

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**PROGRAMA DE PÓS -GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMA COMPUTADORIZADO PARA
VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE EM
INCUBADORAS NEONATAIS**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

NESTOR AGOSTINI

Florianópolis, setembro de 2003.

SISTEMA COMPUTADORIZADO PARA VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE EM INCUBADORAS NEONATAIS

Nestor Agostini

‘Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração no Instituto de Engenharia Biomédica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós -Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

Prof. Raimes Moraes, Ph. D.
Orientador

Prof. Edson Roberto de Pieri, Dr.
Coordenador do Programa de Pós -Graduação em Engenharia Elétrica

Prof. Raimes Moraes, Ph. D.
Presidente

Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr.
Membro da banca

Prof. Fernanda Isabel Marques Argoud , Dra.
Membro da banca

Prof. Saulo Güths, Dr.
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa, Elisabeth, pela paciência que teve neste tempo em que, por várias vezes tive que permanecer fora de casa para a realização deste trabalho.

Ao professor Raimes Moraes por ter acreditado na minha capacidade em realizar este trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica por terem compreendido as dificuldades de quem se propõe a realizar um trabalho deste tipo sem dispor de todo o tempo que seria necessário.

Resumo da dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

SISTEMA COMPUTADORIZADO PARA VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE EM INCUBADORAS NEONATAIS

Nestor Agostini

Setembro/2003

Orientador - Prof. Raimés Moraes, Ph. D.

Área de concentração - Instituto de Engenharia Biomédica

Palavras -chave - Incubadora neonatal, Engenharia clínica

Número de Páginas - 01 (Uma)

O presente trabalho aborda o desenvolvimento e a implementação de um sistema de medição de grandezas físico-ambientais em incubadoras neonatais, cuja finalidade é verificar a conformidade ou não destas grandezas, em relação às exigências médicas de segurança, citadas na norma técnica NBR IEC601 -2 -19.

O sistema consiste de um microcomputador do tipo PC, de um conjunto de sensores instalados em um suporte adequado e de um software, que denominamos de SENINC (Sistema de Ensaio em Incubadoras) instalado. A amostragem dos sinais pode ser programada, sendo que o software informa antes do início do ensaio se há ou não capacidade de memória disponível para o armazenamento dos dados.

Ao final do teste é emitido um relatório contendo todas as informações referentes as medições efetuadas. Este relatório informa eventuais valores não conformes com a norma técnica e outras ocorrências anormais que, porventura, possam ocorrer durante o ensaio, tais como, sensores que não respondem, interrupção do recebimento das informações.

Os resultados obtidos demonstram o potencial que este trabalho possui de ser utilizado em locais onde são existem incubadoras (hospitais, oficinas de manutenção, etc) a fim de verificar sua funcionalidade.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for de degree of Master in Electrical Engineering.

SYSTEM COMPUTERIZED FOR VERIFICATION OF FUNCIONALITY IN NEONATE INCUBATORS

Nestor Agostini

September/2003

Advisor - Prof. Raimes Moares, Ph. D.

Area of Concentration - Biomedical Engineering Institute

Keyword - Neonate incubator, Tests in neonate incubators

Number of pages - 01 (One)

The present work approaches the development and the implementation of a system of measurement of physical parameters in neonate incubators, whose purpose is to verify the conformity of ambient characteristics in incubators, with respect to the medical requirements safety, cited on the technics norm NBR IEC 601 -2 -19.

The system consists of a PC microcomputer with SENINC software installed and a set of sensors that measure the temperature, the humidity and the ventilation inside of the neonate incubators.

The system has, also, a device of positioning of the sensors inside of the incubator, that it guarantees the correct position of the sensors, as specified in the technical norm.

The sampling of the signals can be programmed, in this case the software informs before the beginning of the test if it has or not capacity of available memory to storage the data.

After the test, the results of measurements are emitted in a report that contains the obtained information. This report informs eventual not conformity values with the technical norm and other occurrences that can be occurred during the test, such as, sensors not responding, interruption in the reception of information. The system also makes possible the graphical accompaniment, in the screen of the PC, in the course of the measurements.

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo do trabalho	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Organização do trabalho	3
2. Fundamentação teórica.....	4
2.1. Metabolismo dos recém nascidos	4
2.1.1. Termorregulação em recém nascidos	5
2.1.2. Transferência de calor entre o recém nascido e o ambiente.....	7
2.2. Grandezas a serem medidas em incubadoras	9
2.2.1. Temperatura.....	9
2.2.2. Umidade	12
2.2.3. Ventilação.....	14
2.3. Descrição da incubadora.....	16
3. Especificações técnicas para medição de grandezas ambientais em incubadoras neonatais.....	19
3.1. Norma NBR IEC 601 -2 -19.....	19
3.2. Requisitos para medição da temperatura.....	21
3.3. Requisitos para medição da umidade	25
3.4. Requisitos para medição da velocidade do fluxo de ar	25
3.5. Terminologia da NBR IEC 601-2-19	26
4. Especificações do sistema desenvolvido	27
4.1. A interface <i>I -Wire</i>	28
4.2. Medição da temperatura	31
4.3. Medição da umidade relativa.....	35
4.4. Medição da velocidade do fluxo de ar.....	37
4.5. Software do sistema.....	40
5. Calibração dos sensores.....	47
5.1. Sensores de temperatura	47

5.2. Sensor de umidade.....	49
5.3. Sensor de deslocamento do ar	51
6. Resultados obtidos.....	56
7. Discussão e conclusões.....	59
Apêndice A1. Requisitos do microcomputador para a execução do software SENINC	62
Apêndice A2. Uso do software SENINC	62
A2.1. Tela principal.....	62
A2.2. Tela de acompanhamento gráfico.....	65
Apêndice A3. Informações do arquivo gerado	66
Apêndice A4. Arquivos gerados em dois ensaios de incubadoras Realizados em um hospital.....	67
Apêndice A5. Algoritmo CRC para correção de erros de transmissão de dados	71
Apêndice A6. Especificações técnicas do sistema desenvolvido	74
8. Bibliografia.....	76

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 - Perdas térmicas em recém -nascidos para três temperaturas diferentes	8
Tabela 2.2 - Temperatura aproximada do ar no interior da incubadora para recém -nascidos prematuros com umidade relativa de, no mínimo, 30%	9
Tabela 2.3 - Pressão parcial do vapor da água para diferentes temperaturas	13
Tabela 3.1 - Requisitos para medição de temperatura em incubadoras.....	23
Tabela 3.2 - Requisito para medição de umidade em incubadoras	25
Tabela 3.3 - Requisito para medição de velocidade do fluxo de ar em incubadoras	26
Tabela 3.4 - Definições da terminologia utilizada.....	26
Tabela 4.1 - Conteúdo do código serial do protocolo <i>1 -Wire</i>	29
Tabela 4.2 - Famílias dos componentes <i>1 -Wire</i> utilizados neste trabalho	29
Tabela 4.3 - Características do sensor de temperatura DS18S20	32
Tabela 4.4 - Características do DS2438 como sensor de temperatura	32
Tabela 4.5 - Características do DS2438 como conversor analógico digital.....	33
Tabela 4.6 - Pinagem dos conectores RJ 45	34
Tabela 4.7 - Pinagem do sensor DS18S20	34
Tabela 4.8 - Pinagem do sensor DS2438.....	35
Tabela 4.9 - Características do sensor de umidade HIH -3610	35
Tabela 4.10 - Dados de calibração do sensor HIH3610 utilizado neste trabalho	36
Tabela 4.11 - Pinagem do sensor HIH -3610	37
Tabela 4.12 – Características do termistor utilizado	39
Tabela 4.13 - Pinagem do amplificador de instrumentação INA332	40
Tabela 5.1 - Dados experimentais obtidos para calibração dos Sensores temperatura.....	48
Tabela 5.2 - Características do anemômetro TA5	51
Tabela A4.1 - Formação da seqüência binária para o número CRC	71

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 - Princípio de funcionamento dos termopares. A junção B é a de referência. A é a junção de medição.....	10
Figura 2.2 - Curvas características de variação da resistência em função da temperatura nos termistores	11
Figura 2.3 – Ilustração das principais estruturas de uma incubadora neonatal.....	16
Figura 2.4 - Curva da energia entregue para aquecimento de incubadoras com sistema proporcional de aquecimento.....	18
Figura 3.1 - Posição dos sensores para medição da temperatura recomendados pela NBR IEC 601 -2 -19	22
Figura 3.2 - Temperaturas nas incubadoras.....	25
Figura 4.1 - Diagrama de blocos do sistema desenvolvido	27
Figura 4.2 - Diagrama esquemático do sistema proposto.....	28
Figura 4.3 - Seqüência de comunicação <i>I -Wire</i>	31
Figura 4.4 - Esquema elétrico do circuito para medição da temperatura com o sensor DS18S20.....	33
Figura 4.5 - Esquema elétrico circuito para medição de temperatura com o sensor DS2438.....	34
Figura 4.6 - Esquema elétrico do circuito para medição da umidade relativa do ar	36
Figura 4.7 - Esquema elétrico do princípio de funcionamento da medição da velocidade do ar utilizando anemometria térmica	37
Figura 4.8 – Esquema elétrico do circuito para medição da velocidade do fluxo de ar dentro das incubadoras.....	39
Figura 4.9 - Diagrama de blocos do software SENINC	40
Figura 4.10 - Processo de decisão nas mudanças de temperatura	42
Figura 4.11 - Fluxograma da seqüência do ensaio	46
Figura 5.1 – Pontos experimentais obtidos com o Sensor A e a reta de regressão linear	48

Figura 5.2 - Tensão de saída em função da umidade relativa do ar	50
Figura 5.3 - Indicação do anemômetro em função da velocidade do ar à temperatura ambiente de 23,5°C	52
Figura 5.4 – Indicação do anemômetro em função da temperatura com ar parado (0 m/s).....	52
Figura 6.1 - Sistema montado durante o ensaio	56
Figura 6.2 - Sistema durante a aquisição de dados.....	57
Figura 6.3 - Tela de acompanhamento gráfico durante o ensaio.....	58
Figura A2.1 - Tela principal do SENINC.....	62
Figura A2.2 - Tela de plotagem dos gráficos no SENINC.....	65
Figura A4.1 - Implementação de um circuito com registradores de deslocamento para fazer a divisão pelo polinômio, $x^5 + x^4 + x^2 + 1$ e obter o CRC.....	73

1. INTRODUÇÃO

Os recém-nascidos prematuros, ou com baixo peso, possuem uma grande limitação na capacidade de regular sua temperatura corporal. Possuem uma tendência natural à hipotermia (esfriamento do corpo), com conseqüências graves, podendo levar à morte. A partir destas constatações procurou-se desenvolver dispositivos que auxiliem o recém-nascido na manutenção de sua temperatura corporal. Estes dispositivos são as incubadoras neonatais (AVERY & FLETCHER et al., 1994).

As incubadoras neonatais são equipamentos médicos-assistenciais destinados a gerar e manter um ambiente ideal para a manutenção da vida em recém-nascidos. Permite assim, um desenvolvimento mais saudável de recém-nascidos com baixo peso, prematuros ou com outras disfunções que justifiquem sua utilização. Para desempenhar tal tarefa, as incubadoras possuem um sistema de controle que monitora as grandezas ambientais envolvidas.

Quando novas, as incubadoras apresentam, geralmente, funcionamento adequado. No entanto, a verificação periódica da funcionalidade destas é desejável, haja vista que o desgaste natural de seus componentes pode acarretar danos aos recém-nascidos.

A fim de padronizar os ensaios que devem ser realizados em incubadoras, foi editada uma norma técnica, a NBR IEC 601-2-19, que, na sua Seção 8, apresenta os testes necessários que devem ser realizados para se verificar a funcionalidade destes dispositivos.

Analisando-se as exigências da norma NBR IEC 601-2-19, Seção 8, nota-se que, sem um sistema automatizado, é praticamente inviável realizar as medições necessárias. Seria necessário possuir seis termômetros, um anemômetro e um higrômetro, todos eles posicionados manualmente nos locais indicados pela norma. As medições de velocidade do fluxo de ar e de umidade relativa podem ser feitas, seguindo-se as prescrições da norma, sem dificuldades, pelo fato de serem feitas em apenas um local. No caso das medições de temperatura, tem-se a dificuldade de que os cinco sensores internos devem ser lidos ao mesmo tempo, em intervalos de tempo da ordem de segundos, durante 1 hora (prescrição da norma). Os dados obtidos precisam ser tabulados para o cálculo da temperatura média e para a verificação da uniformidade de temperatura na incubadora. Este é um trabalho muito difícil, em função da quantidade de leituras exigidas e da pouca confiabilidade dos resultados, em função de erros de leitura por parte do técnico.

A solução dos problemas inerentes a erros de leituras, motivou a pesquisa com o objetivo de se implementar um dispositivo de fácil manuseio que apresentasse resultados confiáveis. Dentre as várias alternativas possíveis, optou-se pela utilização de um PC para o processamento das informações, obtidas a partir de um conjunto de sensores eletrônicos posicionados nos locais indicados pela norma, dentro da incubadora.

No ano de 1999, um trabalho com objetivos semelhantes a este foi apresentado por Fábio Iaione (IAIONE, 1999). O desempenho técnico deste trabalho foi bastante satisfatório, porém, devido à utilização de um sistema microprocessado com resultados mostrados em tela de cristal líquido monocromática, houve uma certa dificuldade operacional na utilização do dispositivo. Foi a partir da experiência obtida com este primeiro trabalho que se decidiu pela realização de um dispositivo com objetivo semelhante, porém, solucionando problemas operacionais.

Para a implementação do aparelho foram desenvolvidos hardware e software próprios, que, devidamente interligados, constituem o sistema proposto .

Como critérios básicos para a escolha do método a ser utilizado para a implementação deste aparelho, utilizou-se a conformidade com a norma técnica e a praticidade.

1.1. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aparelho para verificação da funcionalidade de incubadoras neonatais, de acordo com a Seção 8 da norma NBR IEC 601-2-19 e sua emenda número 1, NBR IEC 60601.

1.2. JUSTIFICATIVA

Como justificativa para a realização deste trabalho apresenta-se:

- **a não disponibilidade de aparelhos deste tipo no mercado.** Até o momento, não se conhece nenhum fabricante no Brasil de sistema para avaliar a funcionalidade de incubadoras neonatais. No exterior há fabricantes, porém o custo do aparelho é elevado, o que o torna proibitivo para muitos hospitais e oficinas de manutenção;

- **a importância da realização destes ensaios.** Devido ao desgaste das incubadoras, pode ocorrer mau funcionamento do sistema de controle. Após serviços de manutenção é recomendado verificar-se a funcionalidade da incubadora, haja visto, que seu funcionamento inadequado pode ocasionar danos graves e até mesmo a morte do recém-nascido.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Quanto à apresentação do trabalho, o Capítulo 2 apresenta uma breve fundamentação teórica a respeito do metabolismo dos recém-nascidos e da influência das condições ambientais sobre os mesmos. No Capítulo 3, apresenta-se os requisitos da norma técnica NBR IEC 601-2-19, bem como as possíveis formas de realizar as medições. O Capítulo 4 apresenta a proposta para a implementação deste dispositivo, com descrição detalhada de como foi implementado. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios práticos feitos em incubadoras. Discussão a respeito dos resultados e conclusões são apresentadas no Capítulo 6.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este Capítulo apresenta conceitos a respeito do metabolismo dos recém-nascidos (a quem se destinam as incubadoras neonatais), das grandezas a serem medidas e, finalizando, descreve um modelo comercial de incubadora.

2.1. METABOLISMO DOS RECÉM-NASCIDOS

Os mamíferos adultos, incluindo os seres humanos, são homeotermos, ou seja, possuem a capacidade de manter sua temperatura corporal constante para uma ampla faixa de variação da temperatura ambiente. Os recém-nascidos também possuem esta mesma capacidade, mas com certas limitações a serem discutidas no decorrer deste trabalho.

Uma vez que o metabolismo humano está relacionado às condições ambientais, investigou-se qual seria o ambiente propício para manter o metabolismo do recém-nascido mais próximo do considerado ideal para a manutenção da vida e permitir seu desenvolvimento. Este ambiente ideal é conhecido como ambiente termoneutro.

O conceito de ambiente termoneutro pode ser enunciado como (AVERY et al., 1994): *“Conjunto de condições atmosféricas em que o recém-nascido é capaz de manter uma temperatura normal com um consumo mínimo de oxigênio e mínimas perdas calóricas, ou seja, onde há menos perda de energia do corpo do recém-nascido para o ambiente”*.

Este conjunto de condições ambientais depende de vários fatores, inerentes ao recém-nascido e ao ambiente (FANAROFF & MARTIN, 1997), sendo estes:

- tempo de gestação;
- peso;
- idade;
- condições de saúde;
- temperatura do ambiente;
- temperatura das superfícies radiantes próximas;
- umidade do ar;
- correntes de ar.

Para melhor entender a contribuição destes aspectos, as próximas seções abordam os mecanismos de troca de calor.

2.1.1. TERMORREGULAÇÃO EM RECÉM-NASCIDOS

A termorregulação neonatal é um dos mais importantes e desafiadores aspectos do conjunto de cuidados para com os recém-nascidos. Os recém-nascidos possuem uma forte tendência a perder calor, uma vez que eles ainda não possuem maturidade para evitar ou minimizar este efeito. Quando a perda de calor supera a produção ocorre, efetivamente, um esfriamento do corpo (PERLESTEIN, 1997).

As conseqüências da perda de calor excessiva (hipotermia) nos seres humanos são conhecidas pela comunidade médica e citadas na literatura da área, sendo as principais (AVERY et al., 1994):

- dificuldade em aumentar a massa corporal ou até perda de massa corporal: à medida que o recém-nascido perde os estoques de energia proporcionados pela glicose, não consegue aumentar seu peso;
- perda de apetite, respiração irregular;
- em casos graves, morte.

Os recém-nascidos, principalmente os prematuros e/ou os nascidos com baixo peso, possuem algumas características que os tornam susceptíveis a hipotermia. Como principais motivos, apresenta-se as seguintes causas (AVERY et al., 1994):

- **alta relação de superfície/volume:** esta relação depende do tamanho do recém-nascido e de sua massa corporal. Quanto menor o recém-nascido, maior é a relação superfície/volume e assim, maior é a perda de calor. A relação superfície/volume nos recém-nascidos é em torno de três vezes maior do que a de um adulto;
- **menor isolamento cutâneo:** a pele e os tecidos subcutâneos dos recém-nascidos são pouco espessos, proporcionando uma maior condução de calor do corpo para o ambiente;

- **controle vasomotor:** a transferência de calor para a pele é limitada através da vaso-constricção. A vaso-constricção, por sua vez, é controlada pelo sistema nervoso simpático, em resposta às variações da temperatura corporal interna e alterações da temperatura ambiente. Sempre que necessário, o sistema nervoso simpático determina um aumento da vaso-constricção, diminuindo a circulação sanguínea próxima à pele e, assim, reduz-se a perda de calor para o ambiente (GUYTON & HALL, 1997). Este mecanismo não é suficientemente desenvolvido em recém-nascidos, por isso eles não conseguem evitar a perda de calor utilizando-se deste expediente;
- **postura corporal:** a postura é uma maneira de se proteger do frio externo. Os mamíferos, para evitar a perda de calor do corpo, costumam assumir posturas que diminuem a superfície de exposição ao frio. O recém-nascido prematuro mantém todos os membros estendidos, não conseguindo se proteger através deste mecanismo.

O excesso de calor absorvido pelo corpo (hipertermia), embora raro, também produz efeitos indesejados. Este efeito pode ocorrer de forma natural, provocado por estados febris ou por exposição do corpo a fontes externas excessivas de calor (GUYTON & HALL, 1997).

Alguns efeitos do excesso de calor no corpo humano são (PERLESTEIN, 1997):

- apnéia;
- taquicardia;
- irritabilidade;
- perda de apetite.

Do exposto a respeito das conseqüências da termorregulação em recém-nascidos, percebe-se a importância do conhecimento das formas como o calor pode ser transferido entre corpos.

2.1.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR ENTRE O RECÉM-NASCIDO E O AMBIENTE

As maneiras pelas quais o calor transfere-se do recém-nascido para o ambiente, são as mesmas descritas pela termodinâmica e termometria:

- **condução:** ocorre no contato entre corpos com temperaturas diferentes. O corpo mais quente perde calor para o corpo mais frio, até que ambos atinjam o equilíbrio térmico, isto é, quando as temperaturas dos corpos tornam-se iguais (INCROPERA & DEWITT, 1998). No recém-nascido, o calor é transferido para os materiais que estão em contato: roupas, colchão e cobertas;
- **radiação:** está relacionada à energia liberada como resultado de transições dos elétrons entre as camadas de energia que compõem os átomos. Estas transições ocorrem devido à energia suprida pela temperatura do corpo. Para que algum material não emita energia por radiação, deve estar à temperatura zero absoluto (0 K ou $-273,16^{\circ}\text{C}$). Esta transferência de energia ocorre através de ondas eletromagnéticas com comprimento de onda de 0,1 a $100\mu\text{m}$ (região dos raios infravermelhos e parte dos ultravioleta) que são emitidas pela pele. O fluxo de energia é sempre do corpo com maior temperatura para o corpo com menor temperatura (INCROPERA & DEWITT, 1998);
- **convecção:** a rigor, a convecção é uma forma de transferência de calor por condução. O calor é transferido, por condução, dos órgãos internos do corpo, onde ele é produzido, para a superfície da pele. Da pele, é conduzido para os fluidos em contato com o corpo e, a partir daí, ocorre o fenômeno da convecção. Estes fluidos, em contato com corpo mais aquecido absorvem calor e ficam menos densos, elevando-se (correntes de convecção) e dando lugar a fluidos com temperatura mais baixa. Assim, o fluido continuamente entra em contato com o corpo mais aquecido e vai transferindo calor deste para o ambiente (SERWAY, 1996). A substituição do fluido nas proximidades do corpo mais aquecido pode ocorrer de duas maneiras: natural, neste caso a troca ocorre unicamente em função da variação da densidade; ou forçada, nesta situação a troca é acelerada através da ventilação. Nas

incubadoras a troca de calor ocorre de modo forçado. No recém-nascido, o mecanismo de perda de calor por convecção ocorre da mesma maneira exposta acima: o recém-nascido aquece o ambiente, originando correntes de convecção. A respiração também é um mecanismo de troca de calor por convecção com o ambiente: o recém-nascido inspira ar frio, que retira calor das paredes corporais internas e é expirado, transportando calor do recém-nascido para o ambiente (FANAROFF & MARTIN, 1997);

- **evaporação:** ocorre devido a evaporação de água do corpo do recém-nascido. A água absorve calor para evaporar (calor latente de evaporação) através das membranas do sistema respiratório, através da pele e pela excreção das glândulas sudoríparas (BATCH, 1997). Mesmo quando a pessoa não está transpirando, a água ainda se evapora imperceptivelmente a partir da pele e dos pulmões, na velocidade de cerca de 450 a 600 ml por dia. Considerando que um grama de água evaporada pelo calor produzido pelo corpo humano consome 0,58 kcal, isto determina uma perda contínua de 12 a 16 kcal/hora (GUYTON & HALL, 1997).

A Tabela 2.1 apresenta as perdas típicas de calor nas quatro modalidades apresentadas.

Tabela 2.1 - Perdas térmicas em recém-nascidos para três temperaturas ambientes (GORDON & AVERY, 1984)

Perdas térmicas (Kcal/m ² .h)	Temperatura ambiente		
	30°C	33°C	36°C
Radiação	19(43%)	12(40%)	7(24%)
Convecção	15(37%)	9(33%)	5(19%)
Evaporação	7(16%)	7(24%)	17(56%)
Condução	2(4%)	1(3%)	0(1%)
Total	43	29	29

Através de condução, radiação ou convecção é possível perder ou ganhar calor, de acordo com a diferença de temperatura existente entre os corpos. Através da evaporação, o calor sempre é perdido.

2.2. GRANDEZAS A SEREM MEDIDAS EM INCUBADORAS

As grandezas controladas pela incubadora são: temperatura, umidade e velocidade do ar. Nesta seção, discute-se o papel de cada uma no metabolismo do recém-nascido.

2.2.1. TEMPERATURA

A temperatura ideal para o corpo do recém-nascido tem sido alvo de muitas pesquisas. No entanto não há um consenso a respeito de qual deveria ser (PERLESTEIN, 1997).

A Tabela 2.2 constitui-se em uma orientação para determinar esta temperatura. Esta tabela considera o tempo de gestação e a idade pós-natal, para obtenção do ambiente termoneutro necessário ao recém-nascido.

Tabela 2.2- Temperatura aproximada do ar no interior da incubadora para recém-nascidos prematuros com umidade relativa de, no mínimo, 30%. (PERLESTEIN, 1997).

Período de gestação (Semanas)	Idade pós-natal (Semanas) – Temperatura em °C						
	1	2	3	4	5	6	7
25	38,0	37,7	37,5	37,2	36,9	36,6	36,3
26	37,7	37,4	37,1	36,8	36,6	36,3	36,0
27	37,3	37,1	36,8	36,5	36,2	35,9	35,7
28	37,0	36,7	36,4	36,2	35,9	35,6	35,3
29	36,7	36,4	36,1	35,8	35,5	35,3	35,0
30	36,3	36,0	35,8	35,5	35,2	34,9	34,6
31	36,0	35,7	35,4	35,1	34,9	34,6	34,3
32	35,6	35,4	35,1	34,8	34,5	34,2	34,0
33	35,3	35,0	34,7	34,5	34,2	33,9	33,6
34	35,0	34,7	34,4	34,1	33,8	33,6	33,3
35	34,6	34,3	34,1	33,8	33,5	33,2	32,9
36	34,3	34,0	33,7	33,4	33,2	32,9	32,6

Observando a Tabela 2.2, pode-se notar que a faixa de temperatura considerada ideal varia em vários graus centígrados, dependendo das condições do recém-nascido, o que determina sua importância no metabolismo.

Portanto, a temperatura deve ser controlada para assegurar o desenvolvimento do recém-nascido.

Apresenta-se a seguir, os sensores mais frequentemente empregados na determinação da temperatura:

- **termopar:** a temperatura é medida através de uma diferença de tensão originada na junção de dois metais diferentes posicionados em dois locais com temperaturas diferentes. Uma das junções é a de medição; a outra, a de referência (Figura 2.1). A junção de medição é colocada junto ao material cuja temperatura se quer medir enquanto a outra junção é colocada em um ambiente com temperatura conhecida. Quando existe diferença entre as temperaturas das duas junções, é gerada uma diferença de potencial entre as mesmas (Figura 2.1). O valor desta diferença de potencial relaciona-se à temperatura da junção de medição. Na prática, os sensores do tipo termopar são feitos de várias ligas de metais, de acordo com a faixa de temperatura que se deseja medir. Por exemplo: o termopar cobre/constantan é útil na faixa de -180°C a 400°C ; o platina/platina-ródio é utilizável na faixa de 0°C a 1500°C (SERWAY, 1996).

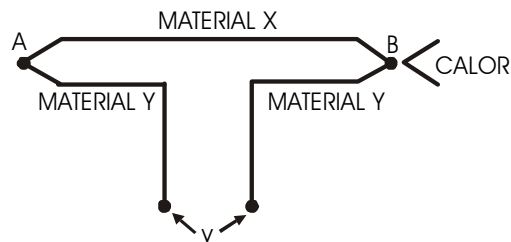


Figura 2.1 - Princípio de funcionamento dos termopares. A junção A é a de referência. B é a junção de medição

- **termistor:** a resistência elétrica é uma característica afetada pela temperatura em, praticamente, todos os elementos resistivos utilizados. Para alguns tipos de materiais, a resistência é alterada de modo significativo pela temperatura. Estes materiais são utilizados para a fabricação de um tipo especial de resistor, denominado termistor. Em geral, são fabricados com óxidos de vários metais, como níquel, manganês, ferro, cobalto e cobre, encapsulados em resina epóxi ou em vidro. A medição cuidadosa da resistência serve como indicativo da temperatura com precisão típica de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Com estes dispositivos é possível alcançar resolução de $0,001^{\circ}\text{C}$. Podem ser utilizados dentro de faixas de temperatura que vão deste -80°C até 150°C (WEBSTER, 1995).

Existem dois tipos de termistores, os *PTC* (*Positive Temperature Coefficient* – coeficiente positivo de temperatura) e os *NTC* (*Negative Coefficient Temperature* – coeficiente negativo de temperatura). Nos termistores tipo PTC, a resistência é diretamente proporcional à variação da temperatura. Nos NTC, a resistência decresce com o aumento da temperatura, porém, a variação não é linear (Figura 2.2).

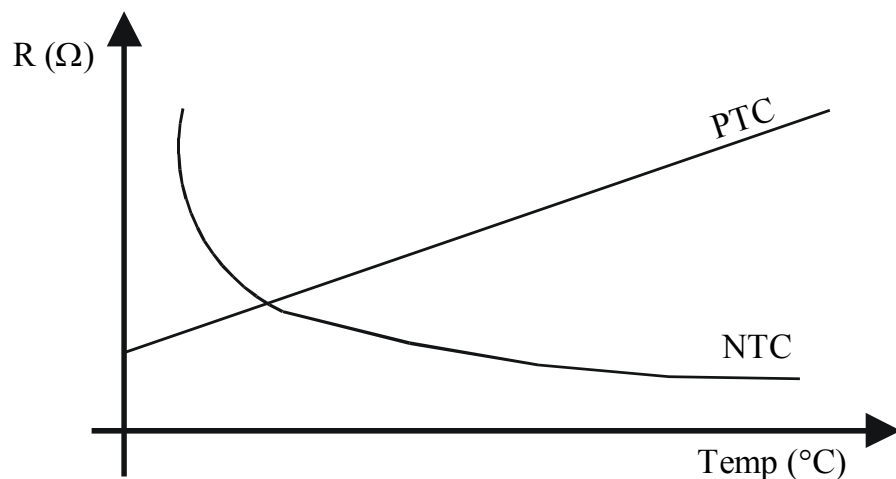


Figura 2.2 - Curvas características de variação da resistência em função da temperatura nos termistores

- **semicondutor:** os sensores de temperatura baseados em semicondutores aproveitam a propriedade das junções PN de alterarem a sua queda de tensão em função da temperatura. Pode-se demonstrar que, para uma junção PN de silício, a queda de tensão varia da seguinte maneira (MALVINO, 1997):

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = -2mV/^{\circ}C \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Esta variação da queda de tensão passou a ser utilizada para construir sensores de temperatura. Estes sensores são bastante lineares e muito sensíveis, dentro da sua faixa de atuação. Atuam em faixas de temperatura desde -80°C até 150°C . Atualmente, vários sensores a semicondutor fornecem saída de sinal digital. Estes são, geralmente, constituídos por um sensor analógico (tipo junção semicondutora), acoplado a um circuito eletrônico condicionador de

sinal, que converte a variação de queda de tensão em sinais digitais. Na apresentação dos componentes utilizados neste trabalho são mostradas as características dos sensores aqui utilizados.

2.2.2. UMIDADE

A perda de calor por evaporação tem uma relação inversa com a umidade relativa do ar: quanto menor a umidade relativa, maior é a perda por evaporação. Por esta razão, a umidade relativa do ar no interior das incubadoras é monitorada. Para os recém-nascidos, especialmente para os prematuros, a evaporação, à temperatura de 36°C, é a maior fonte individual de perda de calor para o ambiente (AVERY & MACDONALD, 1994).

Nos parágrafos seguintes, conceitos físicos a respeito de umidade são discutidos.

O ar atmosférico é uma mistura de gases (nitrogênio, oxigênio, gás carbônico, vapor de água e outros em menor percentagem). A massa de vapor de água por unidade de volume existente no ar atmosférico é chamada de *umidade absoluta*. Assim, a Equação 2.1 define a umidade absoluta (SEARS et al., 1997):

$$umidade_absoluta = \frac{massa_do_vapor_de_água}{massa_do_ar} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

A pressão total exercida pela atmosfera é a soma das pressões parciais exercidas por cada um de seus componentes em separado. A pressão de cada um dos componentes é chamada de *pressão parcial*. Do exposto acima, obtém-se a Equação 2.3:

$$pressão_atmosférica = \sum pressão_parcial_de_cada_componente \quad (\text{Eq. 2.3})$$

A pressão parcial de cada elemento da mistura gasosa é praticamente a mesma que exerceria em separado, ocupando o mesmo volume total; ou seja, cada componente tem um comportamento independente dos outros.

Denomina-se “pressão de vapor de água saturado”, à pressão exercida quando o vapor de água e o líquido existem em equilíbrio dinâmico; isto é, o número de moléculas do vapor que se condensam é igual ao número de moléculas que evaporam. A pressão de vapor de água saturado depende da temperatura. A temperatura na qual o vapor de água de uma amostra se torna saturado é chamado de “ponto de orvalho” (SEARS et al., 1997).

A título de informação, a Tabela 2.3 apresenta a pressão parcial exercida pelo vapor de água saturado em função da temperatura (SEARS et al., 1997). O valor de 760,0mmHg corresponde, aproximadamente, à pressão da atmosfera normal.

Tabela 2.3 - Pressão parcial do vapor da água para diferentes temperaturas (SEARS et al., 1997)

Temperatura (°C)	Pressão do vapor de água saturado (mmHg)
-20	0,8
-10	1,9
0	4,6
10	9,2
20	17,5
30	31,8
40	55,4
50	92,6
60	149,5
70	233,8
80	355,3
90	525,9
100	760,0

A partir dos conceitos expostos, define-se, através de uma relação matemática, a umidade relativa do ar (UR%):

$$UR\% = \frac{\textit{pressão_parcial_do_vapor_de_água}}{\textit{pressão_do_vapor_de_água_saturado}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Assim, a umidade relativa do ar, a uma determinada temperatura, é dada pela razão entre a pressão parcial de vapor de água presente no ar e aquela que existiria, caso o ar estivesse saturado de vapor nesta temperatura.

É importante notar que a umidade relativa depende da quantidade de água presente no ar (pressão parcial do vapor de água) e da temperatura do ar, tendo em vista que, a pressão de vapor de água saturado depende apenas desta última. Assim, se a temperatura do ar aumenta, a pressão do vapor de água saturado é maior, provocando uma redução na umidade relativa.

Nas incubadoras, a umidade do ar precisa ser mantida em níveis compatíveis com as necessidades dos recém-nascidos, geralmente, entre 40% e 60% de umidade relativa (ARONE, 1995).

Existem vários sensores que possibilitam a medição da umidade relativa do ar. Dois deles, bastante difundidos:

- **resistivo:** estes utilizam a propriedade de alguns materiais (certos polímeros orgânicos) de alterar sua resistência elétrica em função da umidade. Estes sensores possuem uma relação não linear entre a resistência e a umidade. Em geral, não conseguem apresentar resultados em toda a faixa de medição, a qual é de 0% a 100% de umidade relativa (IAIONE, 1999);

- **capacitivo:** são construídos em forma de um capacitor. Duas lâminas metálicas separadas por um material isolante que forma o dielétrico. A umidade do ar afeta a constante dielétrica do material isolante, alterando a capacitância do conjunto (HONEYWELL, 2001).

Um indicativo usual da umidade, quando são utilizados sensores capacitivos, é a frequência de oscilação de um circuito, que varia em função da alteração da capacitância.

Estes sensores possibilitam medição em toda a faixa (0% a 100% de umidade relativa) permitem a construção de aparelhos portáteis. Por isso, popularizaram-se a tal ponto que atualmente dominam o mercado (HONEYWELL, 2001).

2.2.3. VENTILAÇÃO

Dentro das incubadoras, a ventilação é responsável pela renovação do oxigênio. Porém, a ventilação afeta a troca de calor por convecção e evaporação, portanto, afeta o equilíbrio térmico do bebe, motivo pelo qual necessita ser monitorada.

Os instrumentos utilizados para a medição da velocidade do fluxo de ar são os anemômetros. Os sensores mais comuns são:

- **mecânicos do tipo ventoinha:** neste tipo de anemômetro, o sensor é uma ventoinha exposta ao fluxo de ar. Sua rotação é proporcional à velocidade do fluxo de ar. Basta, portanto, criar uma escala que relacione taxa de rotação da ventoinha com a velocidade do ar. Este sistema é muito prático para estações meteorológicas e para locais onde a velocidade do ar é suficientemente elevada para vencer o atrito dos mancais (ou rolamentos) da ventoinha;

- **térmicos:** a anemometria térmica é uma técnica de medição de velocidade de fluidos que vem sendo estudada e utilizada há várias décadas. Fundamentalmente, baseia-se no princípio de que um elemento resistivo aquecido, quando submetido a um fluxo de fluido, perde calor, diminui sua temperatura e altera sua resistência elétrica (BECKWITH et al., 1993). A variação da temperatura ou de sua resistência elétrica podem ser utilizadas como indicativo da velocidade do fluido a que foi submetido. O termistor (elemento geralmente utilizado como sensor) deve ser mantido a uma temperatura suficientemente elevada, de modo que a influência da temperatura ambiente não tenha efeitos significativos sobre a medição, ou deve possuir uma correção de leitura em função da temperatura ambiente.

Para determinar-se a velocidade de um fluido, utilizando-se anemometria térmica, pode-se empregar duas técnicas:

- *mantém-se a potência entregue ao termistor constante e mede-se a sua temperatura.* Neste caso, a temperatura do termistor é um indicativo da velocidade do fluido. Assim, necessita-se de um termômetro para obter a grandeza desejada o que se constitui em um complicador para a utilização deste método.
- *varia-se a potência entregue ao termistor de forma a mantê-lo com temperatura constante.* Neste caso, a potência entregue é um indicativo da velocidade do fluido. Caso lhe seja suprida uma corrente constante, então, pode-se utilizar a queda de tensão sobre o elemento resistivo para determinar a velocidade do fluido. Este é o método de determinação de velocidade do fluxo de ar utilizado neste trabalho.

Os sensores utilizados na anemometria térmica, geralmente, são termistores com inércia térmica suficiente baixa para serem sensíveis às mínimas variações do fluxo de ar.

2.3. DESCRIÇÃO DA INCUBADORA

A norma NBR IEC 60601-2-19 (emenda 1 da norma) define incubadora neonatal como: “*Equipamento contendo um compartimento do recém-nascido que é provido com meios de controlar o ambiente do recém-nascido, principalmente por ar aquecido dentro do compartimento do recém-nascido*” (NBR IEC 60601-2-19, Item 2.1.101).

A incubadora consiste de um ambiente fechado com paredes transparentes, geralmente feitas de acrílico, para permitir a monitoração visual do recém-nascido. Ela possui várias aberturas (portinholas) para manusear o recém-nascido sem a necessidade de se abrir sua cúpula (Figura 2.3). O recém-nascido é colocado sobre um colchão feito com material macio e isolante térmico. Sob o colchão existe uma bandeja, geralmente feita de alumínio. Esta bandeja possui alavancas que permitem a troca de posição do recém-nascido. Sob esta existe uma parede metálica que isola o compartimento do recém-nascido do resto do equipamento. Embaixo desta parede, localizam-se os dispositivos eletromecânicos de controle (aquecimento, umidificação e circulação do ar). Todo este conjunto é suportado por um pedestral, com rodas para facilitar o deslocamento da incubadora.

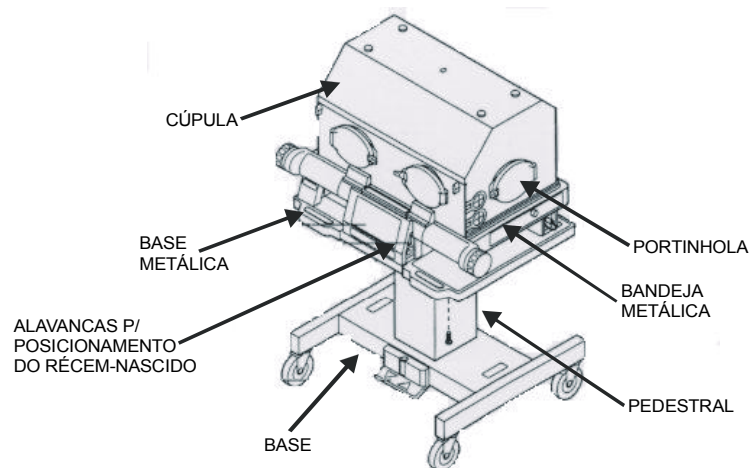


Figura 2.3 – Ilustração das principais estruturas de uma incubadora neonatal

Quanto ao funcionamento, existem dois modos: ATC (temperatura controlada do ar) e ITC (temperatura do infante controlada)¹.

No modo ATC, a temperatura do ar que circula no interior da incubadora é a variável controlada. No modo ITC, controla-se a temperatura da pele do recém-nascido.

As incubadoras também possuem sistemas de alarme para alertar o corpo clínico em caso de ocorrências prejudiciais ao bebê, tais como, excesso de temperatura e queda excessiva da umidade.

Em relação ao sistema de controle de temperatura existem, basicamente, dois tipos: o *on-off* (liga-desliga) e o proporcional.

O sistema *on-off* existe em modelos de incubadoras mais antigos. Ele apenas liga ou desliga uma resistência para manter a temperatura desejada. O problema deste sistema é que existe uma variação de temperatura entre os momentos de ligar e desligar, provocado pela histerese do sistema.

O sistema proporcional ajusta a potência entregue ao resistor de aquecimento de acordo com a necessidade momentânea da incubadora. Este sistema controla a quantidade de energia fornecida ao elemento de aquecimento, de acordo com a diferença de temperatura existente entre a selecionada e a da incubadora. À medida que a temperatura da incubadora se aproxima da selecionada, a taxa de aumento da quantidade de energia aplicada ao elemento aquecedor decresce, evitando, desta maneira, a sobrelevação exagerada da temperatura interna. A Figura 2.4 mostra como o processo ocorre. Observando-se a taxa de energia entregue no intervalo Δt_1 (onde a temperatura interna da incubadora está relativamente distante da temperatura selecionada) e no intervalo Δt_2 (onde a temperatura interna da incubadora está mais próxima da temperatura selecionada do que no tempo Δt_1 , vê-se que a quantidade de energia E_2 é menor do que E_1 . Notar que o intervalo de tempo Δt_1 é igual ao intervalo Δt_2 .

Este método reduz praticamente a zero as variações indesejáveis de temperatura dentro da incubadora.

¹ A norma NBR IEC 601-2-19 utiliza a nomenclatura ATC para temperatura do ar controlada e ITC para temperatura do infante controlada.

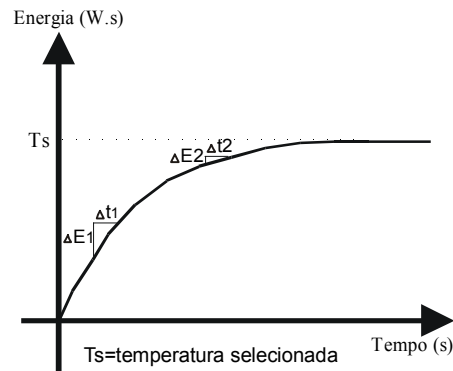


Figura 2.4 - Curva da energia entregue para aquecimento de incubadoras com sistema proporcional de aquecimento

O sistema de circulação do ar é realizado por uma ventoinha. O sistema de ventilação aspira ar do ambiente, através de um filtro que retém as impurezas. O ar aspirado desempenha as seguintes funções: homogeneíza a temperatura e a umidade no interior da incubadora, renova o oxigênio e cria uma pequena diferença de pressão entre o interior e o exterior da incubadora. Como a pressão é maior no interior da incubadora, o ar do exterior é impedido de entrar pelas portinholas e outros orifícios que não o do filtro.

O sistema de umidificação é realizado por dois métodos. O mais simples constitui-se, basicamente, de um reservatório de água em que um fluxo de ar passa sobre sua superfície. Em geral, este fluxo de ar é proveniente da ventoinha utilizada para a renovação do ar dentro da incubadora. Ao passar sobre a água, o fluxo de ar transporta vapor para dentro da incubadora. Ajuste neste fluxo de ar permite regular a umidade. Um outro método utilizado, consiste de um vaporizador ultra-sônico, sendo que a quantidade de vapor gerado é gerenciada por um sistema de controle que possui um sensor de umidade, proporcionando assim um controle em malha fechada. A vaporização da água é obtida através da transmissão de energia acústica à água, emitida por um cristal piezoelétrico (IAIONE, 1999).

Ao longo do tempo, foram concebidos vários tipos de incubadoras. As modernas (Figura 2.2) possuem sistemas de controle de grandezas obtidos por circuitos eletrônicos sofisticados, de forma a garantir a máxima confiabilidade nas informações que fornecem. No entanto, apesar da atual sofisticação destes dispositivos, ao longo do tempo ocorre uma degeneração natural dos controles.

Há portanto, a necessidade de, periodicamente, medir-se as grandezas de interesse para a verificação da conformidade ou não, em relação às exigências técnicas.

3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE GRANDEZAS AMBIENTAIS EM INCUBADORAS NEONATAIS

As especificações técnicas referentes à segurança em incubadoras neonatais estão contidas na norma técnica NBR IEC 601-2-19, de 1997 e sua emenda nº 1, a NBR IEC 60601-2-19, de 2000. Neste capítulo será apresentada a norma e suas exigências com relação ao assunto deste trabalho.

3.1. NORMA NBR IEC 601-2-19

A norma NBR IEC601-2-19 é um conjunto de padrões de qualidade relacionados à segurança em equipamentos eletromédicos. A Seção 8 desta norma define todas as medições necessárias para a confirmação da conformidade ou não de incubadoras neonatais, de acordo com as necessidades do recém-nascido.

A norma, com a denominação inicial de IEC 601, foi estabelecida pela *International Electrotechnical Commission - IEC*², com sede em Genebra, Suíça. Ela representou a padronização de uma série de itens de segurança, relativos a equipamentos eletromédicos, já existentes em vários países.

A primeira edição foi publicada em 1971, tendo sido baseada nas prescrições técnicas dos seguintes organismos, já existentes na época:

- *URL (Underwriters Laboratories)*: órgão certificador dos Estados Unidos da América;
- *British Department of Health*: departamento de saúde da Inglaterra;
- *German National Standard*: padronizações nacionais da Alemanha.

² A *IEC* é um organismo internacional de normatização cuja finalidade principal é padronizar equipamentos elétricos, no tocante a segurança e funcionalidade. Foi oficialmente fundada em junho de 1909, em Londres, onde instalou escritório geral. Durante as duas guerras mundiais, as atividades foram suspensas. Após o final da segunda guerra mundial, em 1948, sua sede foi transferida para Genebra (Suíça), onde permanece até os dias atuais.

No início, a norma foi adotada apenas pelos Estados Unidos da América e alguns países europeus. Posteriormente, outros países adotaram-na porque seus fabricantes eram obrigados a segui-la, para poder comercializar seus produtos em países que exigiam seu cumprimento.

No decorrer do tempo, a norma foi adotada por praticamente todos os países desenvolvidos, com nomes diferentes e pequenas diferenças relacionadas ao país. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, a norma é utilizada com o código UL2601, utilizando diferentes limites de corrente de fuga dos utilizados na norma original.

Algumas denominações da norma em diferentes países são:

- UL2601: denominação nos Estados Unidos da América;
- EN60601: denominação na Inglaterra;
- CAN/CSA-C22.2 N° 601.1: denominação no Canadá.

Atualmente, a norma recebeu a denominação internacional de IEC60601. Sempre que surge uma nova necessidade, é publicada nova seção da norma.

A nomenclatura, atualmente adotada pela IEC, divide as publicações da série 60601 em duas partes:

- IEC60601-1-XX: trata dos requerimentos gerais de segurança em equipamentos eletromédicos, sem especificações particulares. Os dois números XX representam o assunto em questão. Por exemplo: radiação, proteção, equipamentos médicos computadorizados.
- IEC60601-2-XX: trata das especificações particulares de um determinado equipamento eletromédico. Os números XX indicam um equipamento eletromédico específico. Por exemplo:
 - IEC60601-2-18: requerimentos particulares para equipamentos de endoscopia;
 - IEC60601-2-19: requerimentos particulares para a segurança de incubadoras neonatais;
 - IEC60601-2-20: requerimentos particulares para segurança em incubadoras de transporte.

No Brasil, a norma foi adotada em 1997 com o nome de NBR IEC 601.

Nas emendas seguintes, o Brasil também adotou a nomenclatura internacional. A norma continua com a numeração original (NBR IEC 601), porém as emendas seguem a

denominação internacional. Assim, a emenda número 1, de março de 2000, é denominada de NBR IEC 60601-2-19. Desta maneira, todas as referências à norma utilizadas neste trabalho recebem a denominação de NBR IEC 601, se pertencem à norma original e de NBR IEC 60601, se fazem referências à emenda número 1.

Para as incubadoras neonatais, a Seção 8 da norma técnica NBR IEC 601-2-19 especifica quais variáveis devem ser controladas para a verificação da conformidade.

De acordo com esta norma, em termos de grandezas relativas ao ambiente, deve haver sistemas de controle para:

- temperatura ambiente: considera-se ambiente o local onde está a incubadora. Neste caso o controle não é feito pela incubadora. Deve haver algum dispositivo de controle de temperatura no ambiente;
- temperatura interna da incubadora: medida em cinco pontos específicos, conforme mostrado na seqüência deste trabalho;
- umidade relativa do ar: medida no ponto central da incubadora;
- ventilação.

A norma técnica define o que é necessário medir e controlar nas incubadoras, porém, não define nenhum instrumento em particular para efetuar estas medições e controles. A forma como isto é executado é de responsabilidade do fabricante da incubadora.

Como já mencionado, a proposta que está sendo apresentada visa desenvolver um dispositivo que possa verificar a funcionalidade das incubadoras neonatais com relação às exigências da NBR IEC 601-2-19. Serão verificadas, a temperatura ambiente do local onde está a incubadora, a temperatura interna da incubadora, a umidade e a ventilação.

Na seqüência, apresenta-se as prescrições técnicas definidas pela NBR IEC 601-2-19 para cada uma das grandezas que será medida.

3.2. REQUISITOS PARA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

Os requisitos da norma NBR IEC 601-2-19 para medir a temperatura, durante o ensaio, no ambiente e no interior, são discutidos nesta seção.

A temperatura ambiente é medida na parte externa da incubadora, ou seja, no recinto onde ela se encontra. Para esta medida, a norma não esclarece a precisão, resolução ou outras características requeridas para a medida a ser realizada, apenas informa a faixa adequada da temperatura.

A temperatura interna deve ser medida em cinco pontos, em um plano paralelo ao plano do colchão, a uma altura de 10 cm (Figura 3.1).

Os cinco pontos são assim definidos pela norma técnica:

- o ponto A é a interseção das duas diagonais do retângulo ocupado pelo colchão, ou seja, é o ponto central do colchão.
- os outros pontos são obtidos através da divisão da superfície, em quatro retângulos iguais, formados a partir das mediatrizes dos lados do retângulo formado pelo colchão. O cruzamento das diagonais de cada um desses retângulos representa os pontos, B, C, D e E, respectivamente.

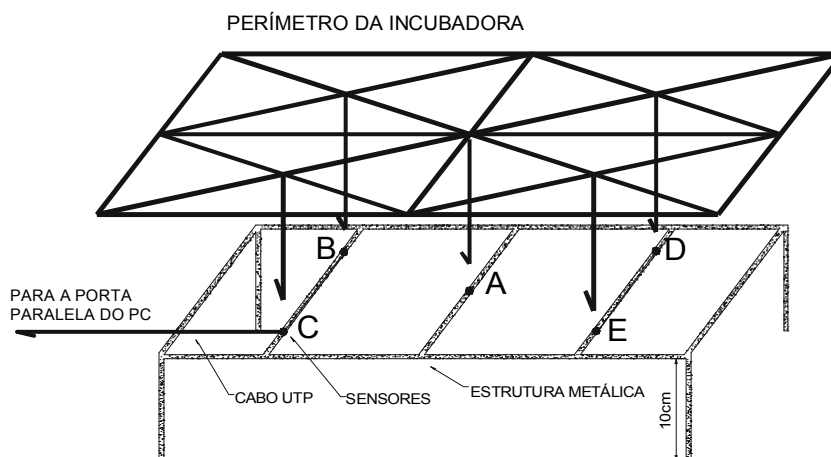


Figura 3.1 - Posição dos sensores para medição da temperatura recomendados pela NBR601-2-19

A norma define o ponto A como sendo o ponto de medida da temperatura da incubadora; e os outros quatro pontos são os pontos de medida da temperatura do ar (NBR IEC 601-2-19, Figura 102).

Para a realização destes testes, o termômetro ou sensor padrão deve possuir uma precisão mínima de $0,05^{\circ}\text{C}$ e possuir uma faixa de medição contínua mínima de 20°C até 40°C (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.106).

Os demais requisitos para as medições de temperatura são mostrados na Tabela 3.1 (NBR IEC 601-2-19, Seção 8).

Tabela 3.1 - Requisitos para medição de temperatura em incubadoras

REQUISITO	CONDIÇÃO DO ENSAIO	RESULTADOS
Verificação da temperatura do ambiente onde a incubadora será testada (NBR IEC 601-2-19, Seção 2, Item 4.5).	Medir a temperatura no ambiente onde está a incubadora durante todo o ensaio.	Deve estar entre 21°C e 26°C.
Tempo para a incubadora elevar a temperatura interna em 11°C (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.108).	A temperatura de controle deve ser ajustada para 11°C acima da temperatura do ambiente. O equipamento deve ser alimentado com tensão nominal. A temperatura da incubadora deve estar estabilizada com a do ambiente. Se houver dispositivo para controle da umidade relativa do ar, este deve ser ajustado para o seu valor máximo.	O tempo máximo para atingir a temperatura de controle não deve diferir em mais de 20% do tempo especificado pelo fabricante.
Estabilidade da temperatura interna da incubadora (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.101).	A incubadora deve ser ajustada para dois pontos de operação (temperatura selecionada): 32°C e 36°C.	A temperatura da incubadora não deve diferir em mais de 0,5°C em relação a temperatura média da incubadora em cada temperatura selecionada (32°C ou 36°C) por 1 hora.
Temperatura nos pontos A, B, C, D e E (Ta, Tb, Tc, Td e Te) com o colchão na horizontal (NBR IEC 601-2-19,	A incubadora deve ser ajustada para dois pontos de operação (temperatura selecionada): 32°C e 36°C.	Com a incubadora operando como uma ATC (temperatura do ar controlada) a temperatura média em cada um dos

Seção 8, Item 50.102).		pontos de medição não pode diferir em mais de 0,8°C em relação a temperatura média da incubadora em um período de 1 hora para cada temperatura selecionada.
Temperatura nos pontos A, B, C, D e E (Ta, Tb, Tc, Td e Te) com o colchão em posição não horizontal (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.102).	A incubadora deve ser ajustada para dois pontos de operação (temperatura selecionada): 32°C e 36°C.	Com a incubadora operando como uma ATC (temperatura do ar controlada) a temperatura média em cada um dos pontos de medição não pode diferir em mais de 1,0°C em relação a temperatura média da incubadora por um período de 1 hora em cada temperatura selecionada.
Tempo para restaurar a temperatura média (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.109).	Inicia-se com a incubadora em 30°C. Ajusta-se a temperatura de controle para 34°C. Inicia-se a medição de temperatura e do intervalo de tempo quando a temperatura da incubadora alcançar 34°C.	A sobrelevação permitida é de, no máximo, 2°C. O tempo para alcançar a temperatura de estabilização deve ser menor do que 15 minutos.

A Figura 3.2, extraída da norma NBR IEC 601-2-19, mostra o tempo de aquecimento (Taq), temperatura média da incubadora, sobrelevação da temperatura e a condição de temperatura estabilizada.

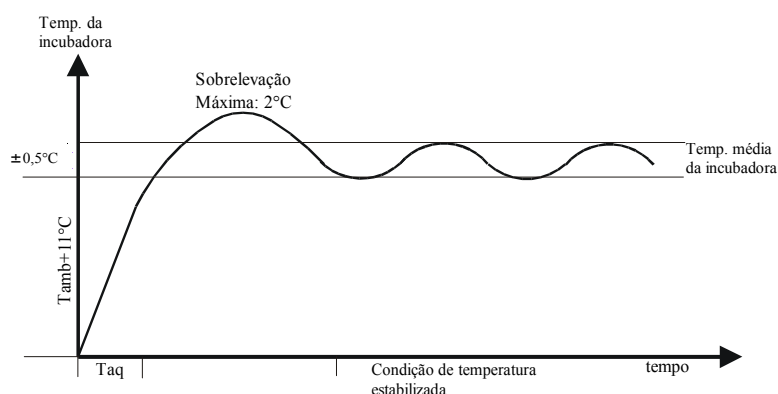


Figura 3.2 – Exemplo de comportamento da temperatura média nas incubadoras

3.3. REQUISITO PARA MEDIÇÃO DA UMIDADE

Com relação à umidade relativa, a norma exige o cumprimento de um requisito, citado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Requisito para umidade em incubadoras

REQUISITO	CONDIÇÃO DO ENSAIO	RESULTADOS
Umidade no interior da incubadora (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.110).	Medir a umidade relativa no interior da incubadora em qualquer condição normal de uso da incubadora.	Qualquer valor de umidade relativa indicado pela incubadora não deve diferir em 10% do valor medido.

Quanto à posição do sensor, a norma especifica a posição central da incubadora, a uma altura de 10 cm do colchão, como ponto de medição. Por isso o ponto de medição de umidade relativa é o ponto A (Figura 3.1).

3.4. REQUISITO PARA MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO DE AR

Relativo à ventilação, a norma cita o seguinte requisito a ser cumprido:

Tabela 3.3 - Requisito para medição de velocidade do fluxo de ar em incubadoras

REQUISITO	CONDIÇÃO DO ENSAIO	RESULTADOS
Velocidade do fluxo de ar sobre o colchão (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 104.1).	Medir a velocidade do fluxo de ar no interior da incubadora em qualquer condição normal de uso da incubadora, de acordo com a prescrição de ensaio da subcláusula 104.1.	Esta velocidade não pode exceder 0,35 m/s.

Para a medição do fluxo de ar, arbitrou-se por utilizar o ponto D (Figura 3.1).

3.5. TERMINOLOGIA DA NBR IEC 601-2-19

As abreviaturas e terminologias da NBR IEC 601-2-19 são utilizadas nos demais capítulos e, portanto, apresentadas para referência.

Tabela 3.4 - Definições da terminologia utilizada

Temperatura média da incubadora (T _{med inc})	Média das leituras das temperaturas da incubadora (Ponto A) tomadas em intervalos de tempo regulares, obtidas durante a condição de temperatura constante (NBR IEC 60601-2-19, Item 2.9.106)
Temp. da incubadora (T _{inc})	Temperatura do ar em um ponto 10 cm acima do centro geométrico da superfície do colchão, no compartimento do recém-nascido (NBR IEC 601-2-19, Item 2.9.106). Trata-se da medição no ponto A (Figura 3.1)
Condição de estabilização	Condição alcançada quando a temperatura da incubadora não variar em mais de 1°C durante o período de 1 hora (NBR IEC 601-2-19, Item 2.10.101)
T _{med} (A, B, C, D, E)	Temperatura média nos pontos A, B, C, D e E, respectivamente

Etp	Erro do termômetro padrão utilizado
Tempo especificado	Tempo para aquecimento do equipamento especificado nas instruções de utilização da incubadora
Ttp	Temperatura indicada pelo termômetro padrão
Tamb	Temperatura do ar ambiente onde está a incubadora
Tac	Temperatura controlada do ar no interior da incubadora
URreal	Umidade relativa real, medida dentro do compartimento do recém-nascido

4. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA DESENVOLVIDO

O diagrama de blocos do sistema desenvolvido encontra-se apresentado na Figura 4.1.

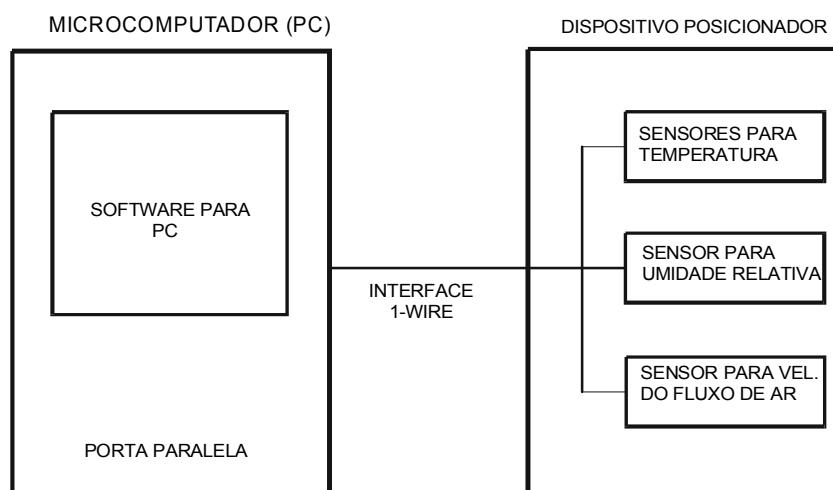


Figura 4.1 - Diagrama de blocos do sistema desenvolvido

O microcomputador, ao executar o software desenvolvido neste trabalho comunica-se com o módulo externo, que contém seis sensores.

O PC e o módulo externo estão interligados através de um cabo físico tipo UTP (*Unshielded Twisted Pair* - par trançado sem blindagem) e um protocolo de comunicação denominado *1-Wire* (Maxim-Dallas). O cabo UTP é o mesmo utilizado em redes de computadores. Sua escolha deveu-se ao fato de ser comercial, de uso amplamente difundido, e apresentar menor perda de sinal do que outros cabos comercialmente utilizados (DALLAS SEMICONDUCTOR – Application Note 148, 2001). Assim,

consegue-se a maior distância de transmissão sem necessidade de amplificadores de linha (DALLAS SEMICONDUCTOR – Overview of 1-Wire Technology and Its Use, 2002). Utilizando-se este tipo de cabo, atinge-se uma distância máxima de transmissão de 300 m (DALLAS SEMICONDUCTOR – Application Note 148, 2001).

A Figura 4.2. mostra como os sensores estão conectados ao PC através da porta paralela.

O Apêndice A1 apresenta os requisitos de configuração para o PC a ser utilizado.

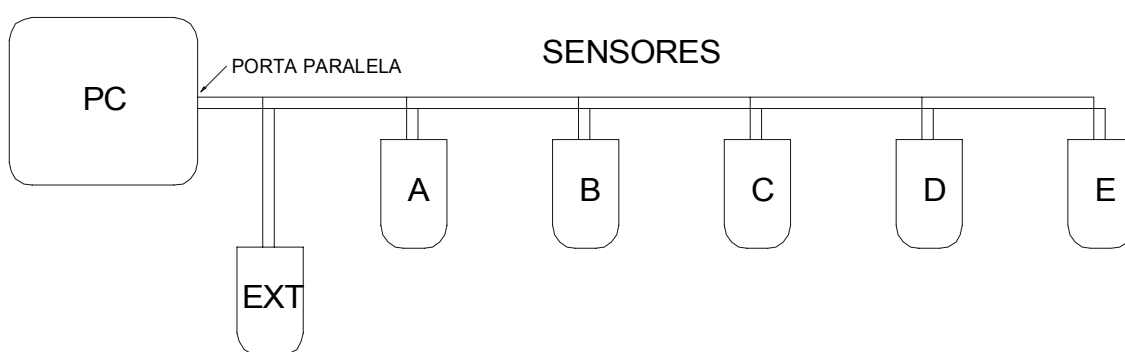


Figura 4.2 – Esquema de conexões dos sensores no sistema desenvolvido

O sensor EXT é o sensor de temperatura externa da incubadora. Os sensores A, B, C, D e E são os sensores de temperatura internos, sendo que os sensores A e D, além de medirem temperatura, também medem a umidade relativa do ar e a velocidade do fluxo de ar, respectivamente.

Nas próximas seções, são descritos o protocolo *1-Wire*, as características dos sensores e o software utilizado.

4.1. A INTERFACE *1-WIRE*

A interface *1-Wire* (Maxim-Dallas) é um protocolo de comunicação serial entre dispositivos eletrônicos em que aquele que possui o software gerenciador é denominado de mestre, enquanto que os componentes *1-Wire* são denominados de escravos (DALLAS SEMICONDUCTOR – DS2438 – Smart battery monitor).

Como já mostrado na Figura 4.2, havendo mais escravos, estes são todos conectados em paralelo, utilizando o mesmo barramento de conexão; ou seja, é um sistema de

comunicação que permite o compartilhamento do barramento. No estado de repouso, o barramento do protocolo *I-Wire* é mantido sempre em nível lógico 1.

A identificação de cada um dos componentes utilizados no barramento *I-Wire* é realizada através de um número serial de 64 bits. Este número é gravado no componente durante o processo de fabricação. Ele contém as informações mostradas na Tabela 4.1. Na terceira linha da tabela, há exemplo de código gravado nos componentes.

Tabela 4.1 - Conteúdo do código serial do protocolo *I-Wire* e exemplo de código

8 BITS – CRC	48 BITS – NÚMERO SERIAL	8 BITS – FAMÍLIA
MSB		LSB
FBH	00H 00H 00H 1EH C1H 86H	26H

Os oito bits mais significativos constituem o CRC (*Cyclic Redundance Check*). Esta seqüência de bits é utilizada para verificar a integridade dos dados recebidos. Todos os componentes que utilizam o protocolo de comunicação *I-Wire* empregam o seguinte polinômio para geração do número de CRC:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1 \quad \text{Eq. 4.1}$$

No Apêndice A4, detalha-se a detecção de erros de transmissão utilizando a técnica CRC.

Os oito bits menos significativos representam o número identificador da família a qual pertence o componente. O fabricante fez uma divisão dos componentes em várias famílias, segundo a função de cada um. A Tabela 4.2 mostra os códigos de família dos componentes *I-Wire* utilizados no dispositivo desenvolvido.

Tabela 4.2 - Famílias dos componentes *I-Wire* utilizados neste trabalho

COMPONENTE	FAMÍLIA
DS2438	26H
DS18S20	10H

Finalmente, os 48 bits restantes, constituem o número seqüencial particular de cada componente. São estes que permitem a identificação individual do componente.

O número serial dos componentes utilizados precisa ser incorporado ao software para que seja possível identificá-los no barramento. Isto significa que se, eventualmente, algum componente do barramento for trocado, será necessário incorporar o número serial do novo componente ao software, antes de poder utilizá-lo.

O procedimento de leitura/escrita entre o escravo e o mestre é realizado através de uma seqüência de comandos. Estes comandos não são iguais para todos os componentes. No entanto, há três passos em comum a todos eles:

- **comando de inicialização:** consiste na transmissão de um pulso de *reset* pelo mestre, seguido de um pulso de presença enviado pelo escravo (Figura 4.4);
- **comando de leitura da ROM (*Read Only Memory* – memória de leitura apenas do escravo):** estes comandos iniciam após o mestre haver recebido o pulso de presença dos escravos. Basicamente, este bloco de comandos serve para verificar quantos e quais componentes estão presentes no barramento, além de verificar a existência de algum componente em situação anormal (neste caso o mestre recebe um pulso, conhecido como pulso de alarme, específico para indicar anormalidades no escravo). No caso deste sistema, os dados enviados pelo componente DS18S20 são diferentes dos enviados pelo DS2438, por pertencerem a famílias diferentes.
- **comandos das funções de memória específicos de cada componente:** este bloco de comandos depende do componente *1-Wire* instalado no barramento. Através destes comandos, é iniciado o processo de comunicação entre o mestre e o escravo. Esta etapa inicia quando o escravo foi totalmente identificado pelo mestre, tanto no tocante a presença, como no tocante ao tipo de componente. Nesta etapa apenas um escravo está ativo: aquele selecionado pelo mestre, através do software, para a comunicação. As diferenças de dados enviados pelos componentes relacionam-se às funções de cada um, por exemplo: o DS18S20 envia dados referentes a temperatura em 13 bits, enquanto que o DS2438, envia dados referentes a umidade do ar em 10 bits, o que torna os sinais diferentes.

A Figura 4.3 exemplifica o procedimento de comunicação através do protocolo *I-Wire*. O pulso de *reset* é enviado pelo mestre e coloca o barramento em nível lógico '0'. A duração deste pulso deve ser de, no mínimo, 480 μ s. Após este pulso, o mestre aguarda o pulso de presença do escravo (período mínimo de 480 μ s). O pulso de presença coloca novamente o barramento em nível lógico '0' (duração entre 60-240 μ s). Na seqüência, é iniciada a troca de informações referentes a cada componente. Durante este período o barramento pode estar em situação de escrita ou leitura, segundo as solicitações do mestre. Na situação de escrita, o mestre envia dados ao escravo; e na situação leitura, é o escravo que envia dados ao mestre.

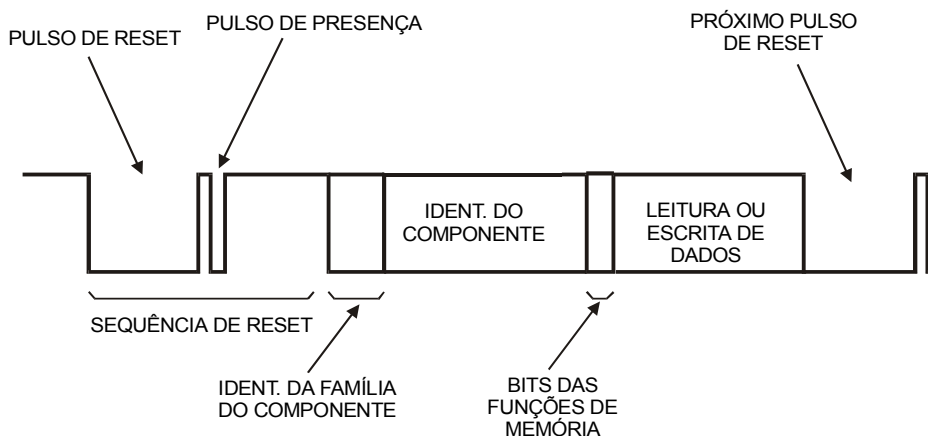


Figura 4.3 - Seqüência de comunicação *I-Wire*

No trabalho desenvolvido, o barramento *I-Wire* possui seis escravos, constituídos pelos sensores externos ao microcomputador e um mestre constituído pelo PC executando o software desenvolvido.

4.2. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

Para a medição da temperatura, foram escolhidos sensores do tipo semiconductor com saída digital protocolo *I-Wire*. Os critérios para a escolha dos sensores foram os seguintes:

- precisão e resolução para atender as exigências da norma;
- comunicação no protocolo *I-Wire*. Decidiu-se construir um aparelho utilizando este em função dos custos e baixa complexidade.

A partir das características desejadas e das condições impostas, optou-se pelos seguintes sensores:

- para a medição da temperatura externa: DS18S20;
- para a medição da temperatura interna: DS2438.

Ambos são fabricados pela Maxim-Dallas e possuem um conjunto de características adequados às exigências da norma NBR IEC 6010-2-19. As suas características mais importantes para este projeto são apresentadas nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Tabela 4.3 - Características do sensor de temperatura DS18S20

CARACTERÍSTICA	VALORES TÍPICOS	DESVIO MÁXIMO
Faixa de medição	-55°C até +125°C	Não especificado
Resolução	0,05°C (13 bits)	Não especificado
Tempo de conversão máximo	3ms	10ms
Tensão de alimentação	2,4 a 10 Vdc	
Consumo de corrente	50µA	100µA

Tabela 4.4 - Características do DS2438 como sensor de temperatura

CARACTERÍSTICA	VALORES TÍPICOS	DESVIO MÁXIMO
Faixa de medição	-55°C até +125°C	Não especificado
Resolução	0,03125°C (13 Bits)	Não especificado
Tempo de conversão máximo	3ms	10ms
Tensão de alimentação	2,4 a 10 Vdc	
Consumo de corrente	50µA	100µA

O princípio de funcionamento destes sensores baseia-se na variação da queda de tensão de uma junção semicondutora (DALLAS SEMICONDUCTOR – DS18S20 High Precision 1-Wire Digital Thermometer), conforme citado no Item 2.2.1. A queda de tensão é processada por um circuito condicionador, que inclui um conversor A/D interno, e o resultado é apresentado em forma digitalizada com protocolo de comunicação *1-Wire* (DALLAS SEMICONDUCTOR - DS18S20 High Precision 1-Wire Digital Thermometer).

Além de se constituir em um sensor de temperatura, o circuito integrado DS2438 também possui, internamente, um conversor analógico digital de acesso externo. Neste trabalho o conversor é utilizado para digitalizar as medidas de ventilação e umidade relativa do ar. Nos locais onde é realizada somente a medição de temperatura (pontos B, C e E), o conversor A/D não é utilizado.

A Tabela 4.5 apresenta características do conversor Analógico/Digital do DS2438.

Tabela 4.5 - Características do conversor analógico digital contido no DS2438

CARACTERÍSTICA	VALORES TÍPICOS	DESVIO MÁXIMO
Número de bits	10	
Resolução	10 mV	
Erro de Conversão A/D	±10 mV	±50 mV
Tempo de conversão	3 ms	10 ms
Tensão de alimentação	2,4 a 10 Vdc	
Consumo de corrente	50 µA	100 µA

A Figura 4.4 apresenta o circuito elétrico da placa de circuito impresso que contém o DS18S20 para realizar a medição da temperatura externa.

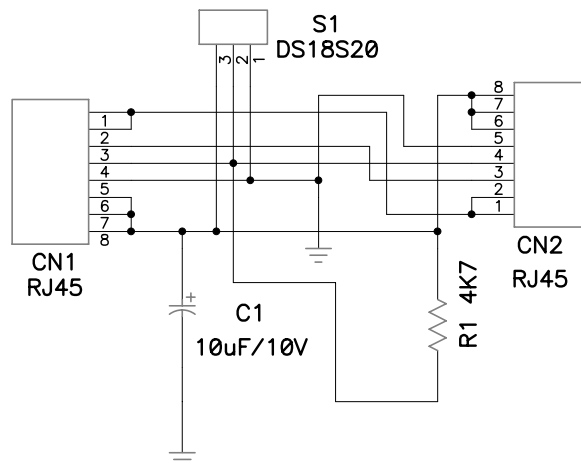


Figura 4.4 - Esquema elétrico do circuito para medição da temperatura com o sensor DS18S20

As conexões elétricas da placa de circuito impresso para a medição da temperatura interna são apresentadas na Figura 4.5.

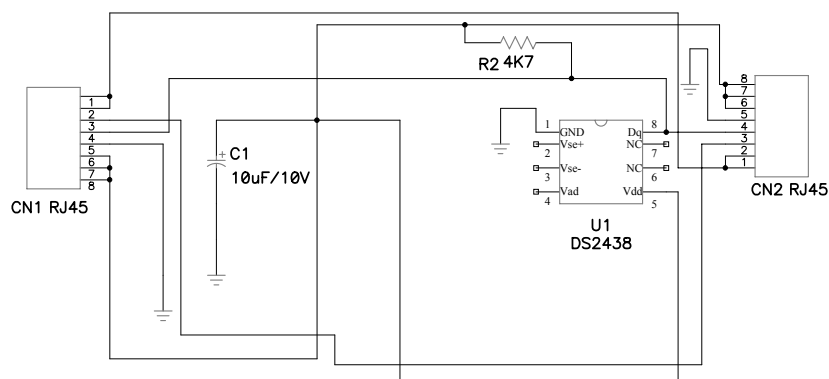


Figura 4.5 - Esquema elétrico do circuito para medição de temperatura com o sensor DS2438

A Tabela 4.6 apresenta a descrição da pinagem dos conectores RJ45 e a Tabela 4.7 apresenta a pinagem do sensor DS18S20.

Tabela 4.6 - Pinagem dos conectores RJ 45

PINO	FUNÇÃO
1, 2 e 3	Pinos de reserva – Não têm uso no nosso sistema
4	Transmissão e recepção dos sinais digitais
5	Comum do barramento (terra)
6,7 e 8	Alimentação

Tabela 4.7 - Pinagem do sensor DS18S20

PINO	FUNÇÃO
1	Comum (terra)
2	Entrada e saída de dados
3	Alimentação

O capacitor C1 filtra a alimentação. O resistor R1 é o resistor de *pull-up*, que mantém o barramento em nível lógico ‘1’, quando não há sinais presentes.

A Tabela 4.8 apresenta a pinagem do sensor DS2438. A pinagem dos conectores RJ45 é a mesma apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.8 - Pinagem do sensor DS2438

PINO	FUNÇÃO
1	Comum (terra)
2	Entrada (+) do monitor de corrente da bateria (Não utilizado no nosso sistema)
3	Entrada (-) do monitor de corrente da bateria (Não utilizado no nosso sistema)
4	Sinal de entrada do conversor analógico digital
5	Alimentação
6	Não conectado
7	Não conectado
8	Entrada e saída de dados digitais

4.3. MEDIÇÃO DA UMIDADE RELATIVA

Para a medição da umidade relativa, o sensor utilizado neste trabalho é do tipo capacitivo, com dielétrico de polímero *thermoset*, modelo HIH-3610 (Honeywell). Este tipo de sensor possui uma resposta a variações de umidade bastante rápida, alta linearidade, baixa histerese, grande estabilidade ao longo do tempo e medição em toda a faixa de umidade relativa (HONEYWELL). A Tabela 4.9. apresenta as principais características do sensor utilizado.

Tabela 4.9 - Características do sensor de umidade HIH-3610

PARÂMETRO	CONDIÇÃO
Precisão	$\pm 2\%$ entre 0% a 100% de umidade, 25°C, Vcc=5Vdc
Linearidade	$\pm 0,5\%$
Tempo de resposta	15 s com ar em baixa velocidade e temperatura de 25°C
Estabilidade	$\pm 1\%$ (em 50% de UR) após 5 anos de uso
Alimentação	4Vdc a 5,8Vdc
Consumo	200 μ A com Vcc=5Vdc
Faixa de operação	0% a 100% (sem condensação)

Cada sensor HIH-3610 é suprido com dados de calibração. O sensor tem como saída uma tensão contínua, cujo valor é proporcional à umidade relativa. Assim, pode-se aplicar esta saída à entrada do conversor analógico digital do DS2438. A Tabela 4.10 mostra os valores de calibração do sensor utilizado neste trabalho (HONEYWELL).

Tabela 4.10 - Dados de calibração do sensor HIH3610 utilizado neste trabalho

MODELO	HIH-3610-2
Tensão de saída para UR=0%	0,8863V
Tensão de saída para UR=75,3%	3,210V
Varição da tensão/Varição de UR	31,171 mV/%UR
Equação de saída de tensão	$UR=(V_{out}-8,863)/0,0312$

O conversor analógico digital, que realiza a amostragem da tensão de saída do HIH-3610, é o circuito integrado DS2438 (o mesmo utilizado para a medição da temperatura).

O circuito elétrico da placa de circuito impresso utilizado para a medição da umidade relativa está apresentado na Figura 4.6.

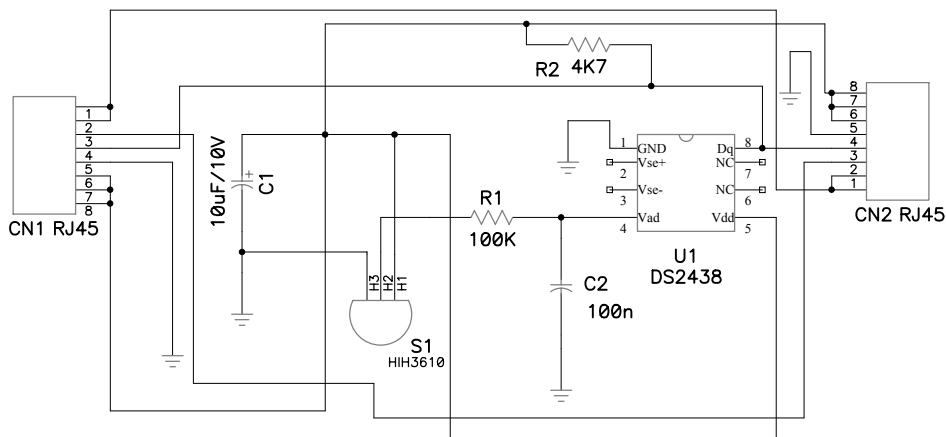


Figura 4.6 - Esquema elétrico do circuito para medição da umidade relativa do ar

A Tabela 4.11 mostra a pinagem do sensor de umidade HIH-3610.

Tabela 4.11: Pinagem do sensor HIH-3610

PINO	FUNÇÃO
H1	Alimentação
H2	Saída de sinal analógico
H3	Comum (terra)

No sistema desenvolvido, este circuito realiza duas medições: temperatura da incubadora e umidade relativa, ambas realizadas no ponto A. O mestre, através de comandos apropriados, realiza a leitura do sensor de temperatura ou do conversor A/D ao qual está conectado o sensor de umidade. Assim, o comando 44H indica que será iniciada a leitura da temperatura, enquanto que o comando B4H, instrui o DS2438 a iniciar leitura do conversor A/D, que, neste caso, possui as informações referentes a umidade relativa. Estes comandos ocorrem na etapa *bits de funções de memória* (Figura 4.4).

4.4. MEDIÇÃO VELOCIDADE DO FLUXO DE AR

O método utilizado para medir a velocidade do fluxo de ar, é baseado na anemometria térmica (KACZMAREK & HUND, 1998). O circuito utilizado neste trabalho é mostrado na Figura 4.7.

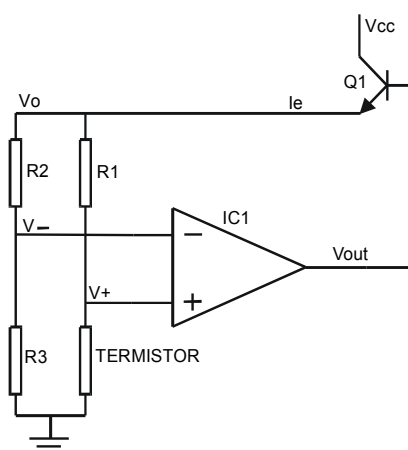


Figura 4.7 - Esquema elétrico do princípio de funcionamento da medição da velocidade do ar utilizando anemometria térmica

A ponte do circuito, constituída pelos resistores R1, R2, R3 e o TERMISTOR, está em equilíbrio com $V_- = V_+$ para uma dada velocidade do fluxo de ar (Figura 4.8). Quando a velocidade do fluxo de ar aumentar, proporcionando perda de calor do termistor por convecção, sua resistência aumenta, causando um incremento de V_+ . A saída do amplificador de instrumentação, V_{out} , irá aumentar, causando um aumento na condução de Q1. Isto produz um aumento de V_o . Este aumento de V_o , aumenta a corrente no termistor provocando um aumento de temperatura. Aumentando a temperatura, a resistência do termistor, aumenta, retornando o valor de V_+ ao ponto original de equilíbrio da ponte.

Como V_o é proporcional à temperatura do termistor e sendo esta proporcional à velocidade do fluxo de ar, pode-se utilizá-la como indicativo da velocidade do fluxo de ar.

Segundo a literatura técnica (KACZMAREK & HUND, 1988), este circuito apresenta uma saída que obedece a seguinte função:

$$v = K_3 \cdot (V_o^2 - K_2)^2$$

Onde: v = velocidade do ar (m/s);

V_o = tensão elétrica aplicada à ponte (V);

K_2, K_3 = constantes que dependem do tipo de termistor e dos componentes eletrônicos utilizados.

O circuito elétrico da placa de circuito impresso projetada, utilizado para medir velocidade do fluxo do ar é mostrado na Figura 4.8. O trimpot R2 serve para realizar um ajuste na ponte e o R7 ajusta o ganho do amplificador de instrumentação.

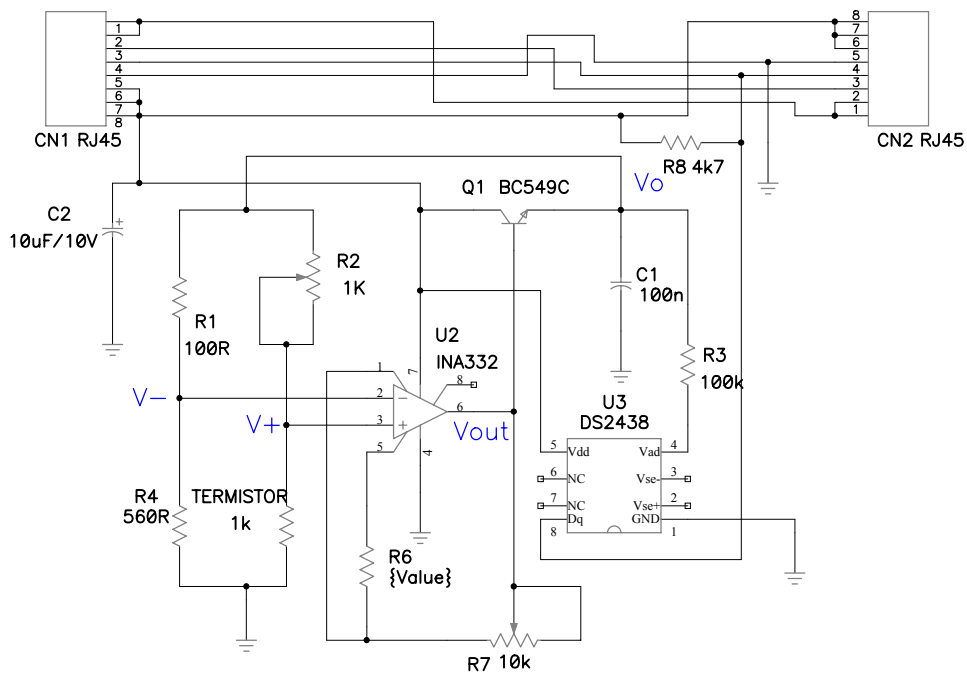


Figura 4.8 – Esquema elétrico do circuito para medição da velocidade do fluxo de ar dentro das incubadoras

O termistor utilizado possui as características mostradas na Tabela 4.12 (AMETHERM, 2002):

Tabela 4.12 – Características do termistor utilizado

PARÂMETRO	VALOR
Tipo	NTC
Resistência @25°C	1000Ω ± 10%
Coefficiente de variação de resistência @25°C	-3,42%/°C
Potência máxima	0,45W
Temperatura de operação	-50°C até 150°C
Constante de dissipação	4mW/°C

A Tabela 4.13 apresenta a pinagem do amplificador de instrumentação INA332. A pinagem dos conectores e do DS2438 é a mesma apresentada nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8.

Tabela 4.13 - Pinagem do amplificador de instrumentação INA332

PINO	FUNÇÃO
1	RG – resistor para regulagem do ganho
2	Entrada (-)
3	Entrada (+)
4	Alimentação (-) ou Comum (terra)
5	Tensão de <i>off set</i>
6	Saída
7	Alimentação (+)
8	<i>Stand by</i>

4.5 . SOFTWARE DO SISTEMA

O software desenvolvido para este sistema foi implementado com a linguagem de programação *C++Builder*. A opção por esta linguagem deveu-se ao fato de que ela gera código executável no sistema operacional Windows, que tem sido o mais utilizado .

O nome do software foi escolhido como sendo SENINC (Sistema para Ensaios em Incubadoras).

O funcionamento do SENINC pode ser dividido em três módulos, conforme mostrado na Figura 4.9.



Figura 4.9 - Diagrama de blocos do software SENINC

O módulo de comunicação *1-Wire* constitui-se de um conjunto de sub-rotinas encarregadas de transmitir e receber dados dos escravos.

O módulo de comandos dos escravos utiliza *drivers* e comandos obtidos dos *data-sheets* dos componentes utilizados, com alterações necessárias ao sistema proposto.

O módulo de processamento dos dados obtidos é onde eles são analisados, gravados e mostrados na tela. Através da análise dos dados obtidos, neste módulo é verificada a funcionalidade da incubadora.

Funcionalmente, o SENINC realiza as seguintes medições, tendo como referência as Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 e a norma técnica NBR IEC 601-2-19 em sua Seção 8.

4.5.1. Verificação da condição de temperatura estabilizada: o software realiza esta verificação sempre que for solicitada uma mudança de temperatura na incubadora. Por exemplo: se a temperatura da incubadora está em 30°C e é solicitado um novo ajuste para 34°C, o software realiza os seguintes testes:

- primeiramente, verifica se o tempo para atingir a nova temperatura selecionada (no exemplo, 34°C) está em um período considerado normal. Esta verificação é útil porque, caso a incubadora tenha algum defeito que a impossibilite de alcançar a temperatura selecionada, evita-se que o sistema fique aguardando um evento que não vai acontecer. Nesta situação, é mostrada uma mensagem na tela informando que houve o problema e o usuário poderá decidir entre continuar o ensaio ou abortá-lo. A decisão tomada é registrada no relatório gerado no final dos testes;
- em seguida, o software verifica se a condição de temperatura estabilizada no novo ponto de operação é atingida. A condição de temperatura estabilizada é aquela em que a temperatura medida em cada sensor não varia em mais do que 0,5°C em medições sucessivas. Nesta situação, o software verifica, durante certo período de tempo adequado à operação que está sendo realizada, se a temperatura estabiliza. Caso não estabilize, é mostrada uma mensagem informando a ocorrência. O usuário decide pela continuidade ou não do ensaio como no item anterior.

No software desenvolvido, o tempo de espera, adotado como referência para a verificação de funcionamento das incubadoras testadas, foi arbitrado em 20 minutos. Assim, as variações de temperatura de 30 a 34°C, 32 a 36°C (solicitadas pela norma) devem ser alcançadas em um tempo inferior a 20 minutos.

A Figura 4.10 apresenta um fluxograma que mostra todo o processo de decisão para um exemplo de mudança de temperatura exigida pelo ensaio.

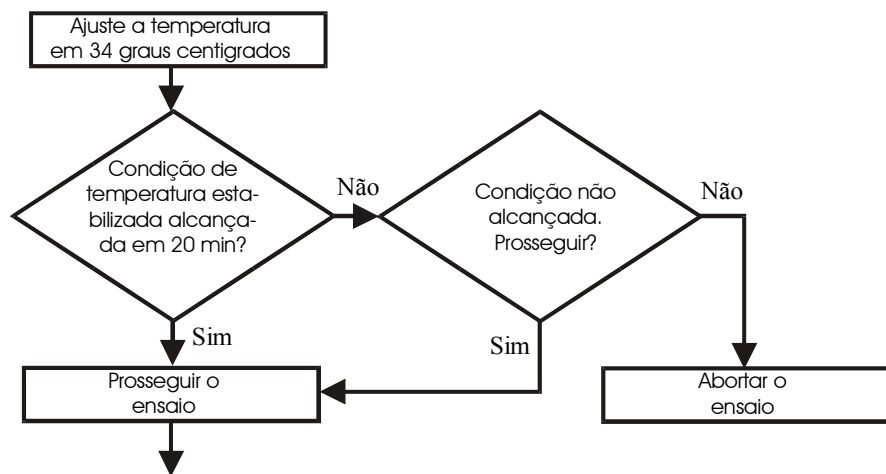


Figura 4.10 - Processo de decisão nas mudanças de temperaturas

4.5.2. Temperatura ambiente (PASSO 1)³: a incubadora deve estar num local onde a temperatura ambiente esteja entre 21°C e 26°C (NBR IEC 601-2-19, Seção 2, Item 4.5). Esta medição é realizada durante todo o ensaio com a mesma taxa de amostragem estabelecida para as outras medições. A taxa de amostragem é escolhida no início do ensaio, visto, que a norma não a especifica. Assim, o usuário poderá escolher qualquer taxa dentro da faixa permitida (Apêndice A2). Para esta medição, o sensor é colocado fora da incubadora, próximo a mesma. No sistema desenvolvido, foi especificado um comprimento do cabo de conexão que deixa o sensor da temperatura externa a 10 cm de distância da incubadora.

4.5.3. Tempo de subida (PASSO 2): tempo para que a incubadora eleve a temperatura interna 11°C acima da temperatura ambiente (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, item 50.108). Durante esta medição, a velocidade do fluxo de ar é monitorada. Deve ser de, no máximo, 0,35 m/s. Para este teste, a temperatura de controle da incubadora deve ser ajustada 12°C acima da temperatura do ambiente. Por exemplo, se a temperatura ambiente for de 23°C, a temperatura de controle da incubadora deve ser ajustada em 35°C. Quando a temperatura

³ O passo indicado é o mesmo que aparece nos arquivos de resultados obtidos apresentados no Capítulo 6. Assim, PASSO 1, é a verificação da temperatura ambiente e este mesmo número aparece no software.

interna chegar a 34°C, o tempo decorrido é registrado pelo software. Esta anotação deve, posteriormente, ser confrontada com a especificação do fabricante da incubadora, para verificação da conformidade com a norma. No caso, este tempo não pode diferir em mais de 20% do informado pelo fabricante na documentação da incubadora.

4.5.4. Medição da velocidade do fluxo de ar (PASSO 3): verifica se a velocidade do fluxo de ar, dentro da incubadora é de, no máximo, 0,35 m/s, sobre o colchão. Esta velocidade é medida no ponto D.

4.5.5. Desvio de temperatura em relação à média (PASSOS 4, 5, 6 e 7): verifica se a temperatura média no interior da incubadora é mantida, durante uma hora, com uma variação máxima de:

- $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$, com o colchão na posição horizontal;
- $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$, com o colchão em posição não horizontal.

Este requisito deve ser cumprido para duas temperaturas de controle, 32°C e 36°C (NBR IEC 601-2-19, seção 8, Item 50.101).

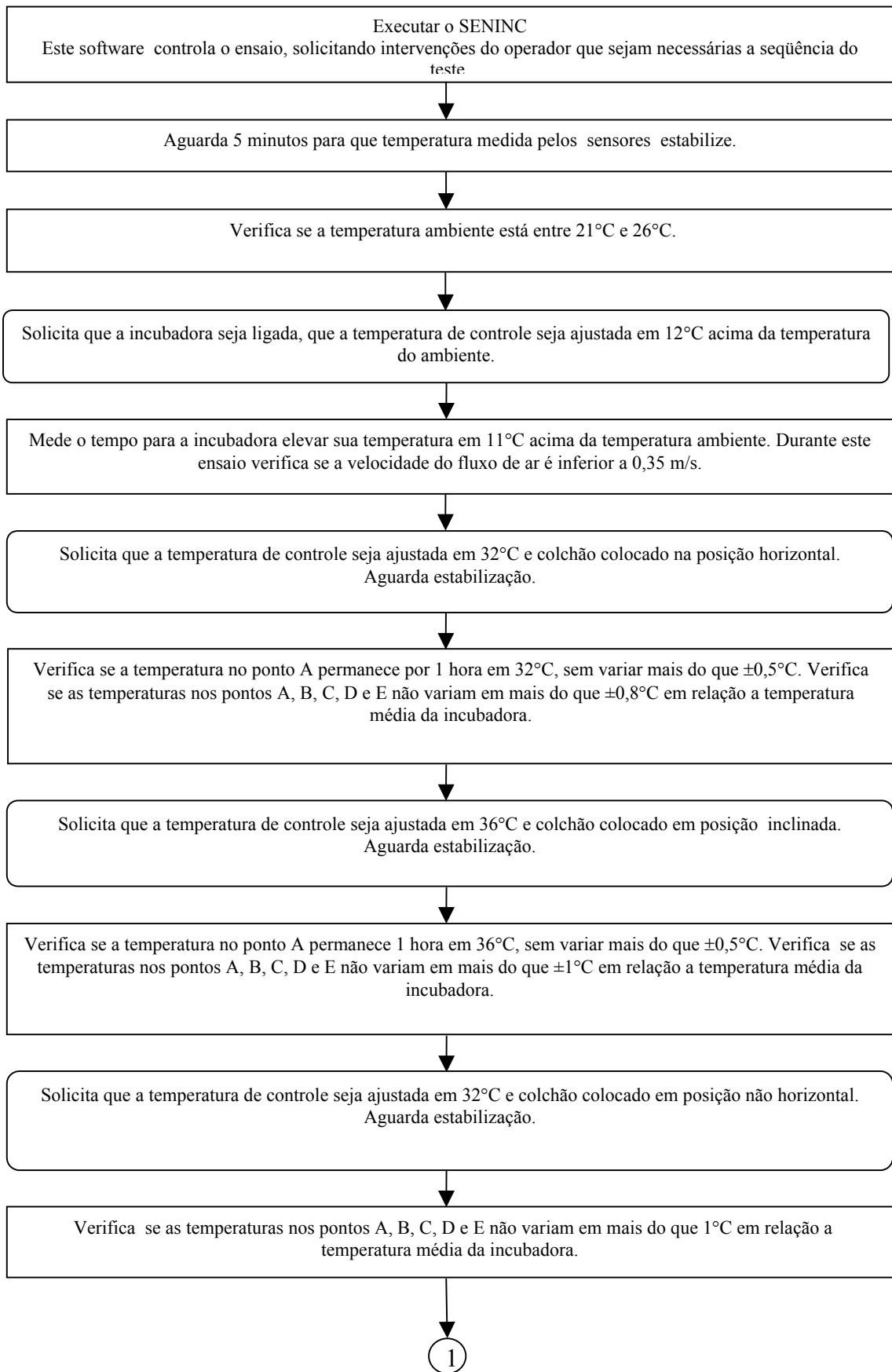
4.5.6. Sobrelevação e estabilização da temperatura na incubadora (PASSOS 8 e 9): inicia-se este teste quando a temperatura da incubadora estiver em 30°C. Em seguida, ajusta-se a temperatura de controle em 34°C e verifica-se a sobrelevação máxima. De acordo com a norma, deve ser menor do que 2°C, ou seja, não pode ultrapassar de 36°C. Caso ocorra sobrelevação, verifica-se se o retorno à condição de temperatura estabilizada em 34°C é alcançado em, no máximo, 15 minutos (NBR IEC 601-2-19, seção 8, Item 50109).

4.5.7. Medição da umidade relativa (PASSO 10): verifica se a umidade relativa do ar, no interior da incubadora, difere do valor indicado pela incubadora em, no máximo, $\pm 10\%$ da leitura. A medição da umidade relativa deve ser feita quando a incubadora estiver com a sua temperatura entre 32°C e 36°C (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 50.110). Nesta etapa, o software solicita ao usuário que informe se a incubadora possui controlador de umidade. Caso possua, é solicitada uma regulagem em 50% de UR e, em seguida, é feita a leitura e a comparação entre o valor ajustado e o valor lido, para verificação da

conformidade. Caso não possua controlador de umidade, é lido o valor da umidade relativa e seu valor é registrado no relatório de ensaio, sem nenhuma verificação de conformidade.

4.5.8. Desvio de temperatura no ponto A (PASSO 11): o ponto A de medição (centro geométrico da incubadora) registra a temperatura da incubadora (NBR IEC 601-2-19, Seção 8, Item 2.9.105). É verificado se a temperatura interna da incubadora é mantida, durante uma hora, com uma variação inferior a 0,5°C (em módulo). Este requisito deve ser cumprido para duas temperaturas de controle, 32°C e 36°C (NBR IEC 601-2-19, seção 8, Item 50.101). Este passo é realizado junto com os PASSOS 4, 5, 6 e 7.

Um fluxograma que representa a seqüência de passos solicitada pelo SENINC é apresentado na Figura 4.11.



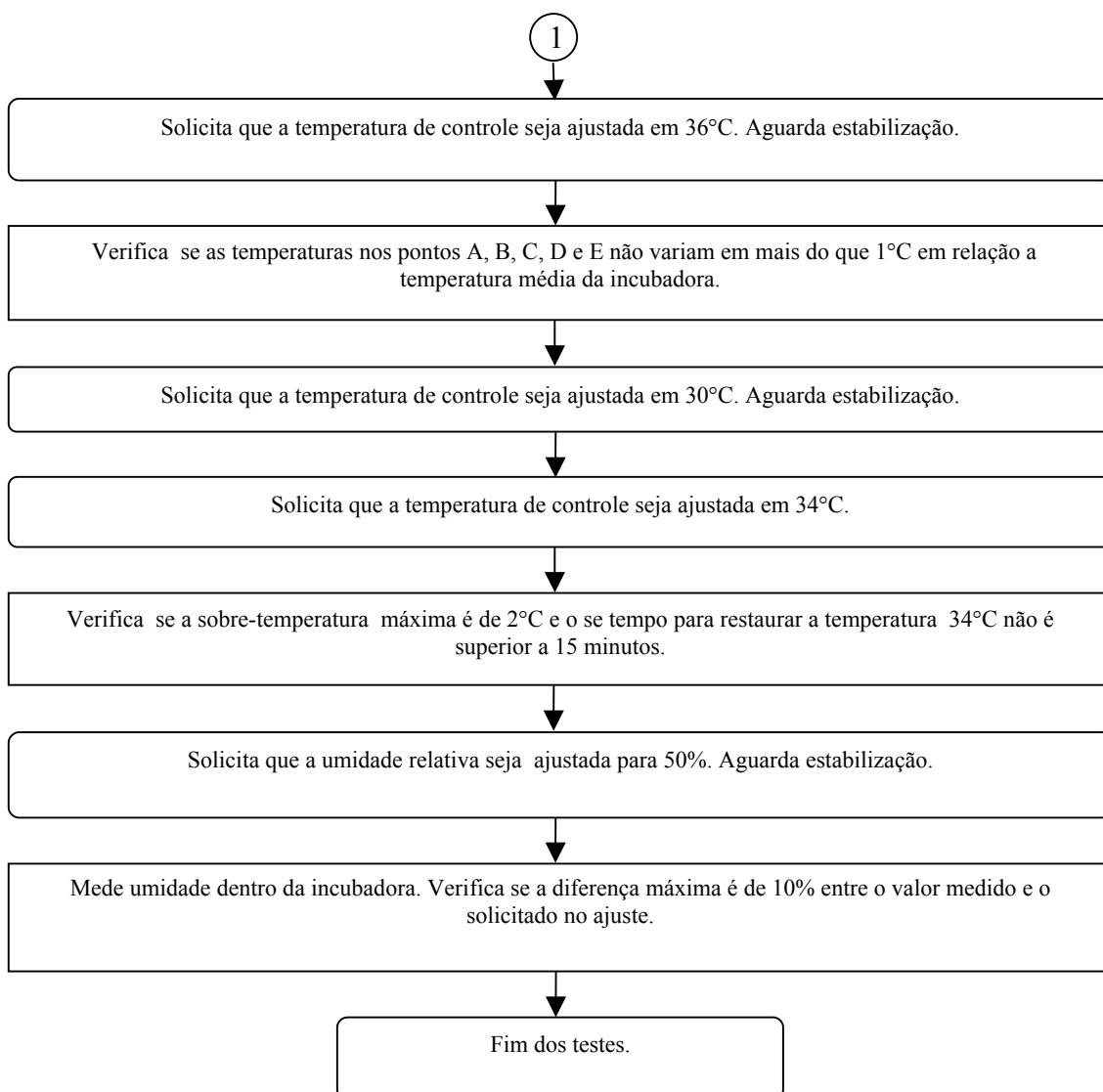


Figura 4.11 - Fluxograma da seqüência do ensaio

5. CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

A calibração dos sensores é um passo importante e necessário na obtenção de resultados corretos. Isto em função da variação de características que ocorrem durante o processo de fabricação dos sensores. Por exemplo, diversos componentes DS2438 podem apresentar entre si uma variação na indicação de temperatura de até 2°C (DALLAS SEMICONDUCTOR – DS2438 – Smart battery monitor). A calibração visa a obtenção de fatores de correção, tomando como referência a indicação de um instrumento de medição padrão, de forma que todos os sensores passem a indicar o valor real da grandeza.

A calibração dos sensores foi feita no LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Térmicas dos Materiais), do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). Em seguida, é descrito o processo para cada sensor.

5.1 SENSORES DE TEMPERATURA

Os sensores de temperatura foram calibrados utilizando uma estufa e um termômetro padrão de mercúrio, com precisão e resolução de 0,1°C. O módulo de *hardware* do sistema desenvolvido e o termômetro de mercúrio foram inseridos na estufa. Um microcomputador foi acoplado ao *hardware* e utilizado para executar o software SENINC.

A estufa utilizada possui as seguintes características:

- potenciômetro para regular a temperatura, entre 10°C e 70°C;
- porta de vidro para possibilitar a visualização interna do termômetro de mercúrio sem necessidade de abertura da porta. A abertura da porta poderia provocar um desequilíbrio na temperatura interna da estufa, afetando a indicação dos sensores.

O termômetro e os sensores foram colocados no interior da incubadora, num mesmo plano. O termômetro foi colocado de tal forma a permitir sua leitura do exterior. A porta da estufa foi fechada. Foi aguardado um período adequado à estabilização dos sensores, sendo esta verificada através das leituras mostradas na tela do microcomputador. Após este período, foi feita a primeira leitura indicada pelo termômetro e pelos cinco sensores. Em seguida, iniciou-se um procedimento de aumento gradual de temperatura em passos de, aproximadamente, 2°C. Em cada passo, foi aguardado um período adequado à estabilização da temperatura interna. Após a verificação da estabilização (através da

indicação mostrada na tela do microcomputador), foi feita uma nova leitura em cada sensor. Todo o procedimento foi repetido três vezes de modo que se obteve três conjuntos de leituras. Com este método, pode-se verificar a repetibilidade das leituras e sua precisão. A Tabela 5.1 mostra um conjunto de dados obtidos.

Com os valores obtidos para cada sensor, calculou-se os coeficientes da reta de regressão linear em cada conjunto de leituras. Depois, para cada sensor, foi feita uma média dos coeficientes encontrados nos três ensaios e o resultado, um coeficiente linear e um coeficiente angular, foi introduzido no software a fim de corrigir as leituras.

O procedimento descrito acima é exemplificado a seguir para o sensor localizado no ponto A, apresentando-se um único conjunto de medidas com sete valores (Figura 5.1).

Tabela 5.1 - Dados experimentais obtidos para calibração dos sensores de temperatura (°C)

temp. real	A	B	C	D	E	EXT
28,00	27,25	26,50	27,66	26,50	33,30	27,75
30,00	29,56	28,69	30,00	28,44	35,66	30,30
32,00	30,88	29,41	30,44	29,47	37,10	30,80
34,50	33,75	32,19	33,34	32,38	40,00	33,75
37,00	36,00	34,53	35,72	34,69	42,78	35,90
38,00	37,34	35,84	36,88	35,99	43,91	37,10
40,00	39,19	37,63	38,75	37,69	45,75	39,10

A Figura 5.1 mostra a curva obtida com os dados reais do Sensor A e sua reta de regressão. A partir da reta, obteve-se os coeficientes de regressão linear, com a utilização de software comercial.

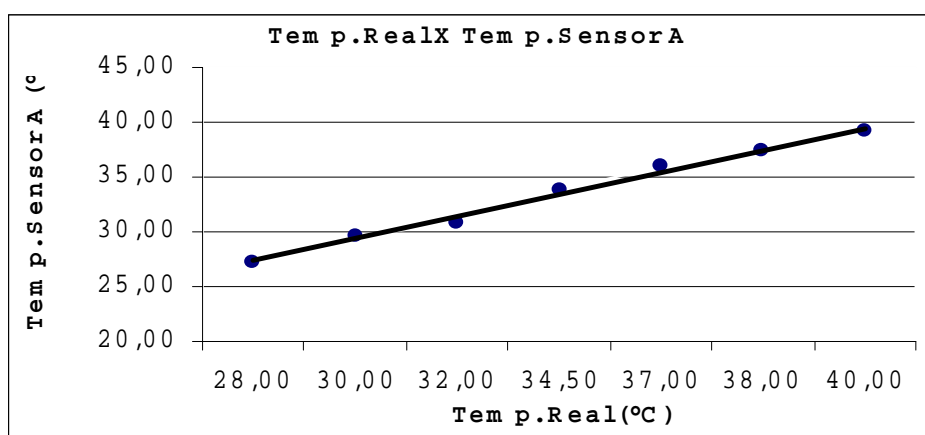


Figura 5.1 – Pontos experimentais obtidos com o Sensor A e a reta de regressão linear

É conveniente lembrar que a calibração foi feita apenas para a faixa solicitada pela norma (20°C a 40°C). Fora desta faixa a indicação da temperatura pode não estar correta.

As incertezas na indicação da temperatura devem-se a resolução do conversor AD, a erros introduzidos no processo de calibração e a erros do próprio sensor. A resolução do conversor AD do DS18S20 é de 0,05°C. O erro introduzido pelo processo de calibração, admitindo não haver erros grosseiros, é o erro do próprio termômetro padrão utilizado, que é de 0,1°C. O erro do sensor é sua própria resolução (DALLAS SEMICONDUCTOR. *Application Note 208*). As duas fontes de incerteza de medição são independentes, de modo que a incerteza total da medição corresponde a soma das duas fontes de incerteza (GONÇALVES JR., ARMANDO ALBERTAZZI), assim tem-se:

$$I_c = I_s + I_p \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Onde:

I_c é a incerteza combinada;

I_s é a incerteza do sensor de temperatura;

I_p é a incerteza do padrão utilizado.

Aplicando os valores tem-se:

$$I_c = 0,1 + 0,05 = 0,15^\circ C$$

Percebe-se que a maior influência da incerteza desta medição reside na precisão do termômetro utilizado como padrão.

No caso da medição de temperatura interna, o procedimento para a determinação da incerteza combinada é o mesmo do utilizado para a medição da temperatura externa, utilizando as características técnicas do sensor utilizado, o DS2438. A incerteza máxima apresentada por este sensor é de 0,2°C e o erro do termômetro padrão é 0,1°C. Assim, tem-se:

$$I_c = 0,1 + 0,2 = 0,3^\circ C$$

5.2. SENSOR DE UMIDADE RELATIVA

Conforme já citado anteriormente, este sensor já é fornecido pelo fabricante com os dados de calibração, por isso não houve necessidade de calibrá-lo. O sensor utilizado

neste sistema gera uma tensão de saída em relação a umidade relativa do ar, conforme mostrado na Figura 5.2.

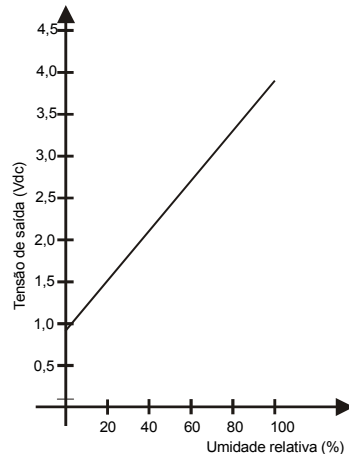


Figura 5.2 - Tensão de saída em função da umidade relativa do ar

A incerteza desta medição está relacionada à precisão do sensor e a resolução do conversor AD. De acordo com os dados fornecidos pelo fabricante do sensor a variação de tensão na faixa de medição da umidade relativa é:

- para 0% de UR a tensão de saída do sensor é de 0,8863V;
- para 100% de UR a tensão de saída é de 3,9713V.

Ou seja, há uma excursão total de tensão de 3,085V, logo, para cada ponto percentual de variação de umidade relativa há uma variação de tensão de saída do sensor de 30,85 mV.

O conversor AD utilizado neste trabalho possui resolução de 10 bits, ou seja, 1024 passos de resolução, isto implica que, dentro da faixa de tensão de operação do sensor, a cada 30,13 mV o conversor AD acusa uma mudança de estado de saída.

Considerando que a cada 30,85 mV ocorre uma variação de 1 ponto percentual na umidade relativa, implica que o erro máximo que pode ocorrer é de:

$$\text{Erro}_{em_função_conversor_AD} = \frac{30,13}{30,85} = 0,98\%$$

De acordo com os dados obtidos do fabricante do sensor, este possui uma precisão de 2%. Considerando-se que os erros de conversão e do sensor são independentes, aplica-se a somatória direta das duas fontes de incerteza (GONÇALVES JR., ARMANDO ALBERTAZZI). Assim obtém-se:

$$I_c = 2 + 0,98 = 2,98\%$$

Onde, I_c é a incerteza combinada das duas fontes existentes no processo.

Valor este dentro das exigências da norma, visto que, para esta medição, a norma indica uma possível variação de até 10% de umidade relativa.

5.3. SENSOR DE DESLOCAMENTO DO AR

O sistema para a medição do fluxo de ar foi calibrado utilizando-se um túnel de vento, um anemômetro térmico calibrado pelo fabricante e um microcomputador com o software SENINC. O túnel de vento (Plint & Partners Ltda) apresenta uma regulagem na velocidade do ar no seu interior entre 0 e 5 m/s.

A variação da velocidade do ar é obtida através da rotação de uma hélice conectada a um motor.

O anemômetro térmico utilizado durante a calibração (AIRFLOW, modelo TA5) possui as seguintes características:

Tabela 5.2 - Características do anemômetro TA5

MODELO	TA5 (AIRFLOW)
Faixa de medição	0-2 m/s
Resolução	0,01 m/s
Precisão	2% (a 20°C e 1013 mbar)

Para a velocidade do ar, a norma técnica não indica a necessidade de efetuar sua medição. Apenas requer que esteja abaixo de 0,35 m/s. Assim sendo, o sensor irá apenas indicar se a velocidade do ar atende tal requisito.

Como descrito para os sensores de temperatura, sempre se aguarda a estabilização do sensor antes de se registrar valores. A etapa da calibração deste sensor, a velocidade do fluxo de ar foi mantida em 0,35 m/s (limite máximo permitido dentro da incubadora). Para esta velocidade, obteve-se um valor de tensão mostrada pelo sensor na tela do computador. Em seguida, alterou-se a velocidade do fluxo de ar entre 0,10 m/s e 0,55 m/s, mantendo-se a temperatura do ar constante, neste caso, 23,5°C (temperatura ambiente no laboratório onde foi realizado o ensaio). Para corrigir o valor de tensão indicado pelo sensor em temperaturas diferentes de 23,5°C, realizou-se um ensaio na estufa utilizada para a calibração dos sensores de temperatura. O sensor de velocidade do fluxo de ar foi colocado dentro da estufa com o ar parado (0 m/s). Após a estabilização, a temperatura da estufa foi alterada, dentro da faixa de interesse para as incubadoras (20°C até 40°C) e, para vários valores da temperatura registrou-se a tensão indicada pelo sensor. As Figuras 5.3 e 5.4 mostram as curvas feitas com os dados obtidos nos dois procedimentos descritos.

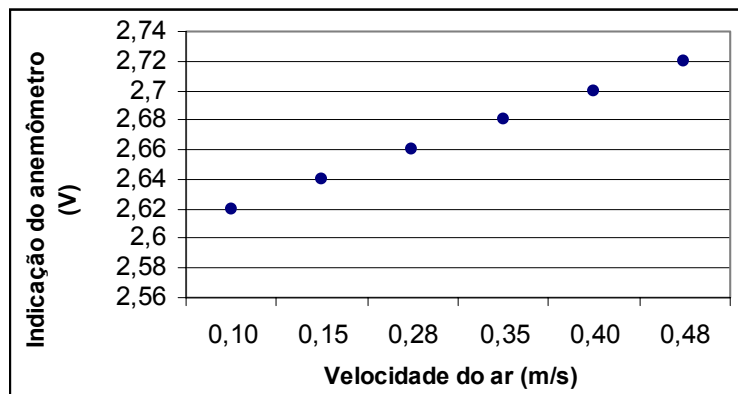


Figura 5.3 – Indicação do anemômetro em função da velocidade do ar à temperatura ambiente de 23,5°C

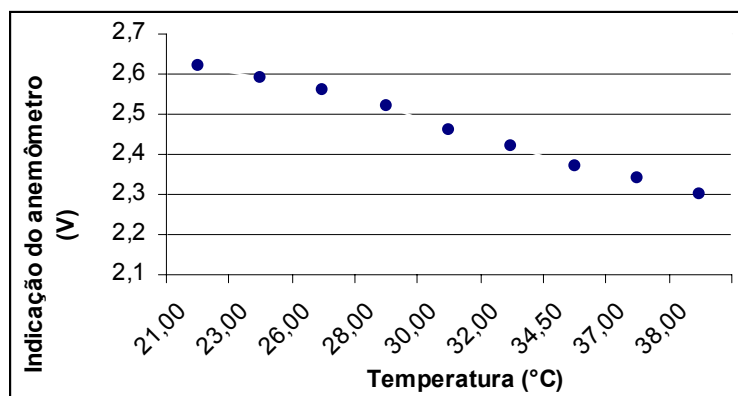


Figura 5.4 – Indicação do anemômetro em função da temperatura com ar parado (0 m/s)

Para corrigir o valor indicado pelo sensor de velocidade do ar em função da temperatura, foi obtido um polinômio de grau 1 (Eq. 5.1) a partir dos dados obtidos no ensaio de variação do valor lido em função da temperatura. Com este polinômio, calcula-se o valor que deveria ser mostrado se a temperatura ambiente fosse de 23,5°C e velocidade do ar em 0,35 m/s. Foi utilizada a temperatura de referência em 23,5°C porque foram obtidos com a mesma os resultados mostrados durante o ensaio no túnel de vento. Assim, se o valor indicado estiver abaixo, é porque a velocidade do ar está acima do limite permitido.

$$Tensão_indicada = -0,0243 * Temperatura_real + 3,2414 \quad (Eq. 5.2)$$

Aplicando-se valores à equação acima, conclui-se que, para uma temperatura de 23,5°C e velocidade do fluxo de ar em 0,35 m/s, a tensão indicada pelo circuito é de 2,67 V.

Para a calibração deste sensor, o ideal teria sido colocar todo o dispositivo de medição e o túnel de vento dentro de uma estufa. Mantida a velocidade do fluxo de ar em 0,35 m/s poder-se-ia ter variado a temperatura da estufa dentro da faixa de interesse (20 a 40°C) e, para cada valor de temperatura, anotada a indicação do anemômetro. Nesta condição não haveria necessidade de se realizar a calibração em dois passos (indicação do anemômetro para várias velocidades do fluxo de ar com temperatura constante e indicação para várias temperaturas com velocidade zero). No entanto, não se possuía uma estufa suficientemente grande para abrigar o túnel de vento. Assim, decidiu-se pela calibração em dois passos.

As fontes de incerteza desta medição devem-se a precisão dos instrumentos utilizados para a realização do ensaio (anemômetro e termômetro, sendo que para o termômetro devem ser considerados, tanto o que foi utilizado na calibração, como o que vai ser utilizado na leitura da temperatura, quando o ensaio estiver sendo realizado), à resolução do conversor AD e a precisão do termistor. Deve-se notar que o objetivo desta medição, segundo o requisito da norma técnica, não é informar a velocidade do ar, mas sim, apenas detectar se ocorre a ultrapassagem do valor teto de 0,35 m/s. Assim, foi estipulada uma tensão limite corrigida pela diferença da temperatura de acordo com a Eq. 5.2, na entrada do conversor A/D. Quando esta tensão é ultrapassada o sistema informa que houve ultrapassagem, porém, não indica a velocidade do ar. Desta maneira, a medição do fluxo de ar é feito de modo indireto e a incerteza desta tensão limite é a que produz a incerteza do resultado final.

Para determinar a incerteza desta tensão precisa-se considerar os erros máximos dos instrumentos de medição, que são:

- Anemômetro: 2% do valor indicado. No valor de interesse, 0,35 m/s, o erro absoluto do anemômetro é de 0,007 m/s;
- Termômetro utilizado na calibração: 0,1°C;
- Termômetro utilizado na medição (Sensor de temperatura do DS2438): 0,2°C.

A incerteza do termômetro utilizado na calibração e do utilizado na medição são totalmente independentes, de modo que as duas se somam, assim, a incerteza total devida às medições de temperatura, é de 0,3°C.

Utilizando-se a equação da correção da tensão em função da temperatura (Eq. 5.2), nota-se que uma variação de 0,3°C produz uma variação de 7,29 mV. Considerando-se que a tensão de saída do circuito em 23,5°C é de 2,67V, conclui-se que a incerteza introduzido no circuito em função do erro da medição do termômetro é de:

$$I_t = \frac{7,29}{2670} \times 100 = 0,27\%$$

Onde: I_t é a incerteza combinada dos termômetros.

A incerteza devida ao anemômetro, considerando-se apenas a região de interesse, pode ser considerada como sendo a própria precisão do anemômetro, ou seja, 2%.

A incerteza introduzida pela resolução do conversor AD pode ser determinada através do conhecimento da resolução do conversor, 10 bits, e da sensibilidade do circuito. A resolução de 10 bits possibilita 1024 passos de conversão. A sensibilidade do circuito pode ser determinada, analisando-se os dados obtidos, na faixa de 0,35 m/s de velocidade do fluxo de ar. Pela tabela nota-se que nesta região o circuito possui uma variação de 30 mV para cada 0,05 m/s de variação da velocidade do fluxo de ar. De acordo com informações obtidas junto ao fabricante (DALLAS – DS2438 Smart battery monitor), o conversor AD do DS2438, na faixa de tensão em que está sendo utilizado e com tensão de alimentação de 5 V (Neste caso a tensão mínima da entrada do conversor AD é de 1,5 V e a máxima é de 5V), apresenta uma resolução de:

$$resolução_do_conversor_AD = \frac{5-1,5}{1024} = 3,4mV$$

Considerando-se que na faixa de tensão de interesse, a variação da tensão de saída é de 30 mV para cada 0,05 m/s de variação da velocidade do fluxo de ar, tem-se que a resolução mínima da velocidade do fluxo de ar é de:

$$resolução_mínima_da_velocidade = \frac{3,4}{30} \times 0,05 = 0,0057m/s$$

Este valor, tomado em relação ao valor que se pretende medir, 0,35 m/s, representa o seguinte percentual:

$$I_{conv} = \frac{0,0057}{0,35} \times 100 = 1,6\%$$

Onde: I_{conv} é a incerteza, percentual introduzida pela resolução do conversor AD.

O erro do termistor é compensado no processo de calibração. Notar que a curva de variação de resistência varia entre vários termistores com o mesmo valor nominal varia, porém, não varia para um mesmo termistor. Assim, a curva é única e fixa para cada termistor (AMETHERM, 2002).

Do exposto pode-se compor a incerteza total da medição através da soma das incertezas individuais, visto serem todas independentes entre si, assim tem-se:

$$I_c = \sum_{k=1}^n I_k \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Onde: I_c representa a incerteza combinada do sistema de medição;

I_k é a incerteza de cada elemento que compõe o sistema de medição.

No caso desta medição, tem-se:

$$I_c = 0,27 + 2 + 1,6 = 3,87\%$$

A norma técnica não cita nenhum requisito para a medição do fluxo de ar, portanto, uma incerteza de 3,87% é perfeitamente adequada à medição que está sendo realizada.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Os testes em campo foram feitos em hospital no interior do Estado de Santa Catarina, entre os dias 15 a 31 de maio de 2003. A taxa de amostragem utilizada foi de 1 medição/minuto. A Figura 6.1. mostra o sistema durante o ensaio. O PC foi instalado em uma mesa ao lado da incubadora. O dispositivo posicionador dos sensores foi colocado dentro da incubadora (pode ser visto na Figura 6.1). A conexão (cabo *UTP*) entre as duas partes é vista na mesma figura, saindo do PC e chegando até a incubadora. Nas extremidades do cabo de conexão são utilizados conectores RJ45 (rede de computador) o que torna sua instalação simples e fácil de ser executada. A instalação do software também é muito simples e prática: basta copiar o arquivo executável (*SENINC.exe*) para um diretório do *HD* (*Hard Disc*) do computador. A execução do software pode ser feita diretamente a partir do arquivo *SENINC.exe* (através de dois *clicks* sobre o nome do mesmo) ou através de ícone que pode ser criado na área de trabalho da tela do PC. A instalação do sistema ficou muito prática e simples, tanto na parte de *hardware* como na parte de *software*. A Figura 6.1 mostra a montagem utilizada para realizar os ensaios.



Figura 6.1 – Sistema montado durante o ensaio

O software desenvolvido apresenta os resultados na tela do computador (Figura 6.2), em forma de arquivo texto ou em forma gráfica. A Figura 6.3 contém um exemplo da apresentação em forma gráfica. Maior detalhamento destas telas é apresentado no Apêndice A2. Um arquivo é apresentado no final do ensaio, contendo um resumo geral das ocorrências.

Para o ensaio, foram utilizadas duas incubadoras, ambas marca Fanem, uma modelo C-86 e a outra, modelo CT186 .

A incubadora modelo CT186 possui um sistema de controle totalmente digital e microprocessado. A modelo C-86, possui o sistema de controle analógico.

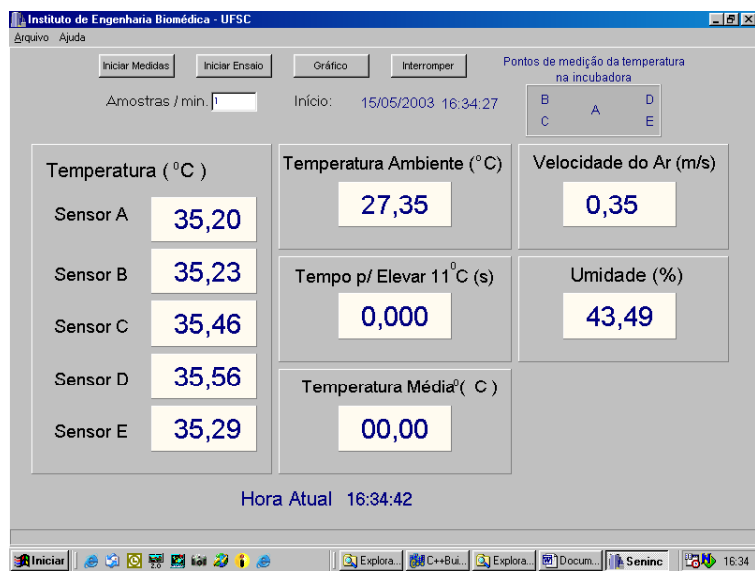


Figura 6.2 - Sistema durante a aquisição de dados

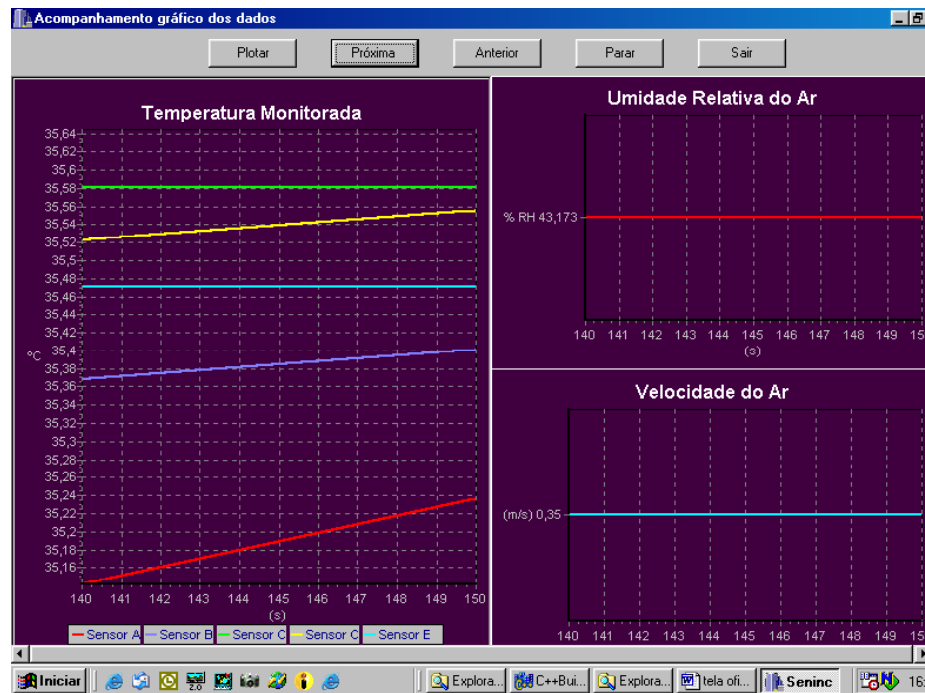


Figura 6.3 - Tela de acompanhamento gráfico durante o ensaio

No apêndice A4 são mostrados dois arquivos gerados em ensaios realizados em incubadoras pertencentes a um hospital do interior do Estado de Santa Catarina. Os arquivos foram gerados durante o ensaio de duas incubadoras de uso normal no hospital. Analisando os resultados obtidos vê-se que:

- No arquivo 1, houve uma medição fora da faixa permitida no PASSO 5. Em relação a este resultado deve-se observar que o fato ocorreu apenas uma vez, visto que o software deste sistema grava todas as não conformidades que ocorrem, independentemente de estarem dentro do mesmo passo de teste. Por exemplo: se a não conformidade tivesse ocorrido várias seguidas, o fato teria sido gravado no arquivo a cada ocorrência.

- No Arquivo 2 não há nenhuma não-conformidade em relação à norma.

O software não indica se a incubadora deve ou não ser considerada anormal. Ele informa todas as não conformidades e a avaliação da sua gravidade deve ser feita por um responsável técnico.

7. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Com relação ao procedimento de calibração, é importante enfatizar que o termômetro utilizado para a calibração dos sensores de temperatura apresenta uma precisão e resolução de 0,1°C. A norma técnica exige um termômetro padrão com precisão e resolução de 0,05°C. Como não se dispunha de um termômetro com esta classe de precisão e resolução, fez-se a calibração com o que havia disponível. Portanto, recomenda-se que a calibração seja novamente realizada, assim que se conseguir um termômetro com as características especificadas pela norma.

É importante observar que se ocorrer algum dano a qualquer sensor o serviço de manutenção deve ser feito pelo fabricante, pois a troca de sensor implica na necessidade de uma nova calibração com a introdução no software dos dados de calibração do sensor trocado. Também, como já citado anteriormente, a troca de qualquer componente 1-Wire implica na necessidade de introdução do seu número serial no software. Este também é um procedimento que deve ser feito pelo fabricante.

O primeiro protótipo desenvolvido para avaliação de incubadoras no IEB-UFSC (Iaione, 1999) apresentou os resultados esperados. Porém, a limitada interação do protótipo com o seu operador (por meio de display de cristal líquido) requer que o mesmo receba treinamento. Esta interação é necessária uma vez que os controles da incubadora devem ser alterados ao longo do ensaio. A norma requer que diferentes medidas sejam realizadas para diferentes condições de operação, necessitando que o operador realize ajustes na incubadora. Para tornar mais intuitiva a utilização de um sistema para esta finalidade, a experiência do primeiro trabalho foi incorporada a um sistema baseado em microcomputador com sistema operacional Windows. A utilização deste sistema operacional tornou o uso do sistema aqui descrito similar a outros aplicativos. A interação com o operador é realizada através do monitor do microcomputador onde as ações a serem executadas são descritas de forma clara, sem que o operador necessite obter conhecimento prévio sobre os requisitos da norma.

A inexistência de um dispositivo automático torna praticamente impossível o cumprimento das exigências da norma. Seria necessário possuir seis termômetros, um anemômetro e um higrômetro, todos eles posicionados manualmente nos locais indicados na norma. As medições de velocidade do fluxo de ar e de umidade relativa, pelo fato de serem feitas em apenas um local, podem ser realizadas de acordo com as prescrições da

norma. No caso das medições de temperatura, existe a dificuldade de se realizar a leitura dos cinco sensores internos simultaneamente, em intervalos de poucos segundos, durante o período de uma hora (prescrição da norma). Os dados obtidos precisam ser anotados. Com base nestas leituras, calcula-se a temperatura média e são feitas as verificações exigidas pela norma. Este procedimento é muito trabalhoso e susceptível a erros, em função do volume de leituras e cálculos envolvidos.

O sistema descrito neste trabalho soluciona estes problemas. As intervenções do operador, durante o ensaio, limitam-se às mudanças nas condições de operação da incubadora (temperatura selecionada e posição do colchão), sem nenhuma influência do mesmo sobre as medições.

Foi inicialmente estabelecido, como pré-requisito fundamental, que o sistema fosse prático, tanto na sua instalação como na sua operação. A realização dos ensaios comprovou tal característica, através da opinião dos profissionais (enfermeiras, médicos e engenheiros) que o presenciaram e que receberam explicações sobre a operação do dispositivo.

Espera-se, assim, que o sistema venha, efetivamente, a ser utilizado em hospitais e oficinas de manutenção de modo a assegurar a segurança das incubadoras e uma melhor prestação de serviços à sociedade.

APÊNDICE

APENDICE A1: REQUISITOS DO MICROCOMPUTADOR PARA A EXECUÇÃO DO SOFTWARE SENINC

O microcomputador utilizado deve ser do PC ou compatível com as seguintes especificações mínimas:

- *HD (Hard Disk)* com capacidade de 1 GB;
- 32MB de memória RAM;
- porta paralela disponível;
- sistema operacional Windows 95/98/2000/XP instalado (é necessário que seja uma versão em 32 bits);
- mouse.

APÊNDICE A2: USO DO SOFTWARE SENINC

A2.1. TELA PRINCIPAL

Após a instalação e execução do software pode-se visualizar a tela principal, mostrada na Figura A2.1

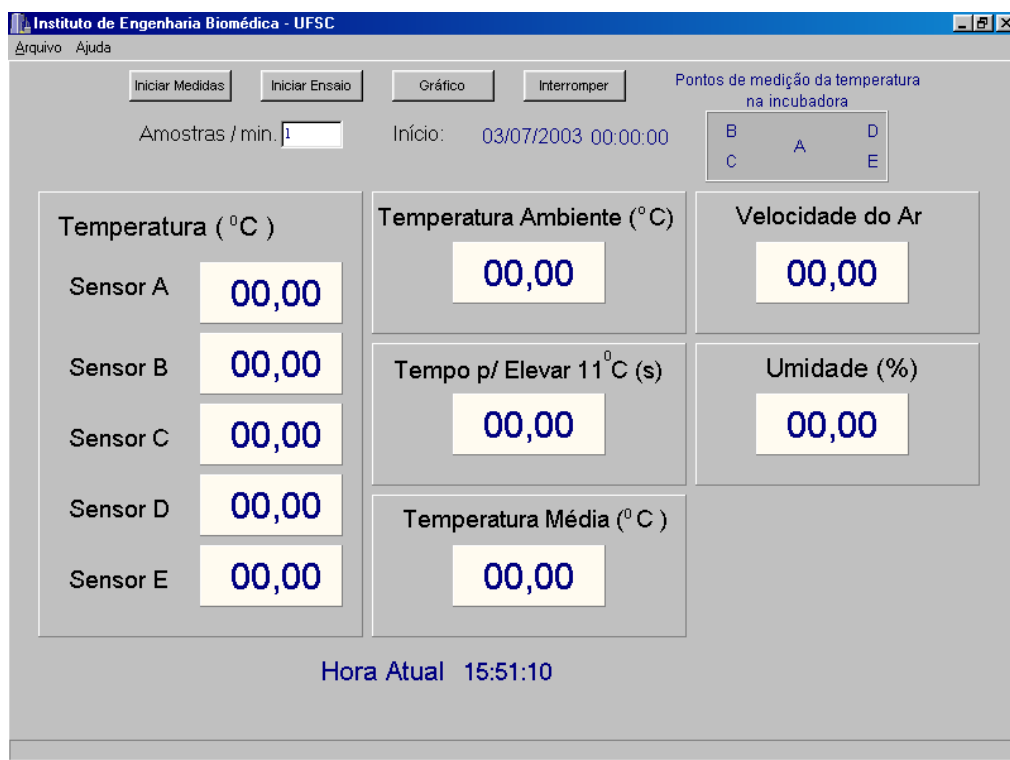


Figura A2.1 - Tela principal do SENINC

Botões:

- **iniciar medidas:** realiza as medidas sem arquivar dados. Pode ser utilizado para verificar o correto funcionamento dos sensores e a estabilização da temperatura dos sensores antes do início do ensaio propriamente dito;
- **iniciar ensaio:** realiza o ensaio de acordo com a norma NBR IEC 601-2-19, gravando resultados e dados em arquivo. Neste modo é, primeiramente, solicitado o nome do arquivo onde serão gravados os dados. Em seguida, solicita-se o nome do cliente e do modelo de incubadora que será testada. Estes dados são gravados no cabeçalho do arquivo, conforme pode-se observar nos arquivos de ensaios apresentados. Após estas informações, inicia-se a captação de dados pelos sensores;
- **gráfico:** apresenta tela contendo os valores amostrados em forma gráfica. Ver descrição da tela dos gráficos (Seção A2.2);
- **interromper:** pára o ensaio e todas as medições obtidas até o momento são guardadas em arquivo. Pode ser utilizado para interromper um ensaio que apresentou algum problema. Não é mais possível reiniciar um ensaio previamente interrompido, desta maneira garante-se que os dados mostrados no arquivo gravado são fidedignos, principalmente no tocante a data e hora.

Sensores:

- **temperatura:** os sensores A, B, C, D e E mostram a temperatura destes pontos. Observar à direita e na parte superior da tela, a posição relativa dos sensores dentro da incubadora;
- **temperatura ambiente:** temperatura da sala onde está a incubadora;
- **umidade:** medida no sensor localizado na posição A;
- **velocidade do fluxo de ar:** medida no sensor localizado na posição E;

- **tempo para elevar 11°C:** tempo, em minutos, para a incubadora elevar a temperatura interna em 11°C;
- **temperatura média:** temperatura média no interior da incubadora. É calculada no final do teste.

Informações gerais:

- **amostras/min:** define a quantidade de amostras por minuto a serem realizadas pelo sistema. A norma NBR IEC 601-2-19 não define taxa de atualização das leituras. Por isso, este software permite escolher este intervalo. O software sugere, por *default*, a taxa de 1 amostra/minuto. O número máximo de amostras permitido é de 60 (1 amostra/segundo). Qualquer valor menor que este é permitido;
- **início:** apresenta a data e a hora de início do ensaio. Esta data é a mesma do sistema operacional, por isso é conveniente ter certeza de que o computador utilizado está com a data e hora corretas;
- **pontos de medição da temperatura na incubadora:** mostra a posição relativa dos sensores dentro da incubadora;
- **hora atual:** apresenta a hora atual do sistema, *on line*.

A2.2. TELA DE ACOMPANHAMENTO GRÁFICO

Esta tela é acionada através do botão *Gráfico* da tela principal e é mostrada na Figura A2.2.

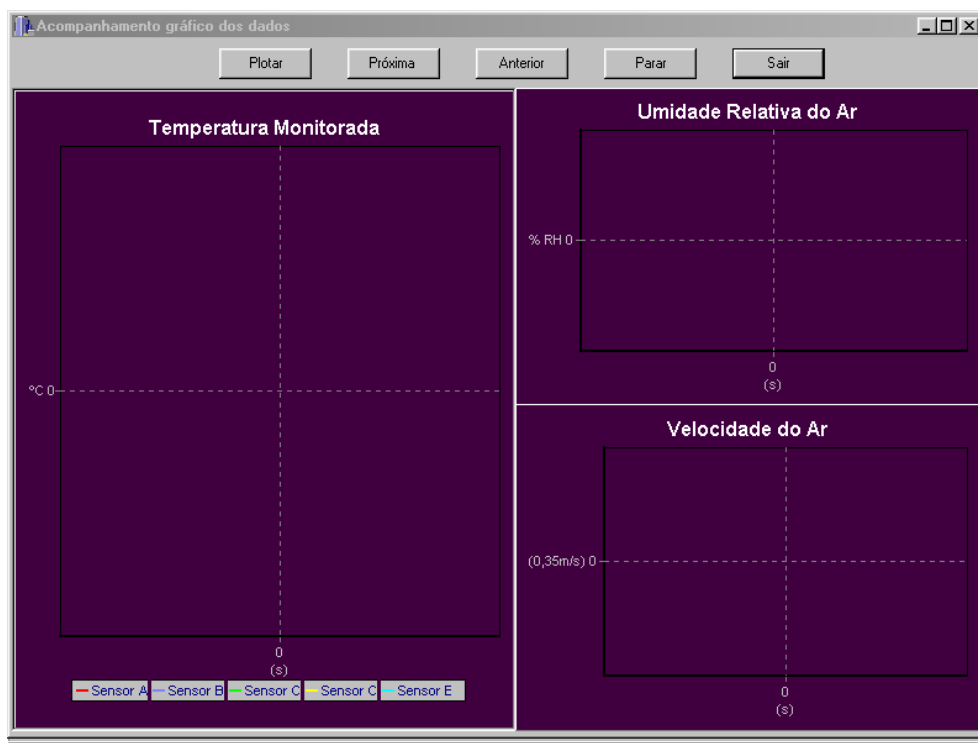


Figura A2.2 - Tela de plotagem dos gráficos no SENINC

A escala do eixo das coordenadas é definido pelo número de amostras escolhido. A escala das abscissas é feita automaticamente pelo software, de acordo com os valores lidos.

Botões:

- **plotar:** inicia a plotagem dos dados na tela do computador. Cada medição realizada é apresentada na tela. A cada seis medições (valor arbitrado) a tela é preenchida, e uma nova tela é iniciada. A tela preenchida é arquivada, podendo ser acessada através dos botões 'próxima' e 'anterior';

- **próxima:** apresenta a tela seguinte. Este botão, juntamente com o botão ‘Anterior’, permite navegar pelas várias telas que já foram completadas durante o ensaio. Esta opção só apresenta resultado se, previamente tiver sido utilizada a opção ‘Anterior’;
- **anterior:** se houverem telas anteriores, é possível voltar a elas através deste botão;
- **parar:** interrompe a plotagem de dados;
- **sair:** sai da tela de plotagem gráfica e volta para a tela principal.

Informações:

- **temperatura monitorada:** apresenta o acompanhamento da temperatura em cada sensor;
- **umidade:** mostra a umidade relativa;
- **velocidade do fluxo de ar:** mostra a velocidade do fluxo de ar.

APÊNDICE A3: INFORMAÇÕES DO ARQUIVO GERADO

O arquivo gerado pelo sistema de monitoração de incubadoras neonatais, possui o formato padrão ASCII que pode ser lido em qualquer editor de texto. Apresenta um cabeçalho com a identificação da instituição que desenvolveu este trabalho e, em seguida, a identificação do usuário e do equipamento em teste. Após o início do ensaio, todos os eventos relevantes ocorridos durante o ensaio são gravados no arquivo. No Apêndice A4, apresenta-se uma cópia completa deste arquivo.

APÊNDICE A4: ARQUIVOS GERADOS EM DOIS ENSAIOS DE INCUBADORAS REALIZADOS EM UM HOSPITAL

Arquivo 1: Incubadora analógica

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
INSTITUTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA
SENINC - SISTEMA PARA ENSAIO DE INCUBADORAS

RELATÓRIO DE ENSAIO EM INCUBADORAS NEONATAIS
=====

Data do ensaio: 16/05/2003 Hora do inicio do ensaio: 07:39:21

CLIENTE: Hospital
EQUIPAMENTO EM TESTE: Incubadora 1500 - Marca Fanem
=====

PASSO 1:

MEDIÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE NO INICIO DO ENSAIO.

FAIXA PERMITIDA: 21°C ATÉ 26°C.

07:39:35 Temperatura ambiente no início do ensaio: 25°C.

PASSO 2:

MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR. VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA=0,35 m/s.

07:41:38 Velocidade do ar: Menor do que 0,35 m/s.

PASSO 3:

TEMPO PARA ELEVAR A TEMPERATURA EM 11°C.

08:07:38 Tempo para elevar a temperatura em 11°C (min): 25.

PASSO 4:

MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 32°C.

A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 0,8°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.

08:08:40 Temperatura de controle ajustada em 32°C e colchão na posição horizontal

09:09:01 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 5:

MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO EM POSIÇÃO NÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 32°C.

A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 1,0°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.

09:09:12 Temperatura de controle ajustada em 32°C e colchão fora da posição horizontal

09:25:45 Temperatura no ponto E varia em mais de 1°C em relação a temperatura média

PASSO 6:

MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 36°C. A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 0,8°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.

10:11:10 Temperatura de controle ajustada em 36°C e colchão na posição horizontal

11:11:16 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 7:

MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO EM POSIÇÃO NÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 36°C.

A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 1,0°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.

11:12:31 Temperatura de controle ajustada em 36°C e colchão fora da posição horizontal

12:12:45 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 8:

VERIFICAÇÃO DA SOBREELEVAÇÃO DA TEMPERATURA.

MÁXIMA PERMITIDA: 2°C

12:14:40 Temperatura de controle ajustada em 30°C.

12:25:41 Temperatura de controle ajustada em 34°C.

PASSO 9:

VERIFICAÇÃO DO TEMPO PARA RESTAURAÇÃO DA TEMPERATURA SELECIONADA (34°C).

MÁXIMO PERMITIDO: 15 min.

12:35:42 Tempo para restaurar a temperatura (min):06

PASSO 10:

MEDIÇÃO DA UMIDADE RELATIVA.

ESTA INCUBADORA NÃO POSSUI CONTROLE DE UMIDADE.

MÁXIMA DIFERENÇA PERMITIDA ENTRE O VALOR AJUSTADO E O LIDO: 10%.

12:36:21 Valor lido da umidade: 41.89%

PASSO 11:

MEDIÇÃO DA ESTABILIDADE DA TEMPERATURA DA INCUBADORA

A VARIAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO PONTO A É DE 0,5°C

12:38:01 ==> Nenhum problema nesta etapa

12:38:23 Final dos testes.

Verifique no arquivo as possíveis irregularidades.

Arquivo 2: Incubadora digital microprocessada

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

INSTITUTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA
SENINC - SISTEMA PARA ENSAIO DE INCUBADORAS

RELATÓRIO DE ENSAIO EM INCUBADORAS NEONATAIS

=====
Data do ensaio: 31/05/2003 Hora do inicio do ensaio: 08:42:21

CLIENTE: Hospital
EQUIPAMENTO EM TESTE: Incubadora 1650 - Marca Famem - Modelo CT186
=====

PASSO 1:
MEDIÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE NO INICIO DO ENSAIO.
FAIXA PERMITIDA: 21°C ATÉ 26°C.
08:51:35 Temperatura ambiente no inicio do ensaio: 25°C.

PASSO 2:
MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR. VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA=0,35 m/s.
08:51:38 Velocidade do ar: Menor do que 0,35 m/s.

PASSO 3:
TEMPO PARA ELEVAR A TEMPERATURA EM 11°C.
09:21:45 Tempo para elevar a temperatura em 11°C (min): 29.

PASSO 4:
MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 32°C.
A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 0,8°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.
09:23:11 Temperatura de controle ajustada em 32°C e colchão na posição horizontal
10:24:01 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 5:
MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO EM POSIÇÃO NÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 32°C.
A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 1,0°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.
10:27:01 Temperatura de controle ajustada em 32°C e colchão fora da posição horizontal
11:27:04 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 6:
MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 36°C.
A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 0,8°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.
11:30:10 Temperatura de controle ajustada em 36°C e colchão na posição horizontal
12:30:12 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 7:

MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA MÉDIA COM O COLCHÃO EM POSIÇÃO NÃO HORIZONTAL E TEMPERATURA DE CONTROLE AJUSTADA EM 36°C.

A MÁXIMA VARIAÇÃO PERMITIDA É DE 1,0°C EM RELAÇÃO A MÉDIA.

12:31:31 Temperatura de controle ajustada em 36°C e colchão fora da posição horizontal

13:31:36 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 8:

VERIFICAÇÃO DA SOBREELEVAÇÃO DA TEMPERATURA.

MÁXIMA PERMITIDA: 2°C

13:32:21 Temperatura de controle ajustada em 30°C.

13:44:41 Temperatura de controle ajustada em 34°C.

PASSO 9:

VERIFICAÇÃO DO TEMPO PARA RESTAURAÇÃO DA TEMPERATURA SELECIONADA (34°C).

MÁXIMO PERMITIDO: 15 min.

14:05:42 Tempo para restaurar a temperatura (min):08

14:05:44 ==> Nenhum problema nesta etapa

PASSO 10:

MEDIÇÃO DA UMIDADE RELATIVA.

ESTA INCUBADORA NÃO POSSUI CONTROLE DE UMIDADE.

MÁXIMA DIFERENÇA PERMITIDA ENTRE O VALOR AJUSTADO E O LIDO: 10%.

14:05:56 Valor lido da umidade: 42.71%

PASSO 11:

MEDIÇÃO DA ESTABILIDADE DA TEMPERATURA DA INCUBADORA

A VARIAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO PONTO A É DE 0,5°C

14:06:10 ==> Nenhum problema nesta etapa

14:06:13 Final dos testes.

Verifique no arquivo as possíveis irregularidades.

APÊNDICE A5: ALGORITMO CRC PARA CORREÇÃO DE ERROS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

A técnica de detecção de erros de transmissão conhecida como CRC (*cyclic check redundancy*), também conhecido como código polinomial, foi desenvolvida com o objetivo de aumentar a confiabilidade de transmissões digitais.

O código CRC baseia-se no tratamento de cadeias de bits como representações de polinômios com coeficientes '0' e '1'. Uma cadeia de k bits é considerado como um conjunto de coeficientes de um polinômio com k termos, variando de X^{k-1} a X^0 . A Tabela A4.1 mostra a seqüência binária do polinômio utilizado na detecção de erros no protocolo *I-Wire*

Tabela A4.1 - Formação da seqüência binária para o número CRC

POLINÔMIO GERADOR	X^8	X^7	X^6	X^5	X^4	X^3	X^2	X^1	X^0
SEQÜÊNCIA BINÁRIA	1	0	0	1	1	0	0	0	1

Esta seqüência gera o polinômio:

$$G(x) = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

que é polinômio do protocolo *I-Wire*.

A formação do número de CRC é feito da seguinte maneira (TANENBAUM, 1997):

- define-se uma seqüência de bits, conhecida como polinômio gerador: $G(x)$ ². Este polinômio deve ser cuidadosamente escolhido a fim de minimizar a probabilidade de não detecção de erros.

² Três polinômios tornaram-se padrões internacionais:

- CRC-12: $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + 1$
- CRC-16: $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- CRC-CCITT: $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

- a mensagem a ser transmitida, $M(x)$, recebe na parte LSB um número de bits '0' iguais ao grau do polinômio gerador. Tem-se: $T(x)=M(x)+00\dots00$;
- divide-se $T(x)$ pelo polinômio gerador, $G(x)$, em módulo '2' (também conhecido como módulo XOR). Esta operação vai resultar em um resto $R(x)$;
- subtrai-se o resto desta divisão, $R(x)$ de $T(x)$, equivale a eliminar a seqüência de bits 0 que foi acrescentada a $M(x)$. Tem-se: $T(x)=M(x)-R(x)$;
- a parte $R(x)$ é o código CRC e $T(x)$ é a informação transmitida. Observar que, com as operações realizadas, o polinômio $T(x)$ é um divisor de $R(x)$ com resto 0 (zero);
- na recepção é realizada a seguinte operação: $T(x)/G(x)$, ou seja, divide a mensagem composta, incluindo o CRC por um polinômio gerador igual ao utilizado na transmissão;
- o resultado da divisão deve ser 0 (zero). Se não for 0 (zero) é porque houve falha de transmissão.

Como exemplo: dada a Mensagem $M(x) = 1010001101$ e o polinômio Gerador $G(x) = x^5 + x^4 + x^2 + 1$ que corresponde a $\Rightarrow 110101$, calcular o CRC. Seguindo os passos apresentados, multiplica-se $M(x)$ por x^5 , ou seja acrescenta-se cinco zeros a $M(x)$.

$$M(x) \cdot x^5 = 1010001101\ 00000.$$

A seguir divide-se $M(x) \cdot x^5$ (mensagem original com os cinco zeros incluídos) por $G(x)$:

$$\begin{array}{r}
 101000110100000 \div 110101 = 1101010110 \\
 \underline{110101} \\
 /111011 \\
 \underline{110101} \\
 /011101 \\
 \underline{000000} \\
 /111010 \\
 \underline{110101} \\
 /011111 \\
 \underline{000000}
 \end{array}$$

```

/111110
110101
/010110
000000
/101100
110101
/110010
110101
/001110
000000
/01110 Resto da divisão ⇒ CRC

```

A informação a ser transmitida, portanto, será formada por: $T(x) = M(x) + CRC = 1010001101\ 01110$.

Na recepção, a operação realizada é a divisão de $T(x)$ por $G(x)$, que, se a transmissão foi correta, deve ter como resultado 0 (zero), pois $T(x)$ é divisível com resto 0 (zero) por $G(x)$.

A Figura A4.1 apresenta uma implementação em *hardware* para obtenção do CRC na transmissão. Na recepção, será usado um circuito idêntico para a verificação do resto da divisão de $T(x)$ por $G(x)$.

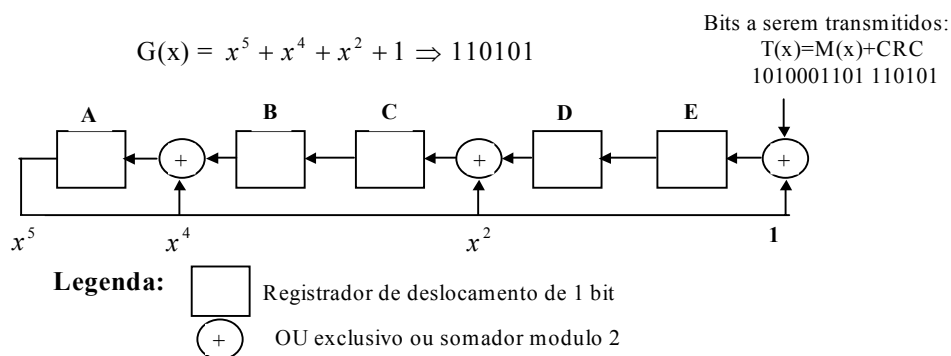


Figura A4.1 - Implementação de um circuito com registradores de deslocamento para fazer divisão pelo polinômio, $x^5 + x^4 + x^2 + 1$ e obter o CRC.

A única condição de erro não detectado, utilizando a técnica CRC, é aquela em que o conjunto de erros de transmissão produziu um número que dividido pelo polinômio gerador dê como resto 0.

APÊNDICE A6: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Características

- Portátil – o dispositivo é colocado dentro da incubadora no lugar do recém-nascido
- Realiza medições de parâmetros de acordo com a norma técnica IEC NBR 601-2-19
- Software executável em ambiente Windows®
- Resultados gráficos ou via arquivo com informações de anormalidades
- Intervalo de tempo de medição ajustável
- Possibilidade de acompanhamento gráfico *on-line*.

Componentes do sistema

- 1 dispositivo posicionador dos sensores
- 1 cabo de conexão ao computador
- 1 CD contendo o software SENINC

Especificações técnicas

- Temperaturas:
Sensores: tipo semicondutor, integrados com saída digital
Faixa de medição: 20°C a 40°C
- Umidade relativa: 0%UR-100%UR
Resolução: 0,1%UR
Precisão: 2% entre 0%UR a 100%UR, A 25°C, Vcc=5V
A medição da umidade deve ser feita em ambiente sem condensação
- Velocidade do fluxo de ar: verifica se está abaixo de 0,35 m/s

Características físicas

Comprimento: Regulável entre 60 e 70 cm
Largura : 33 cm
Altura : 10 cm
Peso : 1,5 Kg

Alimentação

- Voltagem: 5Vcc
- Consumo máximo: 5mA

8. BIBLIOGRAFIA

AMETHERM, *Thermistors*. Carson City (USA): Ametherm, 2002.

ARONE, EBANIZA MARIA. *Variações da umidade relativa no microclima de uma incubadora*. São Paulo: FANEM LTDA, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Equipamento Eletromédico – Parte 2: Prescrições particulares para segurança de incubadoras de recém-nascidos*, NBR IEC 601-2-19. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Equipamento Eletromédico – Parte 2: Prescrições particulares para segurança de incubadoras de recém-nascidos*, NBR IEC 60601-2-19 – Emenda 1. Rio de Janeiro, 2000.

AVERY, GORDON B.; FLETCHER, MARY ANN; MACDONALD, MARY G., *Neonatology*, 4ª ed. Philadelphia: J.B. Lippincott Company, 1994.

BECKWITH, T. G. et al., *Mechanical measurements*. 5ª Ed. U.S.A.: Addison-Wesley, 1993.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *A 1-wire humidity sensor*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors, 2001.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *Application Note 27: Understanding and using cyclic redundance check with Dallas Semiconductors touch memory products*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors, 2001.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *Application Note 105: High-resolution temperature measurement with Dallas direct-to-digital temperature sensors*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors, 1999.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *Application Note 148: Guidelines for reliable 1-Wire Networks*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors, 2001.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *Application Note 187: 1-Wire Search Algorithm*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors, 2002.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *Application Note 208 – Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductor, 2002.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *DS18S20 – High Precision 1-Wire Digital Thermometer*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *DS2438 – Smart battery monitor*. Sunnyvale (USA): Dallas Semiconductors.

DALLAS SEMICONDUCTOR. *Overview of 1-Wire Technology and Its Use*. Sunnyvale (USA): Dallas-Maxim, 2002.

EISNER SAFETY CONSULTANTS. *Overview of IEC60601-1 Medical Electrical Equipment*. Eisner Safety Consultants, 2001.

FANNAROF, AVROY A. & KLAUS, MARSHALL H.. *Alto risco em neonatologia. 4. ed.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1973.

GIECK, KURT. *Manual de fórmulas técnicas. 2. ed.* São Paulo: Hemus.

GONÇALVES JR., ARMANDO ALBERTAZZI, *Metrologia – Parte 1 – 2002.1*, Florianópolis: Labmetro UFSC, 2002.

GORDON, B. & AVERY, M. D. *Neonatologia – Fisiopatologia e tratamento do recém-nascido, 2ª Ed.* Rio do Janeiro: Medsi, 1984.

GUYTON, ARTHUR C.; HALL, JOHN E.. *Tratado de Fisiologia Médica, 9ª Ed.* Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1997

HONEYWELL. *Humidity Sensors: HIH-3610 series.* Honeywell.

IAIONE, FÁBIO. *Desenvolvimento de um equipamento eletrônico para o ensaio de incubadoras infantis*, Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

INCROPERA, FRANK P. & DEWITT, DAVID P.. *Fundamentos de transferência de calor e de massa, 4ª ed.* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1998.

INMETRO. *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia.* Rio de Janeiro, 1995.

ISMAIL, RAOUF. *Air velocity measurement using thermistors.* Cambridge AccuSense Inc, 2001.

KIM, Y. H.; KWON, C. H.; YOO, S. C.. *Experimental and Numerical Studies on Convective Heat Transfer in a Neonatal Incubator.* Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University, South Korea, 2001.

KOPELMAN, BENJAMIN ISRAEL; MIYOSHI, MILTON HARUMI. *Distúrbios respiratórios no período neonatal*, São Paulo: Ed. Atheneu, 1998.

MAGALHÃES, MARCOS NASCIMENTO; LIMA, ANTONIO CARLOS PEDROSO DE, *Noções de Probabilidade e Estatística, 4ª Ed.*, São Paulo: Editora da USP, 2002.

MALVINO, ALBERT PAUL; *Eletrônica – Vol 1, 4ªEd.*, São Paulo, Makron Books, 1997.

MELLISH, RICHARD; *Informações verbais a respeito da norma técnica IEC 601*, Genebra (Suíça), 2002.

PERLSTEIN, PAUL H. Physical Environment. In FANAROFF, AVROY A.; MARTIN, RICHARD J.. *Neonatal-Perinatal Medicine, Volume 1*. 6ª ed. Saint Louis: Mosby-Year Books Inc, 1997.

POTTS, STEPHEN; MONK, TIMOTHYS. *Borland C++4 – Técnicas de programação*; Rio de Janeiro: Axcel Books, 1994.

REISDORPH, KENT; HENDERSON, KEN. *Teach yourself borland C++builder in 21 days*, Sams Publishing, Indianapolis (EUA), 1997.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M.W.; YOUNG, H.D.. *Física 2, 2ª ed.*; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997.

SERWAY, RAYMOND A.. *Física 2 para cientistas e engenheiros, 3ª ed.*; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996.

SILVER, MICK. *Estatística para administração, 1ª ed.*; São Paulo: Ed. Atlas, 2000.

TANENBAUM, ANDREW S.. *Redes de computadores, 3ªed.*; Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

TEXAS INSTRUMENTS. *INA332 – Data sheet*; Dallas: Texas Instruments, 2003.

TIPLER, PAUL A.. *Física para cientistas e engenheiros, 4ª ed.*; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.

WEBSTER, JOHN C. *Medical instrumentation design, 2ª Ed.* New York: Houghton Mifflin Company, 1995.