Temperatura de Aquecimento do Termistor, K
15 To=323;% Temperatura do Termistor na Resistência Ro, K
16 deltaT=7; % (Ts-Ta)
17 E=12; % Amplitude de Pulso
18 R=30; % Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
19
20
21 % Valores de Radiação em W/m^2
22 H1=1500;
23 H2=1000;
24 H3=500;
25 H4=100;
26 H5=0;
27
28 % Faixa de variação da temperatura ambiente em K
29 Ta=[253:5:313];
30
31 variavell= (Ro.*exp(B.*((Ta+deltaT).^-1)-1./To));
32
33 Sensibilidade1= -
(a.*S.*H1./2.*((variavell)./(variavell)+R)).*E.*sqrt((variavell)./(U.*S.*
deltaT-a.*S.*H1));
34 Sensibilidade2= -
(a.*S.*H2./2.*((variavell)./(variavell)+R)).*E.*sqrt((variavell)./(U.*S.*
deltaT-a.*S.*H2));

```

```

35 Sensibilidade3= -
    (a.*S.*H3./2.*((variavell1)./(variavell1)+R)).*E.*sqrt((variavell1)./(U.*S.*
    deltaT-a.*S.*H3));
36 Sensibilidade4= -
    (a.*S.*H4./2.*((variavell1)./(variavell1)+R)).*E.*sqrt((variavell1)./(U.*S.*
    deltaT-a.*S.*H4));
37 Sensibilidade5= -
    (a.*S.*H5./2.*((variavell1)./(variavell1)+R)).*E.*sqrt((variavell1)./(U.*S.*
    deltaT-a.*S.*H5));
38
39 figure(1); hold on; grid on;
40 xlabel('Ta [K]');
41 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dVo/dH * H/E]');
42 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
43 plot(Ta,Sensibilidade1,'-bo',Ta,Sensibilidade2,'-rx',Ta,Sensibilidade3,'-
    k+',Ta,Sensibilidade4,'-gs',Ta,Sensibilidade5,'-yd');
44 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
    W/m^2');
45 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do sensor
termorresistivo PTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura
constante em saída pulsada.

```

6 % Valores Constantes:
7
8 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Sensor com o Ambiente
    W/(m^2*°C)
9 Ro=100; % Resistência do Sensor Termorresistivo à 0°C, ohms
10 B=0.00385; % Coeficiente de Temperatura do Sensor Termorresistivo, °C^-1
11 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Sensor Termorresistivo
12 S=20*10^-6; % Área do Sensor sob Radiação m^2
13 Ts=50; % Temperatura de Aquecimento do Sensor °C
14 E=3.8; %Amplitude do Sinal
15 To=50;% Temperatura do Sensor na Resistência Ro, °C
16 deltaT=7; %(Ts-Ta)
17 R=100;%Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
18
19 % Valores de Radiação em W/m^2
20 H1=1500;
21 H2=1000;
22 H3=500;
23 H4=100;
24 H5=0;
25
26 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.
27 Ta=[-20:5:40];
28
29 variavell1= (Ro.*(1+B.*(deltaT+Ta)));

```



```

30
31 Sensibilidade1= -
  ((a.*S.*H1./(((variavell1)./((variavell1)+R)).^2)).*E.^2).*(variavell1);
32 Sensibilidade2= -
  ((a.*S.*H2./(((variavell1)./((variavell1)+R)).^2)).*E.^2).*(variavell1);
33 Sensibilidade3= -
  ((a.*S.*H3./(((variavell1)./((variavell1)+R)).^2)).*E.^2).*(variavell1);
34 Sensibilidade4= -
  ((a.*S.*H4./(((variavell1)./((variavell1)+R)).^2)).*E.^2).*(variavell1);
35 Sensibilidade5= -
  ((a.*S.*H5./(((variavell1)./((variavell1)+R)).^2)).*E.^2).*(variavell1);
36
37 figure(1); hold on; grid on;
38 xlabel('Ta [°C]');
39 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dSigma/dH * H/E]');
40 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
41 plot(Ta,Sensibilidade1,'-bo',Ta,Sensibilidade2,'-rx',Ta,Sensibilidade3,'-
k+',Ta,Sensibilidade4,'-gs',Ta,Sensibilidade5,'-yd');
42 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2');
43 set(h,'Interpreter')

```

Algoritmo referente à simulação da sensibilidade relativa do termistor NTC na arquitetura de aquecimento à diferença de temperatura constante em saída pulsada.

```

6 % Valores Constantes:
7 U=211.5; % Constante de Troca de Calor do Termistor com o Ambiente
W/(m^2*°C)
8 Ro=30; % Resistência do Termistor à temperatura To, ohms
9 B=3100; % Coeficiente de Temperatura do Termistor, K
10 a=0.9; % Coeficiente de Absorção do Termistor
11 S=1.28*10^-6; % Área do Termistor sob Radiação, m^2
12 Ts=323; % Temperatura de Aquecimento do Termistor, K
13 E=1; % Amplitude de Pulso
14 To=323;% Temperatura do Termistor na Resistência Ro, K
15 deltaT=7; %(Ts-Ta)
16 R=30; % Valores das Resistências da Ponte de Wheatstone, ohms
17
18 % Valores de Radiação em W/m^2
19 H1=1500;
20 H2=1000;
21 H3=500;
22 H4=100;
23 H5=0;
24
25 % Faixa de variação da temperatura ambiente em °C.

```

```

26 Ta=[253:5:313];
27
28
29 variavell1= (Ro.*exp(B.*((Ta+deltaT).^-1)-1./To))
30
31 Sensibilidade1= -
(a.*S.*H1./((variavell1)./((variavell1)+R)).^2.*E.^2).*variavell1);
32 Sensibilidade2= -
(a.*S.*H2./((variavell1)./((variavell1)+R)).^2.*E.^2).*variavell1);
33 Sensibilidade3= -
(a.*S.*H3./((variavell1)./((variavell1)+R)).^2.*E.^2).*variavell1);
34 Sensibilidade4= -
(a.*S.*H4./((variavell1)./((variavell1)+R)).^2.*E.^2).*variavell1);
35 Sensibilidade5= -
(a.*S.*H5./((variavell1)./((variavell1)+R)).^2.*E.^2).*variavell1);
36
37
38 figure(1); hold on; grid on;
39 xlabel('Ta [K]');
40 ylabel('Sensibilidade Relativa (%) [dSigma/dH * H/E]');
41 title('Sensibilidade Relativa x Temperatura Ambiente');
42 plot(Ta,Sensibilidade1,'-bo',Ta,Sensibilidade2,'-rx',Ta,Sensibilidade3,'-
k+',Ta,Sensibilidade4,'-gs',Ta,Sensibilidade5,'-yd');
43 h = legend('H=1500 W/m^2','H=1000 W/m^2','H=500 W/m^2','H=100 W/m^2','H=0
W/m^2');
44 set(h,'Interpreter')

```