



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

## **Dissertação de Mestrado**

**REDE DE SENSORES SEM FIO PARA AQUISIÇÃO E  
CONTROLE DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM  
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS PARA FRANGOS**

**GALBA FALCÃO ARAGÃO**

**Campina Grande  
Paraíba**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**REDE DE SENSORES SEM FIO PARA  
AQUISIÇÃO E CONTROLE DE VARIÁVEIS  
AMBIENTAIS EM INSTALAÇÕES  
INDUSTRIAIS PARA FRANGOS**

Galba Falcão Aragão

Campina Grande – Paraíba – Brasil  
Junho de 2009

GALBA FALCÃO ARAGÃO

**REDE DE SENSORES SEM FIO PARA  
AQUISIÇÃO E CONTROLE DE VARIÁVEIS  
AMBIENTAIS EM INSTALAÇÕES  
INDUSTRIAIS PARA FRANGOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento  
Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire

Campina Grande – Paraíba – Brasil  
Junho de 2009



**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEM**

A659r

Aragão, Galba Falcão.

Rede de sensores sem fio para aquisição e controle de variáveis ambientais em instalações industriais para frangos / Galba Falcão Aragão. - Campina Grande, 2009.

121f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire.

Referências.

1. Frango de Corte. 2. Automação. 3. Rede de Sensores

I. Título.

CDU 636.5:621.391.6 (043)



---

Aos meus pais, Lúcia e Aluizio Aragão,  
aos meus irmãos e irmãs,  
pelo estímulo e apoio,  
a minha esposa, Yokiny,  
e a minha filha, Maria Luíza,  
pelo amor e carinho,  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de participar do Curso de Pós-Graduação.

Aos professores José Wallace Barbosa do Nascimento e Raimundo Carlos Silvério Freire, pela orientação, confiança, apoio e ajuda na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Benedito Antônio Luciano, DEE – UFCG, pelas instruções e dicas para elaboração desta dissertação.

Aos professores do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos professores do Laboratório de Eletromagnetismo e Microondas Aplicados – LEMA do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - Glauco Fontgalland, Rômulo Valle, Marcos Barbosa e Francisco Tejo - pelo apoio e compreensão.

À coordenação e ao pessoal do Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas – LIMC - do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em nome de Prof. Raimundo Carlos Silvério Freire, pelo espaço, material e equipamentos cedidos.

Ao professor Robert Rice Brandt, pela ajuda com o servidor Web.

A minha esposa e Técnica em Eletrônica Yokiny C. Cordeiro Pessoa, pela ajuda na confecção das placas e protótipos.

Aos colegas de curso, pelo constante estímulo.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Resumo.....	xi
Abstract.....	xii
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Revisão bibliográfica.....</b>	<b>5</b>
2.1 Fisiologia dos frangos de corte.....	6
2.1.1 Homeotermia.....	6
2.1.2 Perda de calor.....	8
2.1.3 Influência das variáveis climáticas na fisiologia dos frangos de corte.....	11
2.2 Ambiência Animal.....	11
2.2.1 Climatização.....	13
2.2.2 A ventilação.....	14
2.2.2.1 A influência da ventilação nos frangos de corte.....	16
2.2.2.2 O uso de ventiladores.....	18
2.2.2.3 Ventiladores associados a nebulizadores.....	20
2.2.3 A iluminação.....	21
2.3 Redes de Sensores Sem Fio.....	23
2.3.1 Características das RSSFs.....	24
2.3.2 Componentes de uma rede de sensores sem fio.....	24
2.3.3 Classificação das redes de sensores sem fio.....	25
2.3.4 Dificuldades para o desenvolvimento de redes de sensores sem fio.....	28
<b>3 Materiais e métodos.....</b>	<b>29</b>
3.1 Desenvolvimento do sistema.....	29
3.1.1 O Hardware.....	31
3.1.1.1 O Módulo Concentrador.....	31
3.1.1.2 Módulo de Comunicação.....	52
3.1.1.3 Módulo Acionador.....	53
3.1.1.4 Módulo Sensor Básico.....	55
3.1.1.5 Módulo Sensor Completo.....	57
3.1.2 Software.....	85
3.1.3 Classificação da rede de sensores.....	90
3.1.4 Construção dos protótipos.....	91
3.1.4.1 Produção das placas.....	91
3.1.4.2 Furação das placas.....	92
3.1.4.3 Montagem das placas.....	92
3.1.4.4 Teste das placas.....	92
3.1.4.5 Montagem e teste dos módulos.....	94
3.1.4.6 Programação do sistema.....	94
<b>4 Resultados e discussões.....</b>	<b>95</b>
4.1 Avaliação dos sensores utilizados.....	95
4.2 Avaliação da rede.....	99
<b>5 Conclusão.....</b>	<b>101</b>
<b>6 Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>102</b>
<b>7 Bibliografia.....</b>	<b>103</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pinagem do conector J1 .....	35
Tabela 2: Descrição das portas de entrada e saída dos diversos módulos.....	36
Tabela 3: Tabela verdade da função lógica que determina a presença de dados no receptor .....	51
Tabela 4: Tabela verdade da função lógica que apresenta os dados a serem lidos .....	52
Tabela 5: Constantes usadas para o cálculo de Nu.....	67
Tabela 6: Cálculo da resistência de convecção para diversas velocidades do vento.....	68
Tabela 7: Diferença de temperatura entre TQuente e TFrio em função da velocidade do vento .....	70
Tabela 8: Dados do sensor de luminosidade .....	96
Tabela 9: Dados do sensor de velocidade do vento.....	98



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção de calor versus temperatura ambiente (Freeman, 1988).....	7
Figura 2: Relação entre a temperatura ambiente e o balanço térmico das aves (Wiernusz, 1998).....	9
Figura 3: Efeito da velocidade do ar e da temperatura de bulbo seco no trato respiratório de frangos (ERNST, 1995).....	19
Figura 4: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a configuração. ....	26
Figura 5: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o sensoriamento. ....	26
Figura 6: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação (Parte A).....	27
Figura 7: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação (Parte B).....	27
Figura 8: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o processamento. ...	28
Figura 9: Modelo do sistema de aquisição e controle proposto. ....	30
Figura 10: Blocos funcionais do módulo concentrador.....	31
Figura 11: Circuito da fonte de alimentação simples +12V/1 A.....	32
Figura 12: Unidade de Processamento I.....	33
Figura 13: Microcontrolador.....	33
Figura 14: Circuito básico para o microcontrolador.....	34
Figura 15: Circuito da fonte de alimentação secundária.....	37
Figura 16: Circuito do relógio de tempo real.....	38
Figura 17: Circuito de Comunicação Serial RS232.....	39
Figura 18: Esquema de ligação da memória FLASH.....	40
Figura 19: Transmissor RF.....	40
Figura 20: Circuito de Ativação do Transmissor RF.....	41
Figura 21: Modulador em tom para dados.....	42
Figura 22: Modulador de Tom (Canal Ocupado).....	43
Figura 23: Somador.....	44
Figura 24: Transmissor de FM.....	45
Figura 25: Receptor RF.....	45
Figura 26: Circuito de ativação do receptor RF com regulador de tensão.....	46
Figura 27: Receptor Super-Regenerativo e Demodulador FM.....	47
Figura 28: Amplificador.....	48
Figura 29: Detector de tom de canal ocupado.....	48
Figura 30: Detetor do tom de dados.....	50
Figura 31: Função lógica que determina a presença de dados no receptor.....	51
Figura 32: Função lógica que apresenta os dados do receptor.....	52
Figura 33: Módulo de Comunicação.....	53
Figura 34: Módulo Acionador.....	53
Figura 35: Placa de Acionamento.....	54
Figura 36: Circuito de acionamento com saída a relé.....	55
Figura 37: Módulo Sensor Básico.....	56
Figura 38: Diagrama interno do SHT11.....	56
Figura 39: Circuito do sensor de temperatura e umidade relativa.....	57
Figura 40: Módulo Sensor Completo.....	58

Figura 41: Circuito da fonte de alimentação simétrica +/-12 V/1 A. ....	59
Figura 42: Placa de Sensores Analógicos.....	60
Figura 43: Esquema elétrico da Fonte de Alimentação Simétrica +/-5 V Secundária. ..	61
Figura 44: Regulador de Precisão.....	62
Figura 45: Sensor de velocidade do vento construído.....	63
Figura 46: Equivalência de circuito elétrico com circuito térmico. ....	64
Figura 47: A resistência térmica efetiva diminui com o aumento do fluxo de ar.....	65
Figura 48: Resistência de convecção em função da velocidade do vento.....	69
Figura 49: Circuito equivalente ao sensor de velocidade do vento. ....	69
Figura 50: Diferença de temperatura entre TQuente e TFrio em função da velocidade do vento. ....	71
Figura 51: Diagrama de blocos do circuito analógico do anemômetro.....	72
Figura 52: O sensor de temperatura utilizado no anemômetro.....	73
Figura 53: Amplificador Subtrator. ....	75
Figura 54: Circuito somador/subtrator. ....	76
Figura 55: Controlador proporcional.....	77
Figura 56: Circuito básico para medição de temperaturas de 2 °C a 150 °C utilizando o LM35 .....	78
Figura 57: Circuito amplificador para o sensor de temperatura de globo negro. ....	79
Figura 58: Curva típica de um LDR. ....	80
Figura 59: Resposta do circuito sensor de luminosidade e a equação linearizada .....	81
Figura 60: Esquema elétrico do sensor de luminosidade. ....	81
Figura 61: O sensor TGS4161 .....	82
Figura 62: Relação entre $\Delta EMF$ e a concentração de CO <sub>2</sub> do TGS4161.....	83
Figura 63: Circuito sensor de concentração de CO <sub>2</sub> .....	84
Figura 64: Fluxograma simplificado da rotina de inicialização. ....	85
Figura 65: Fluxograma simplificado do programa dos módulos sensores. ....	86
Figura 66: Fluxograma simplificado do programa do módulo concentrador (parte 1/2).....	87
Figura 67: Fluxograma simplificado do programa do módulo concentrador (parte 2/2).....	88
Figura 68: Fluxograma simplificado do programa do módulo atuador.....	89
Figura 69: Fluxograma simplificado do programa do módulo de comunicação.....	90



## RESUMO

ARAGÃO, Galba Falcão. Universidade Federal de Campina Grande, Junho de 2009. **Rede de Sensores Sem Fio Para Aquisição e Controle de Variáveis Ambientais em Instalações Industriais para Frangos.** Orientadores: José Wallace Barbosa do Nascimento e Raimundo Carlos Silvério Freire.

Através do uso de sistemas automatizados de controle ambiental, podem-se manter as variáveis ambientais dos galpões dentro dos limites onde a espécie possa expressar seu maior potencial genético e produtividade.

Para realizar o controle de uma variável é necessário medir esta variável, compará-la com um valor de referência e acionar o sistema que possa influenciá-la.

O sistema desenvolvido faz a aquisição de dados de variáveis ambientais e tem a capacidade de controlar os principais equipamentos usados para melhorar o ambiente interno do galpão. Foram consideradas as variáveis ambientais mais importantes – temperatura, umidade relativa e luminosidade - embora o sistema possa medir outras grandezas. O controle será feito para que o ambiente interno do galpão permaneça o maior período possível dentro da faixa de termoneutralidade da espécie criada.

O sistema funciona como uma rede de sensores e atuadores sem fio (*wireless*) e pode ser adequado a diversos tipos de sensores e atuadores, bastando acrescentar módulos e modificar sua programação.

Embora desenvolvido para a produção de frango de corte devido a sua importância econômica, o sistema se aplica a outras espécies animais.

Os testes em laboratório apresentaram bons resultados. Atendendo ao objetivo proposto, o sistema mede grandezas importantes para a ambiência, fazendo comunicação sem-fio, e permitindo que os dados sejam visualizados em um ambiente distante do monitorado.

As possibilidades para o uso destas redes de sensores e atuadores são imensas, cabendo ao usuário definir as suas necessidades para que a programação e escolha dos sensores e atuadores sejam feitas e adequadas a estas necessidades.

## **ABSTRACT**

ARAGÃO, Galba Falcão. Universidade Federal de Campina Grande, June, 2009. **Wireless Sensor Network For Acquisition and Control of Environmental Variables in Poultry Houses.** Advisers: José Wallace Barbosa do Nascimento and Raimundo Carlos Silvério Freire.

Through the use of automated systems for environmental control, the environmental variables of the poultry houses can be kept within the limits where the species can express their great genetic and productivity potential.

For the control of a variable it is necessary to measure this variable, compare it with a reference value and trigger the system that can influence it.

The system is designed to acquire data on environmental variables and has the ability to control the main equipments used to improve the internal environment of the poultry house. The most important environmental variables were considered - temperature, relative humidity and light - although the system can measure other quantities. The control will be done to keep the internal environment of the housing within the range of thermal comfort for the species.

The system operates as a wireless network of sensors and actuators and can be suitable for various types of sensors and actuators, simply adding modules and changing their programming.

Although developed for the production of broilers due to its economic importance, the system can be applied to other animal species.

The tests showed good results in the laboratory. Given the proposed objective, the system measures important quantities for the environmental comfort, using wireless communication, and allowing data to be displayed in a place away from the monitored poultry house.

The possibilities for the use of these networks of sensors and actuators are immense, leaving the user to define his needs to make the choice and programming of sensors and actuators to meet those needs.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil assume lugar de destaque como o maior exportador mundial de carne de frango. Apesar da crise da Influenza Aviária, em 2006, quando instituições internacionais previram grandes quedas na produção e consumo, o setor avícola brasileiro manteve sua posição frente às outras nações exportadoras.

As primeiras previsões para 2009 ignoram a atual crise financeira internacional. Algumas destas, como a do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) estima que após crescer 10% em 2008, as exportações mundiais de carnes avícolas (preponderantemente carne de frango) devem aumentar perto de 2,5% em 2009. Nesse contexto, Brasil e EUA irão responder por 78% das exportações mundiais (Avisite, 2008).

O Brasil permanece na liderança, devendo fornecer a outros países cerca de 3,895 milhões de toneladas de carnes avícolas, sendo 3,660 milhões de toneladas de frango e 235 milhões de toneladas de peru, volume que corresponde a 43,4% das exportações mundiais previstas para o setor. Mesmo sendo projeções do USDA para 2009, estes números servem para demonstrar a dimensão das exportações brasileiras no mercado internacional. (Avisite, 2008).

A avicultura vem se mostrando, ano após ano, como uma das mais importantes fontes de proteína animal para a população mundial. No Brasil, o crescimento da produção, do consumo e das exportações são desafios continuamente alcançados (Sevegnani, 2000).

O moderno frango de corte industrial é um animal que atende à demanda protéica da população a preços bastante baixos, constituindo um exemplo vivo da contribuição da ciência e tecnologia à melhoria da qualidade de vida da sociedade humana já que a produção em larga escala permite produzir carne a custos bem baixos (Sevegnani, 2000).

O contínuo progresso genético em frangos de corte e poedeiras, decorrente de grandes investimentos no melhoramento animal, tem permitido se obter mais carne e ovos, com maior eficiência alimentar, num período de criação cada vez mais curto. Para isso, torna-se necessário, cada vez mais, a introdução de avanços tecnológicos mais

intensos em nutrição, manejo, sanidade e, principalmente, em ambiência, para que se possa atingir um produto final de alta qualidade e viável economicamente.

No início dos anos 1980, um frango com idade de 70 dias atingia aproximadamente 2,0 kg de peso vivo, com conversão alimentar média de 3,5. Atualmente, em apenas 42 dias é possível obter frangos com 2,3 kg de peso vivo e conversão alimentar de 1,8. A alta produção de carne por área em curto espaço de tempo se deve aos avanços científicos conquistados na genética, nutrição, sanidade e manejo, fazendo com que a produção de frangos atingisse um nível elevado no que diz respeito à produção animal (Bueno, 2004).

Ao extraordinário progresso científico verificado na avicultura contrapõe-se a pouca atenção que se deu, até recentemente, às características das construções projetadas para o alojamento das aves. Desta maneira, a avicultura contemporânea passa a avaliar o ambiente de confinamento das aves como aspecto determinante na obtenção de maiores benefícios resultantes da produtividade (Azevedo & Nascimento, 1999).

Dentre os fatores ambientais que afetam o conforto das aves, a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar e a radiação solar, são consideradas mais importantes. Esses fatores comprometem sua função vital mais essencial, que é a manutenção da própria homeotermia. Se estas condições estão próximas das ideais, a probabilidade de se obter alta produtividade é alta (Tinôco, 1996).

No Brasil, os abrigos para aves são ainda, em sua grande maioria, instalações abertas e sem ambiente controlado. Por razões econômicas de curto prazo ou mesmo por desconhecimento, pouca atenção se tem dado às fases de planejamento e concepção arquitetônica compatíveis com a realidade climática de cada região (Tinôco, 1997).

O estresse causado pelo ambiente térmico influencia a produtividade das aves, por alterar sua troca de calor com o ambiente, a taxa de consumo de alimentos e a taxa de ganho de peso corporal. Assim, para que a ave expresse todo o seu potencial genético, a temperatura ambiente nas instalações deve estar dentro dos limites da sua zona de conforto, ou seja, na faixa de temperatura na qual a homeotermia é mantida com o mínimo de consumo de energia pela ave. Os limites dessa faixa de temperatura podem variar de acordo com idade, sexo, tamanho corporal, estado fisiológico, composição da dieta e umidade relativa do ar. O objetivo da indústria avícola tem sido o de proporcionar um ambiente confortável às aves de forma eficiente e econômica. No entanto, este controle ambiental normalmente é realizado de forma



manual, que apesar de reduzir os custos, dificulta o gerenciamento à distância e torna possível a ocorrência de muitos erros, o que reflete numa queda de produtividade do lote e, conseqüentemente, redução de lucro.

Ultimamente, o setor avícola tem a sua disposição aves de grande potencial genético, alta qualidade na nutrição animal, programas de sanidade muito eficientes, porém a ambiência avícola e o controle ambiental passam a ser o gargalo, muitas vezes limitando a produtividade dos lotes. Por isso, grandes esforços têm sido feitos para encontrar soluções para este fator limitante, e a automação do controle ambiental de uma instalação passa a ser uma alternativa que pode vir a trazer grandes resultados.

Através do uso de sistemas automatizados de controle ambiental, as variáveis ambientais dos galpões podem ser mantidas dentro dos limites onde a espécie possa expressar seu maior potencial genético e produtividade.

Partindo desta hipótese, foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados de variáveis ambientais com capacidade de controlar os principais equipamentos usados para melhorar o ambiente interno do galpão. Foram consideradas as variáveis ambientais mais importantes – temperatura, umidade relativa e luminosidade - embora o sistema possa medir outras grandezas. O controle foi feito para que o ambiente interno do galpão permanecesse o maior período possível dentro da faixa de termoneutralidade da espécie criada com acionamento de alguns elementos, tais como: cortinas, nebulizadores e lâmpadas.

Embora desenvolvido para a produção de frango de corte, devido a sua importância econômica, o sistema se aplica a outras espécies animais, bastando alterações na sua programação.

Este trabalho é apresentado em capítulos, onde o capítulo 1 – Introdução - apresenta uma breve introdução da importância econômica do frango de corte para o Brasil e a sua qualidade genética, ressaltando a necessidade do controle do ambiente de produção para que a espécie expresse seu maior potencial genético.

A revisão bibliográfica a respeito do frango de corte, sua fisiologia, e os principais fatores ambientais que influenciam na sua produção, bem como as técnicas de aclimação que objetivam minimizar a influência destes fatores está apresentada no capítulo 2 – Revisão Bibliográfica. Também são apresentados neste capítulo, uma visão geral sobre redes de sensores e seus principais aspectos.

A idéia do sistema, seu funcionamento, o projeto elétrico inicial e o projeto de software são apresentados no capítulo 3 - Materiais e Métodos.

No capítulo 4 – Resultados e Discussões – são apresentados os resultados, as dificuldades encontradas e as alterações de projeto.

As conclusões a respeito do funcionamento do sistema são realizadas no capítulo 5.

Sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 6.

As referências bibliográficas são apresentadas no capítulo 7.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ave exige do meio em que habita condições precisas de ambiente, tais como: temperatura, umidade relativa, pressão, luminosidade, nível sonoro, conteúdo de oxigênio, anidrido carbônico e nitrogênio. Cada indivíduo tem específicos poderes de adaptação que lhe permitem (até certo limite de adversidade) sobreviver quando alguma daquelas variáveis se modifica. Esses parâmetros dependem de diversos fatores, tais como a aclimação da ave, idade e sexo, mas, para que não ocorram prejuízos na sua performance, sempre é possível estabelecer limites ótimos dentro dos quais a espécie se desenvolve em sua plenitude.

Dentre os fatores ambientais, os fatores térmicos, representados por temperatura do ar, umidade relativa, radiação térmica e movimentação do ar são aqueles que afetam mais diretamente a ave, pois comprometem sua função vital mais importante: a manutenção da própria homeotermia.

Assim, as aves necessitam manter a temperatura interna do corpo em níveis relativamente constantes, em ambientes cujas condições termodinâmicas são as mais variáveis, através de mecanismos orgânicos de controle representados por severas compensações fisiológicas. Esses ajustes são feitos em detrimento da produção destes animais que, ao invés de empregar os nutrientes para a síntese, utilizam-nos para produzir ou dissipar calor. Quando não ocorre nenhum desperdício de energia, seja para compensar o frio ou para acionar seu sistema de refrigeração em combate ao excesso de calor do ambiente, diz-se que a ave está em condições de conforto e, conseqüentemente, de produtividade máxima. Fora da zona de conforto ocorre decréscimo das performances produtiva, reprodutiva e resistência do organismo, sendo que extremos num e noutro sentido poderão ser letais.

Dessa forma, se o conforto térmico não é atingido e a ave é exposta ao estresse calórico, situação muito freqüente em boa parte do ano, especialmente no verão, ocorrerá uma queda no consumo de ração, no ganho de peso, além de levar a baixos valores de conversão alimentar e maior mortalidade. O problema se agrava à medida que a ave se desenvolve, pois existe uma correlação negativa da dissipação de calor com o peso corporal.

Considerando-se que o Brasil encontra-se localizado até a latitude de 30 ° sul, ou seja, na faixa mais quente do planeta, com médias de temperatura oscilando entre 20 ° e

25 °C ao longo do ano, verifica-se que o país inspira uma situação de maior cuidado com o estresse por calor do que propriamente por frio, (embora se deva também contemplar as prerrogativas necessárias ao conforto térmico no inverno e nas fases iniciais da vida da ave). Caso não se atente para esse fato ao se planejar uma instalação avícola, fatalmente ocorrerá uma situação de desconforto térmico por calor que comprometerá substancialmente o desempenho das aves (Tinôco, 2001).

A situação de desconforto térmico se agrava nas horas mais quentes do dia. “Hardoin (1989) verificou que a temperatura interna de aviários com e sem lanternins, ultrapassa o valor considerado confortável para as aves, a partir das 9:30 h, ficando o ambiente desconfortável por um período diário superior a 6 h. Nääs et al. (2001) também constataram, em aviários de frangos de corte, no horário das 14:30 h, valores superiores a 28 °C. Essas elevadas temperaturas estão de acordo com as descritas por Perdomo (1998) para a região Nordeste, e Furtado et al. (2002) que concluíram que na microrregião de Campina Grande, PB, como nas diversas mesorregiões do Estado da Paraíba, para os períodos diurnos as aves estavam, a partir da terceira semana, em situação de desconforto térmico.” (Furtado et al, 2003).

De maneira geral, um ambiente é tido como confortável para aves adultas quando apresenta temperaturas entre 18 °C e 25 °C e umidade relativa do ar entre 50 % e 70 %. Esses valores, especialmente no que tange à temperatura, dificilmente são obtidos nas condições do clima brasileiro, sobretudo no verão.

## **2.1 Fisiologia dos frangos de corte**

### **2.1.1 Homeotermia**

De acordo com Nääs(a) (1995), a ave é um animal homeotermo e seu organismo é mantido a uma temperatura interna constante, através do aparelho termorregulador, que comanda a redução ou o aumento das perdas de calor pelo organismo, através de alguns mecanismos orgânicos de controle. Para a manutenção do conforto térmico, há necessidade de equilíbrio nos sistemas internos de aquecimento e refrigeração.

Os animais são sistemas termodinâmicos abertos: ingerem energia e metabolizam as moléculas dos alimentos constantemente (Curtis, 1987). A homeotermia animal é um processo vital e produtivo.

A capacidade calórica do sangue similar à água o faz um veículo ideal para a transferência de calor entre os tecidos profundos do



organismo e os periféricos. A distribuição termorregulatória do sangue é um balanço dos reflexos cardiovasculares. Sob estresse calórico agudo, os processos termorregulatórios tornam-se prioritários para o organismo e os gases respiratórios, nutrientes e funções de limpeza do sistema cardiovascular passam a ter importância secundária (Darre e Harrison, 1987).

Observa-se na **Figura 1** a curva de produção de calor versus temperatura ambiente, onde se pode identificar a faixa de termoneutralidade na qual a ave desperdiça o mínimo de energia para se defender do calor ou frio. A localização desta faixa, varia conforme a temperatura ambiente, tamanho do animal, manejo, aspectos nutricionais e estrutura física da instalação (Freeman, 1988).

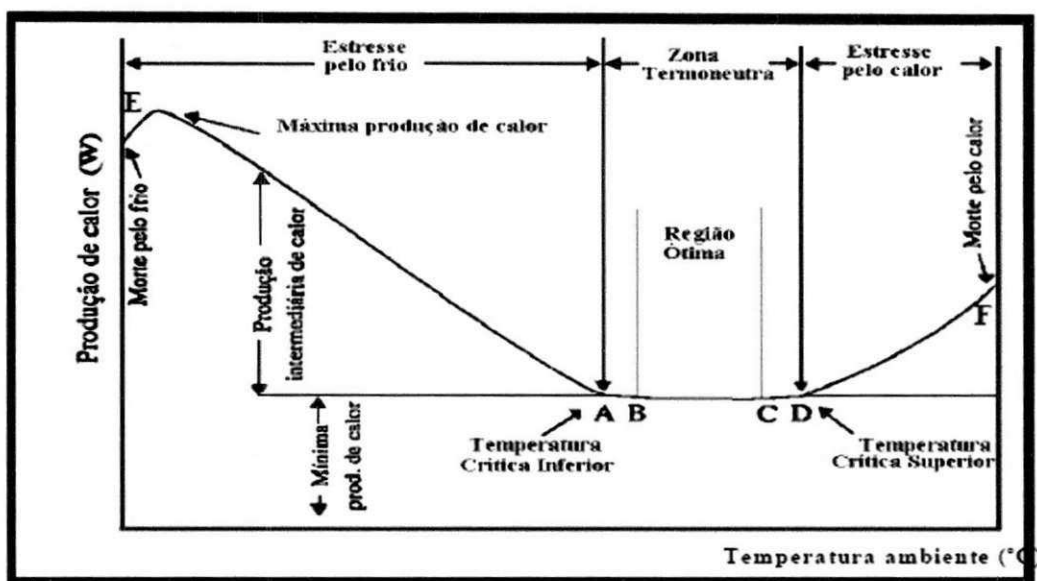


Figura 1: Produção de calor versus temperatura ambiente (Freeman, 1988)

Na figura 1, a temperatura ambiente, representada no eixo horizontal, incorpora o efeito da radiação, vento e umidade relativa. A zona BC corresponde à faixa de temperatura ambiente onde o animal exerce o menor esforço de termorregulação (maior eficiência térmica), sendo chamada de zona de conforto térmico. A faixa AD é chamada de zona de termoneutralidade, correspondendo a um esforço mínimo para que o animal acione os mecanismos de termorregulação. O ponto A, chamado de temperatura crítica inferior, é aquele em que o animal aciona os mecanismos de produção de calor de modo a manter o equilíbrio térmico interno. Os pontos E e F são os de hipotermia e hipertermia, respectivamente, representando as regiões onde há óbito, seja pelo frio ou pelo calor, respectivamente.

Um frango pesando 1 kg vai ingerir cerca de 700 kJ de energia metabolizável/dia. Sua capacidade calórica é de cerca de 5 kJ/kg e para estocar 0,007 kJ de sua ingestão diária diretamente como calor, aumentará sua temperatura corporal em 1 °C, uma quantidade considerável de calor (Emmans, 1981).

Os frangos de corte, a exemplo de outros animais, produzem melhor quando seu ambiente está dentro da zona de termoneutralidade. O aviário e os sistemas de controle podem ser mudados para oferecer estas condições.

A característica mais utilizada por pesquisadores na determinação da zona de termoneutralidade das aves de corte é a idade das mesmas. As aves jovens (de 10 a 15 dias após o nascimento), por não terem seu sistema termorregulador ainda desenvolvido, necessitam de uma fonte externa de calor que mantenha a temperatura ambiente em aproximadamente 35 °C, mantendo sua temperatura corporal constante, entre 39 a 40 °C. Com o desenvolvimento do sistema termorregulador e o aumento de sua reserva energética, sua temperatura crítica superior passa de 35 °C para 24°C em quatro semanas, chegando a 21°C na sexta semana de vida, já próximo ao abate. Nesta fase, a temperatura corporal dos frangos adultos na zona termoneutra é de 41 °C. De maneira geral, aves adultas, com cinco semanas de idade, toleram temperaturas acima de 27 °C, sem problemas com o nível de umidade relativa ao qual estão sendo submetidas. Sob temperaturas ambientais maiores que 32 °C e umidade relativa superior a 75 % as aves ficaram severamente estressadas (Moura, 2001).

### **2.1.2 Perda de calor**

Todos os animais trocam calor por condução, convecção, radiação e evaporação. As aves perdem calor por estes métodos, mas o processo é dividido em duas categorias: perda de calor sensível e perda de calor latente. A perda de calor sensível é aquela direta, devido ao movimento do ar na superfície da ave, removendo calor. A perda de calor latente, ou calor evaporativo é o calor associado com a mudança de fase da água. Este tipo é o calor usado pelas aves para evaporar água em seus pulmões e sacos aéreos. Embora as aves sempre usem estes métodos de resfriamento, eles tornam-se vitais quando a temperatura ambiente aproxima-se da temperatura corporal (Mitchell, 1987).

Os fatores ambientais que determinam a perda de calor de um homeotermo são a temperatura, a umidade, o movimento do ar e a distribuição da energia radiante sobre a superfície corporal, segundo Monteith e Mount (1974).

Na **Figura 2**, pode-se observar a relação entre a temperatura ambiente e o balanço térmico das aves.

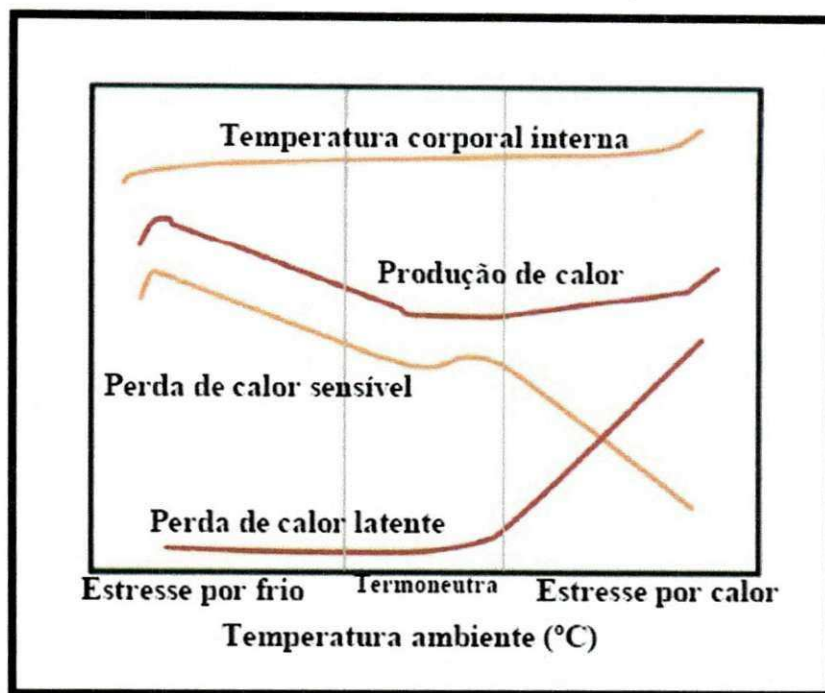


Figura 2: Relação entre a temperatura ambiente e o balanço térmico das aves (Wiernusz, 1998)

Cada animal produz calor e umidade. Um frango de corte com 42 dias perde 5,8 W/kg de calor total. A perda de calor sensível da ave geralmente diminui e a perda de calor latente aumenta com o aumento da temperatura ambiente. A perda de calor total é diretamente proporcional ao peso metabólico (Hellickson e Walker, 1983).

Conforme Macari et al. (1994) e Dagher (1995), a manutenção da temperatura corporal da ave é função dos mecanismos de produção e perda de calor. O calor é dissipado através de especializações anatômicas nas aves, que aumentam o fluxo de sangue para a superfície, que pode perder calor por radiação e condução (barbela, crista, asas e patas).

O animal pode influenciar sua própria perda de calor por uma mudança em seu comportamento ou por mudanças anatômicas. Animais em grupo podem ajuntar-se para se proteger do frio; animais sozinhos podem reduzir suas superfícies por mudanças na postura e podem mover-se. Animais alimentados com menos ração mostraram uma perda de calor menor em baixas temperaturas do que aqueles alimentados ad libitum (Emmans, 1981).



As aves não possuem glândulas sudoríparas. Portanto, para Harrison (1995), elas apenas podem lançar mão da ofegação, facilitando o resfriamento evaporativo pela eliminação de umidade do trato respiratório. Porém, junto com esse aumento de evaporação, há uma perda de dióxido de carbono do corpo, o que pode levar a uma alcalose respiratória, desequilibrando o organismo da ave.

### **2.1.3 Influência das variáveis climáticas na fisiologia dos frangos de corte**

De acordo com Emmans (1981), muitos componentes do ambiente físico podem afetar a perda de calor. Em ordem de importância: temperatura de bulbo seco, temperatura radiante, velocidade do ar e temperatura de bulbo úmido (mas somente em altas temperaturas de bulbo seco). Estes fatores podem ser combinados numa escala de temperatura efetiva,  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A produtividade ideal na avicultura de corte, pode ser obtida quando a ave estiver submetida a uma temperatura ambiente adequada, sem nenhum desperdício de energia, tanto para compensar o frio, como para acionar seu sistema de refrigeração.

Altas temperaturas são estressantes para as aves, reduzindo a taxa de crescimento, a eficiência alimentar e aumentando a taxa de mortalidade, bem como aumentando o consumo de água. (Sevegnani, 2000)

A umidade do ambiente afeta indiretamente o desempenho das aves, interferindo na qualidade do ar através da concentração de poeira e patógenos (Hellickson e Walker, 1983).

Os efeitos da umidade relativa na taxa de crescimento e na termorregulação de perus em altas temperaturas foram estudados por Yahav et al. (1998). Eles expuseram as aves a temperaturas ambientes de  $35^{\circ}\text{C}$  e UR de 40 a 75 % e 50 a 85 %. Os resultados indicaram que o peso corporal e a ingestão de alimento aumentaram quando a umidade relativa aumentou de 40 para 75 %. Quando a UR aumentou de 50 para 85% o peso corporal e a ingestão de alimento declinaram significativamente.

A radiação solar afeta o diferencial de temperatura dentro das estruturas muito mais do que a velocidade do vento e sua direção. Porém, a velocidade do vento tem um efeito significativo na temperatura. Velocidades de vento altas proporcionaram as maiores diferenças de temperatura entre o ar exterior e o ar interno ao aviário, segundo experimento de Vladimirova et al. (1996) sobre a influência do nível de sombra, velocidade e direção do vento, nas temperaturas no interior do aviário.



Moraes et al. (2000) estudaram o efeito da densidade populacional sobre a carga térmica radiante de frangos criados no verão e inverno. Os resultados mostraram que a carga térmica aumentou conforme a idade e isto se deve à relação direta entre dissipação de calor e peso corporal. As diferentes densidades populacionais não exerceram efeito sobre a carga térmica.

## **2.2 Ambiência Animal**

O ambiente externo animal compreende todos os fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e climáticos que interagem com o animal e produz reações no seu comportamento, definindo assim o tipo de relação animal-ambiente. O animal porta-se como um sistema termodinâmico que troca energia com o ambiente continuamente. Nestes processos, os fatores externos do ambiente, tendem a produzir variações internas no animal, influenciando na quantidade de energia trocada entre ambos, havendo, então, a necessidade de ajustes fisiológicos para ocorrência do balanço do calor.

A produção ideal para frangos de corte só pode ser obtida quando a ave estiver submetida a uma temperatura ambiente adequada, sem nenhum desperdício de energia, tanto para compensar o frio, como o calor. Quando os fatores combinados de temperatura e umidade relativa ultrapassam os limites da faixa de conforto ambiental, denominada zona termoneutra, sua habilidade de dissipar calor é altamente reduzida. É imprescindível ter-se um microclima ideal dentro do galpão, a fim de atingir-se uma eficiência de conversão energética o mais próxima possível de 100%, segundo Teeter & Belay (1993).

As variáveis do clima ditam os níveis necessários de controle artificial no sistema de manejo e, conseqüentemente, no custo econômico do manejo microambiental. Temperaturas ambientais muito elevadas, associadas a altos valores de umidade relativa do ar, causam redução na performance produtiva, e o distanciamento da temperatura ambiente dos valores próximos à região termoneutra dos animais, perturbam o mecanismo termodinâmico que as aves possuem para se protegerem de extremos climáticos, levando ao desperdício de energia, em seu conceito mais amplo (Abreu & Abreu, 2003).

Segundo Baêta & Souza (1997), a caracterização do ambiente térmico animal envolve os efeitos da temperatura, da umidade, da radiação e do vento e, pode ser feita por meio de uma única variável, chamada de temperatura efetiva. Para determinada

faixa de temperatura efetiva ambiental, o animal mantém constante a temperatura corporal, com mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios. É a chamada zona de conforto térmico ou de termoneutralidade, em que não há sensação de frio ou calor e o desempenho do animal em qualquer atividade é otimizado.

Ainda conforme os autores acima, o meio ambiente é definido como sendo o conjunto de todos os fatores que afetam direta ou indiretamente os animais. Excetuando a alimentação e os agentes patógenos, os fatores que causam os maiores efeitos sobre o bem estar e, conseqüentemente, sobre a produção animal são temperatura, umidade, radiação, vento, que constituem o ambiente térmico animal. Deve-se projetar a instalação para amenizar os seus extremos, bem como possibilitar o controle da luminosidade e da qualidade do ar que são igualmente importantes para produtividade animal.

De acordo com Rossi (1998), a ambiência animal implica em conforto do animal no ambiente em que estiver e é, também, associada à maximização produtiva. Conforto este relacionado aos conceitos básicos de temperatura e bem estar climático. É erro comum considerar a temperatura ambiente como único elemento responsável pelo conforto térmico, esquecendo-se de outros fatores de igual ou até superior importância para o objetivo desejado.

Entre os fatores que influenciam a ambiência animal, são citados os seguintes:

- **Microclimáticos:** temperatura, vazão de ar, velocidade de deslocamento do ar, taxa de renovação do ar, pureza do ar, umidade relativa e absoluta e índice de luminosidade no galpão.
- **Agroclimáticos:** temperatura e umidade relativa ambiente, pressão atmosférica, radiação solar, ventos predominantes, orientação solar, horas de brilho solar, latitude, longitude, altitude e tipo de solo.
- **Construtivos:** sistemas de ventilação (lanternins e ventiladores), sistemas de resfriamento adiabático e evaporativo, sistema de aquecimento do ambiente e materiais estruturais do galpão.

O ambiente térmico representado por temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação, cujo efeito combinado pode ser quantificado pelo índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), afeta diretamente as aves.

### 2.2.1 Climatização

Climatização é o processo de fazer com que os fatores microclimáticos da instalação permaneçam numa faixa confortável para as espécies mantidas, criando uma certa independência do clima externo. Normalmente, o custo de climatização é inversamente proporcional ao grau de independência do ambiente externo.

Atingir o conforto térmico no interior das instalações avícolas, face às condições climáticas inadequadas, torna-se um desafio, uma vez que situações extremas de calor ou frio afetam consideravelmente a produção.

Quando em busca de um sistema de climatização adequado, devem-se levar em conta aspectos como biológico, técnico, climático e econômico (Silva & Nääs, 2004).

Os sistemas de climatização mais utilizados são:

- **Túnel** - O sistema de climatização tipo túnel é uma forma de climatização onde o ar é retirado por um dos lados da edificação por meio de exaustores, enquanto que a entrada de ar se localiza geralmente do lado oposto ao da saída. A alta velocidade do vento é uma característica determinante do túnel e sua limitação de uso está justamente nas distâncias que o ar deve percorrer, de maneira a remover todos os gases e calor gerados dentro da instalação.
- **Túnel associado à refrigeração adiabática** - Este sistema de climatização é definido como uma forma de climatização que associa o sistema de túnel com um sistema de resfriamento, geralmente envolvendo o uso de áreas molhadas ou painel evaporativo. O princípio é que, ao atravessar a área molhada, o ar se resfria e é movimentado ao longo da instalação no sentido da exaustão.
- **Túnel adaptado** - O sistema de túnel adaptado é baseado em um esquema de pressão estática regulando e forçando a entrada de ar e sua movimentação, permitindo uma movimentação de ar a uma velocidade mais baixa, tendo como opção a associação de ventilação interna, o que favorece uma turbulência maior na altura das aves alojadas. Para tanto, a abertura das cortinas laterais não representa um empecilho, mas um componente que favorece a renovação do ar através do vento exterior.

Nesse caso, a alternativa de aberturas laterais devem estar de acordo com a face de incidência dos ventos principais e a idade do lote alojado.

- **Ventilação com Nebulização** - Esta é uma situação ideal de climatização economicamente viável, com a união de ventilação e nebulização, associados a um manejo sincronizado do sistema. O uso destes dois sistemas mostra-se insuficiente para controlar os altos níveis de estresse nas aves quando o clima encontra-se em temperatura e umidade relativas elevadas. Portanto, é também necessário, além da ventilação e nebulização, controlar a temperatura da água de beber.

### 2.2.2 A ventilação

A ventilação ocorre numa instalação por causa da diferença na pressão estática entre o interior e o exterior da construção. Se o ventilador joga ar para dentro da instalação através de aberturas, a pressão estática na instalação é maior que a de fora e, normalmente, é chamada de sistema de pressão positiva. Se o ventilador remove ar da estrutura, a pressão estática no aviário será menor que a externa, e o ar fluirá para dentro através de aberturas, constituindo um sistema de pressão negativa (ASAE, 1995).

A ventilação natural pode ser usada para reduzir a carga térmica nos animais e controlar as temperaturas ambientes internas em climas quentes. O fluxo de calor do ar que entra e sai do aviário é proporcional às trocas de ar dentro da estrutura. As trocas de ar em estruturas naturalmente ventiladas são geradas por diferenças térmicas.

As condições de ventilação local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Pode-se tirar partido do perfil topográfico de um terreno para canalizar os ventos, desviando-os ou trazendo-os para a edificação (Lamberts et al., 1997).

A ventilação é um meio eficiente de reduzir a temperatura dentro das instalações avícolas, por aumentar as trocas térmicas de convecção.

A ventilação serve a três funções distintas. A primeira é manter a qualidade do ar na instalação, removendo partículas e gases indesejáveis e renovando o ar interno. A segunda função é providenciar conforto térmico pelo aumento da perda de calor corporal e melhoria do conforto. A terceira é o resfriamento da estrutura da instalação, através da convecção. A importância relativa de cada uma destas três funções depende das condições climáticas reinantes nas diferentes estações do ano e regiões do país.



A ventilação é necessária para eliminar o excesso de umidade do ambiente e da cama provenientes da água liberada pela respiração das aves e dos dejetos, permitir a renovação do ar e eliminar odores (Tinôco, 1998) e que uma das alternativas para melhorar as condições térmicas e promover a renovação do ar é a ventilação forçada. Quando não há problemas com a saturação do ar dentro dos aviários pode-se utilizar o sistema de resfriamento evaporativo, constituído basicamente pelo uso de nebulizadores, permitindo que o ar não saturado do ambiente entre em contato com a água em temperatura mais baixa, ocorrendo então a troca de calor entre o ar e a água.

De acordo com Moura (2001), a ventilação é provavelmente o aspecto mais problemático na criação de frangos, requerendo uma atenção constante, pois afeta tanto o crescimento como a saúde do lote. Além disso, a ventilação forçada implica em gasto de energia elétrica, o que também influencia no custo total da produção, justificando o uso correto do processo de ventilação.

De acordo com Barnwell & Rossi (2003), as quatro prioridades relacionadas à ventilação em períodos quentes são a velocidade do ar através das aves, a renovação do ar no galpão, a distribuição do ar no interior do galpão e o controle da umidade relativa do ar. Os requisitos de velocidade e de renovação do ar variam conforme a quantidade, a idade e o peso das aves, a umidade relativa e a temperatura de bulbo seco.

De acordo com Givoni (1980), as condições de ventilação dentro de uma instalação estão entre os primeiros fatores determinantes de saúde, conforto e bem estar, tendo um efeito direto no organismo animal, através de efeitos sensoriais e físicos, por sua influência na temperatura e umidade das superfícies e do ar interno.

Doenças crônicas, baixo ganho de peso e performance pobre estão entre os muitos problemas que podem resultar de uma má ventilação no aviário. Para diagnosticar estes problemas e determinar se o sistema de ventilação está funcionando perfeitamente, precisa-se de alguns equipamentos de monitoração. Usando-os apropriadamente, pode-se visualizar o fluxo do ar e características importantes, como: velocidade do ar, velocidade de rotação do ventilador, pressão estática, temperatura, umidade e a concentração de amônia e outros gases (Bottcher, 1995).

Para obter a temperatura ideal exigida pelas aves, as instalações avícolas têm que sofrer adaptações, como o uso de cortinas fechando total ou parcialmente a instalação, consorciado com ventiladores.

Num estudo com ventilação forçada, Timmons e Hillman (1993) concluíram que o aumento da velocidade do ar é um meio efetivo de reduzir o estresse térmico e que, aumentando-se a velocidade do ar para 2,0 m/s a 35 °C, aumentou-se a perda de calor por convecção e reduziu-se a perda por evaporação.

O estresse calórico gera um elevado consumo de energia elétrica, pois aumenta a frequência do uso de equipamentos. Esta energia tem extrema importância dentro da quantificação de custos, com total atenção aos equipamentos que estão sendo utilizados e a sua relação benefício/custo, no que diz respeito ao consumo de energia elétrica.

### **2.2.2.1 A influência da ventilação nos frangos de corte**

O primeiro objetivo da edificação é modificar o clima externo, criando condições ótimas para a produção animal. Ventilação é a chave para o controle de temperatura e níveis de umidade e para a dispersão de gases e poeira produzida dentro do galpão. A ventilação natural é o processo que possibilita esses processos a baixo custo de capital e manutenção (Baptista e Meneses, 1997).

Uma instalação avícola ideal em termos de conforto térmico proporcionado às aves, prevê uma circulação de ar adequada com a finalidade de remover o excesso de umidade e calor concentrado no interior dos galpões. Na maioria das regiões produtoras brasileiras, somente a ventilação natural não é suficiente para manter lotes mais pesados dentro da região de termoneutralidade (Nääs (b), 1997).

A ventilação é especialmente crítica durante o verão, já que as aves são suscetíveis ao estresse calórico quando expostas às altas temperaturas em combinação com alta umidade. Os aviários são comumente ventilados por convecção natural e ventos, com cortinas em ambos os lados, além de ventiladores (Sevegnani, 2000).

CARR e NICHOLSON (1980) testaram três taxas de ventilação, chamadas de baixa, média e alta, constatando-se uma diminuição na umidade da cama e na quantidade de amônia no ar, dentro do aviário, à medida que aumentou-se a ventilação. Também o ganho de peso foi afetado, ocorrendo diferença significativa entre as três taxas de ventilação.

A amônia ( $\text{NH}_3$ ) presente no ar dentro do aviário afeta o desempenho das aves no que diz respeito à taxa de crescimento, eficiência alimentar, qualidade de carcaça e susceptibilidade a doenças, além da saúde dos trabalhadores. Para minimizar estes efeitos, pesquisas mostram que o nível de amônia deve ser mantido abaixo de 25 ppm.

O método mais fácil para controlar a amônia é o controle da taxa de ventilação, que pode ser feito com um simples ajuste na taxa de ventilação mínima ou na variação da velocidade dos ventiladores. Aumentando-se a taxa de ventilação, geralmente a concentração de amônia é diluída.

Xin et al. (1996) testaram dois sistemas de ventilação em quatro aviários, em Arkansas, medindo 12 x 121 m. Dois dos quatro aviários tinham ventilação convencional e os outros dois usavam ventilação em túnel. Os ventiladores usados tinham 0,9 m de diâmetro. O trabalho tentou estimar um valor para a mínima ventilação para o controle de amônia, concluindo que a mínima ventilação requerida é menor do que aquela necessária para o controle de umidade, ou seja, utilizando-se uma ventilação correta para renovação de ar e remoção de umidade, estará se fazendo um controle adequado da quantidade de amônia no aviário.

Para Nääs(a) (1995), a velocidade máxima de vento perto das aves confinadas não deve ultrapassar 2,0 m/s, determinando limitações no uso abusivo de ventiladores, pois acarretaria problemas respiratórios. O dimensionamento adequado de ventiladores está relacionado com o número total de aves adultas alojadas, as temperaturas interna e externa, velocidade externa do ar e eficiência de aberturas.

A produção de calor sensível e latente em uma estrutura foi avaliada em um aviário fechado e ventilado, como um túnel de vento, por Gates et al. (1995). Eles concluíram que quanto maior a ventilação, maior a remoção de calor sensível. Aumentando a movimentação do ar sobre a superfície corporal das aves, é facilitada a perda de calor da ave para o ambiente por processos convectivos. A movimentação do ar reduz a temperatura retal e a taxa respiratória das aves, amenizando o estresse térmico a qual estão sendo submetidas.

Simmons et al. (s/d) estudaram a perda de calor em frangos submetidos a várias velocidades do vento e temperaturas ambientes. Usaram valores de temperatura ambiente de 29, 32 e 35 °C e velocidades de vento de 1 a 3 m/s, com aumentos de 0,5 m/s. Os resultados indicaram que com o aumento da velocidade do vento, ocorre um aumento na perda de calor sensível e correspondente diminuição na perda de calor latente.

Zhou e Yamamoto (b) (1997) estudaram os efeitos da temperatura ambiental e a produção de calor por frangos atribuídos à ingestão de alimentos nas respostas fisiológicas. A produção de calor aumentou com os aumentos da ingestão de alimentos e

da temperatura ambiente.

#### 2.2.2.2 O uso de ventiladores

O mecanismo de ventilação de ar ajuda não só na retirada de calor produzido pelas aves no galpão, como também melhora a sensibilidade térmica das aves. Um movimento de ar, sobre qualquer superfície em que a água esteja presente, promove uma evaporação dessa água. Esse processo consome energia (579 kCal/l de água evaporada), e o frango sofre um resfriamento corporal em contato com o vento (Silva & Nääs, 2004).

Os sistemas de ventilação podem ser classificados em natural, artificial e misto. Dependendo somente da ventilação natural, na maioria dos casos, é arriscado porque os valores de temperatura e umidade relativa que ocorrem na maioria das regiões do país, principalmente no verão, ultrapassam os valores críticos a que o frango deve ser exposto, representando perda de produção.

O ventilador é uma bomba de ar funcionando para vencer as pressões de resistência impostas pelos dutos e demais equipamentos do sistema de ventilação. De modo geral, a capacidade do ventilador é proporcional à sua rotação: a pressão, ao quadrado da rotação, a potência, ao cubo da rotação (Baêta e Souza, 1997).

A diferença entre a pressão estática interna e a externa do ar no galpão faz com que haja o movimento do ar e conseqüentemente, mantém a temperatura crítica superior mais baixa, como mostra a **Figura 3**.

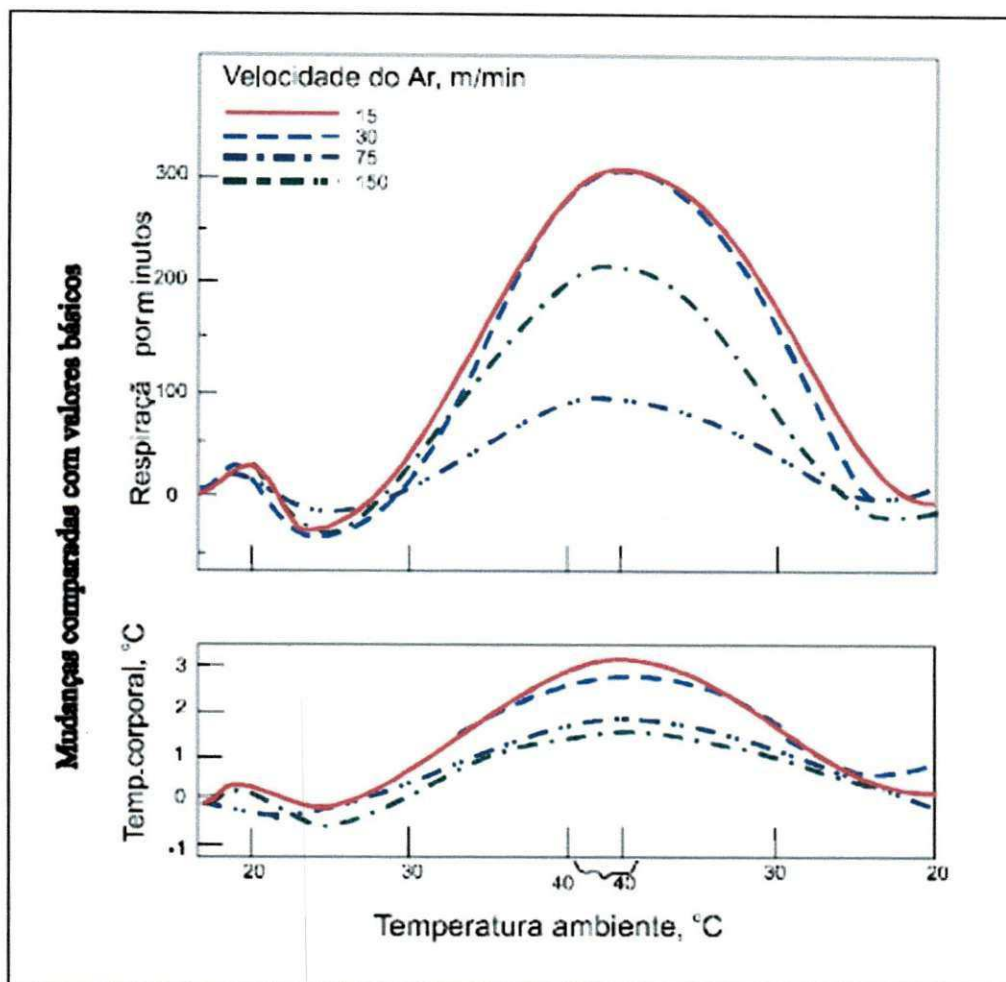


Figura 3: Efeito da velocidade do ar e da temperatura de bulbo seco no trato respiratório de frangos (ERNST, 1995)

Na figura 3 se verifica que quanto maior a ventilação, menor a diferença observada na quantidade de movimentos respiratórios/min e menor a diferença na temperatura corporal. Já para velocidades do ar menores, houve uma elevação na temperatura corporal e nos movimentos respiratórios/min, principalmente quando a temperatura ambiente chegou aos 40 °C.

Normalmente, os ventiladores são colocados a 1,2 m de altura, em média, inclinados para baixo ligeiramente, visando incrementar a turbulência. Geralmente, ocorrem zonas “mortas” de ventilação, ou seja, áreas sem ventilação, o que ocasiona o acúmulo das aves nos locais mais ventilados (Santin, 1996).



Para Zhang e Barber (1993), um bom sistema de controle de ventilação é aquele que consegue equilibrar a remoção de umidade e manter o balanço de calor sensível.

O uso de ventiladores axiais, à noite, em aviários ventilados naturalmente com uso de cortinas, tem mostrado uma melhora no desempenho das aves em climas quentes. Estudos, em campo, recentes mostraram que reduzindo a velocidade dos ventiladores, melhora-se o desempenho das aves. Este aumento no uso dos ventiladores à noite ajuda a aumentar a perda de calor das aves, sem aumento substancial no gasto de energia elétrica. Quando as aves estão em estresse calórico, estocam o calor recebido durante o dia no organismo, podendo dissipá-lo à noite. Aumentando o uso de ventiladores à noite, acelera-se este processo de perda de calor, ganhando em peso e conversão alimentar (Bottcher e Bisesi, 1993).

### **2.2.2.3 Ventiladores associados a nebulizadores**

A associação de sistemas de ventilação e de nebulização vem potencializar a climatização de uma edificação, por permitir a circulação de ar frio no ambiente interno, aumentando a remoção de calor, que é função direta da diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno e entre o ambiente interno e o frango alojado (Nääs (a), 1997).

Simmons e Deaton (1989) estudaram o sistema de resfriamento evaporativo no aumento da produção de frangos de corte. Foram utilizadas aves de 4 a 9 semanas de idade, em ambiente com controle de umidade e temperatura. As temperaturas testadas foram de 21 °C e 24 a 29 °C com resfriamento evaporativo. Os resultados mostraram que, com 6 semanas, a melhor taxa de conversão, que também produziu o mais alto ganho de peso ocorreu com o resfriamento evaporativo.

Czarick e Lacy (1991) fizeram uma comparação no desempenho de aves e condições ambientais em dois aviários, um no sistema de túnel e outro no sistema de manejo de cortinas convencional. Os dois aviários tinham sistema de nebulização. As temperaturas foram medidas a 1, 2, 3 e 4 metros do piso, usando-se termopares. A umidade foi coletada no meio dos galpões. Concluíram que a combinação

da diminuição da temperatura e o aumento da velocidade do ar resultou em um aumento significativo no peso corporal e na conversão alimentar para os frangos criados no sistema de túnel.

### **2.2.3 A iluminação**

A importância da luz nos aviários não está restrita apenas à duração do fotoperíodo. A intensidade da luz, fonte de luz, frequência, comprimento de onda do pico de radiação, comprimento de onda espectral, composição espectral e a distribuição espacial das lâmpadas no galpão, também afetam os resultados finais, em termos da qualidade e da quantidade de produção. O sistema visual da ave responde a radiações luminosas na faixa do espectro visível entre 664 nm e 740 nm, portanto as lâmpadas empregadas nos aviários devem emitir nessa faixa espectral e suprir a intensidade de luz necessária para cada fase de criação, bem como possuir uma distribuição uniforme.

O emprego da luz na avicultura está relacionado ao desenvolvimento da ave e ao consumo alimentar e um bom programa de iluminação se torna componente decisivo no manejo adequado das aves, já que a glândula pituitária da ave é estimulada pela radiação luminosa que penetra pelo sistema ocular, passando a produzir hormônios que farão com que os órgãos reprodutivos funcionem. No caso de matrizes, para se obter boa resposta de produção, não se deve permitir a sobreposição do hormônio de crescimento com a liberação dos hormônios sexuais, sendo as aves mantidas em ambiente escuro até a 21<sup>a</sup> semana de vida. Desta maneira, um programa de luz corretamente dimensionado durante o crescimento das aves é uma forma eficaz para se atrasar a maturidade sexual, fazendo com que ocorra maior produção de ovos na fase inicial de postura e, também, que o lote tenha maior homogeneidade.

Para escolha de um programa de luz para frango de corte devem ser levados em consideração alguns fatores como genética, práticas de manejo, consumo de ração, a densidade nutricional e o tipo de aviário.

O excesso de iluminância também prejudica a produção de frangos de corte favorecendo comportamentos de agressividade, hiperatividade e canibalismo, também acarretando maior deposição de gordura, maior incidência de problemas de pernas, e doenças metabólicas e circulatórias (Jordan e Tavares, 2005).

Entre os mais importantes problemas metabólicos em frangos de corte, decorrentes do excesso de iluminação, estão a síndrome de morte súbita e a síndrome ascítica, que comprometem a função cardiovascular, e juntas, podem ser responsáveis por mais de 30% da mortalidade total presente em granjas de frangos de corte (Marcolin et Al., 2008).

Outro fator que se deve considerar é o econômico. Segundo Jordan e Tavares (2005), a iluminação dos galpões de matrizes é responsável por enormes desperdícios de energia pois o sistema de iluminação utilizado para produzir a iluminância normalmente empregada (40 lux) é composto por um elevado número de lâmpadas de alta potência e baixa eficiência. As lâmpadas incandescentes, usualmente empregadas, apresentam baixa taxa de conversão lm/W, da ordem de 15 lm/W, além de pequena durabilidade (vida média de 1000 h), fato que aumenta os gastos com reposição. Um galpão de 100 x 12 m emprega 100 a 120 lâmpadas incandescentes de 100 W, chegando o sistema a permanecer em funcionamento durante 17 h diárias.

Considerando o exposto, quando as condições internas do galpão excedem os limites de conforto para as aves, a correção deve ser realizada o mais rapidamente possível. Isso justifica o uso de sistemas automatizados para medição e controle das variáveis ambientais.

### 2.3 Redes de Sensores Sem Fio

Segundo Loureiro et Al. (2003), o avanço que tem ocorrido na área de micro-processadores, novos materiais de sensoriamento, micro sistemas eletromecânicos (*MEMS – Micro Electro-Mecanical Systems*) e comunicação sem fio têm estimulado o desenvolvimento e uso de sensores “inteligentes” em áreas ligadas a processos físicos, químicos, biológicos, dentre outros. É usual ter num único *chip* vários sensores, que são controlados pela lógica do circuito integrado, com uma interface de comunicação sem fio. Normalmente o termo “sensor inteligente” é aplicado ao *chip* que contém um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados. A tendência é produzir esses sensores em larga escala, barateando o seu custo, e investir ainda mais no desenvolvimento tecnológico desses dispositivos, levando a novas melhorias e capacidades.

Redes de sensores sem fio (RSSFs) podem ser vistas como um tipo especial de rede móvel *ad hoc* (*MANET – Mobile Ad hoc Network*) (Loureiro et al., 2003). RSSFs diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Em geral, as RSSFs possuem um grande número de elementos distribuídos, operam sem intervenção humana direta, tem restrições severas de energia, e devem possuir mecanismos para auto-gerenciamento (auto-configuração, auto-manutenção, auto-organização, auto-proteção etc.) devido a deposição em áreas remotas, a pouca capacidade individual dos nós e a topologia dinâmica. Os nós de uma RSSF podem ser descartados, perdidos ou saírem de serviço por diferentes razões como falta de energia, problemas na deposição, ameaças e ataques a segurança, falhas nos componentes e falhas de comunicação (Ruiz, 2003). Mesmo sem a mobilidade dos nós, a topologia da rede é dinâmica e os algoritmos distribuídos tradicionais, como protocolos de comunicação e eleição de líder devem ser revistos para esse tipo de ambiente antes de serem usados diretamente (Loureiro et al., 2003).

Nessas redes, cada nodo é equipado com uma variedade de sensores. Esses nodos podem ser organizados em grupos (*clusters*) onde pelo menos um dos sensores deve ser capaz de detectar um evento na região, processá-lo e tomar uma decisão se deve fazer ou não uma difusão (*broadcast*) do resultado para outros nodos (Loureiro et al., 2003).

### 2.3.1 Características das RSSFs

Redes de sensores sem fio apresentam características particulares conforme as áreas em que são aplicadas.

- **Endereçamento dos sensores ou nodos.** Dependendo da aplicação, cada sensor pode ser endereçado unicamente ou não.
- **Agregação dos dados.** Indica a capacidade de uma RSSF de agregar ou sumarizar dados coletados pelos sensores. Caso a rede tenha essa funcionalidade, é possível reduzir o número de mensagens que precisam ser transmitidas por ela.
- **Mobilidade dos sensores.** Indica se os sensores podem se mover ou não em relação ao sistema em que estão coletando dados.
- **Restrições dos dados coletados.** Indica se os dados coletados pelos sensores têm algum tipo de restrição como um intervalo de tempo Máximo para disseminação de seus valores para uma dada entidade de supervisão.
- **Quantidade de sensores.** Redes contendo de 10 a 100 mil sensores são previstas para aplicações ambientais. Logo, escalabilidade é uma questão importante.
- **Limitação da energia disponível.** Em muitas aplicações, os sensores serão colocados em áreas remotas, o que não permitirá facilmente o acesso a esses elementos para manutenção. Neste cenário, o tempo de vida de um sensor depende da quantidade de energia disponível. Aplicações, protocolos, e algoritmos para RSSFs não podem ser escolhidos considerando apenas sua “elegância” e capacidade, mas definitivamente a quantidade de energia consumida. Assim, o projeto de qualquer solução para esse tipo de rede deve levar em consideração o consumo, o modelo de energia e o mapa de energia da rede.

### 2.3.2 Componentes de uma rede de sensores sem fio

Os principais componentes de um nó sensor são transceptor para comunicação sem fio, fonte de energia, unidade de sensoriamento, memória e processador.



O componente lógico de um nó sensor é o software executado no processador (Loureiro et al., 2003). Existem casos em que uma RSSF também pode ser composta de dispositivos chamados atuadores que permitem ao sistema controlar parâmetros do ambiente monitorado.

Os nós individualmente possuem pouca capacidade computacional e de energia, mas um esforço colaborativo entre os mesmos permite a realização de uma grande tarefa (Ruiz et al., 2004). Os nós sensores devem ser capazes de formar uma rede sem fio *ad hoc* que coleta dados sobre os fenômenos de interesse, realiza processamento local, e dissemina as informações para um ponto de acesso em um esquema de comunicação multi-saltos (*multi-hop*) sem intervenção de técnicos ou operadores. O ponto de acesso é o elemento através do qual a rede comunica-se com outras redes ou com um ou mais observadores e pode ser implementado em um nó sensor que será chamado de nó sorvedouro (*sink node*) ou em uma estação base (*BS - Base Station*). (Ruiz et al., 2003).

### **2.3.3 Classificação das redes de sensores sem fio**

De acordo com (Ruiz, 2003), as RSSFs podem ser classificadas segundo a configuração (ver Tabela 1), o sensoriamento (ver **Tabela 2**) e segundo o tipo de comunicação (ver Tabela 3). Uma RSSF também pode ser diferente segundo o tipo de processamento que executa (ver **Tabela 4**).

Tabela 1: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a configuração

Configuração		
Composição	Homogênea	Rede composta de nós que apresentam a mesma capacidade de hardware. Eventualmente os nós podem executar software diferente.
	Heterogênea	Rede composta por nós com diferentes capacidades de hardware.
Organização	Hierárquica	RSSF em que os nós estão organizados em grupos ( <i>clusters</i> ). Cada grupo terá um líder ( <i>cluster-head</i> ) que poderá ser eleito pelos nós comuns. Os grupos podem organizar hierarquias entre si.
	Plana	Rede em que os nós não estão organizados em grupos.
Mobilidade	Estacionária	Todos os nós sensores permanecem no local onde foram depositados durante todo o tempo de vida da rede.
	Móvel	Rede em que os nós sensores podem ser deslocados do local onde inicialmente foram depositados.
Densidade	Balanceada	Rede que apresenta uma concentração e distribuição de nós por unidade de área considerada ideal segundo a função objetivo da rede.
	Densa	Rede que apresenta uma alta concentração de nós por unidade de área.
	Esparsa	Rede que apresenta uma baixa concentração de nós por unidade de área.
Distribuição	Irregular	Rede que apresenta uma distribuição não uniforme dos nós na área monitorada.
	Regular	Rede que apresenta uma distribuição uniforme de nós sobre a área monitorada.

Fonte: Ruiz, 2003

Tabela 2: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o sensoriamento

Sensoriamento		
Coleta	Periódica	Os nós sensores coletam dados sobre o(s) fenômeno(s) em intervalos regulares. Um exemplo são as aplicações que monitoram o canto dos pássaros. Os sensores farão a coleta durante o dia e permanecerão desligados durante a noite.
	Contínua	Os nós sensores coletam os dados continuamente. Um exemplo são as aplicações de exploração interplanetária que coletam dados continuamente para a formação de base de dados para pesquisas.
	Reativa	Os nós sensores coletam dados quando ocorrem eventos de interesse ou quando solicitado pelo observador. Um exemplo são as aplicações que detectam a presença de objetos na área monitorada.
	Tempo Real	Os nós sensores coletam a maior quantidade de dados possível no menor intervalo de tempo e a resposta é garantida em intervalo de tempo determinado. Um exemplo são aplicações que envolvem risco para vidas humanas tais como aplicações em escombros ou áreas de desastres. Um outro exemplo são as aplicações militares onde o dado coletado é importante na tomada de decisão e definição de estratégias.

Fonte: Ruiz, 2003, adaptado.

Tabela 3: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação

Classificação segundo a Comunicação		
Disseminação	Programada	Os nós disseminam em intervalos regulares.
	Contínua	Os nós disseminam os dados continuamente.
	Sob Demanda	Os nós disseminam os dados em resposta à consulta do observador e à ocorrência de eventos.
Tipo de Conexão	Simétrica	Todas as conexões existentes entre os nós sensores, com exceção do nó sorvedouro têm o mesmo alcance.
	Assimétrica	As conexões entre os nós comuns têm alcances diferentes.
Transmissão	Simplex	Os nós sensores possuem transceptor que permite apenas transmissão da informação.
	Half-duplex	Os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber em um determinado instante.
	Full-duplex	Os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber dados ao mesmo tempo.
Alocação de Canal	Estática	Neste tipo de rede se existirem "n" nós, a largura de banda é dividida em "n" partes iguais na frequência (FDMA - Frequency Division Multiple Access), no tempo (TDMA - Time Division Multiple Access), no código (CDMA - Code Division Multiple Access), no espaço (SDMA - Space Division Multiple Access) ou ortogonal (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing). A cada nó é atribuída uma parte privada da comunicação, minimizando interferência.
	Dinâmica	Neste tipo de rede não existe atribuição fixa de largura de banda. Os nós disputam o canal para comunicação dos dados.
Fluxo de Informação	<i>Flooding</i>	Neste tipo de rede, os nós sensores fazem broadcast de suas informações para seus vizinhos que fazem broadcast desses dados para outros até alcançar o ponto de acesso. Esta abordagem promove um alto overhead mas está imune às mudanças dinâmicas de topologia e a alguns ataques de impedimento de serviço (DoS - Denial of Service).
	<i>Multicast</i>	Neste tipo de rede os nós formam grupos e usam o multicast para comunicação entre os membros do grupo.
	<i>Unicast</i>	Neste tipo de rede, os nós sensores podem se comunicar diretamente com o ponto de acesso usando protocolos de roteamento multi-saltos.
	<i>Gossiping</i>	Neste tipo de rede, os nós sensores selecionam os nós para os quais enviam os dados.
	<i>Bargaining</i>	Neste tipo de rede, os nós enviam os dados somente se o nó destino manifestar interesse, isto é, existe um processo de negociação.

Fonte: Ruiz, 2003

Tabela 4: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o processamento

Classificação segundo o Processamento		
Cooperação	Infra-estrutura	Os nós sensores executam procedimentos relacionados à infra-estrutura da rede como por exemplo, algoritmos de controle de acesso ao meio, roteamento, eleição de líderes, descoberta de localização e criptografia.
	Localizada	Os nós sensores executam além dos procedimentos de infra-estrutura, algum tipo de processamento local básico como por exemplo, tradução dos dados coletados pelos sensores baseado na calibração.
	Correlação	Os nós estão envolvidos em procedimentos de correlação de dados como fusão, supressão seletiva, contagem, compressão, multi-resolução e agregação.

Fonte: Ruiz, 2003

#### **2.3.4 Dificuldades para o desenvolvimento de redes de sensores sem fio**

Para Ruiz et al. (s/d), do ponto de vista científico, as RSSFs apresentam uma grande variedade de novos problemas ainda não estudados ou ainda incipientes, como a sua teoria de redes de comunicação sem fio. O projeto de uma RSSF é influenciado por muitos fatores que incluem tolerância a falhas, escalabilidade, custo de produção, ambiente operacional, topologia da rede, restrições de hardware, meio de transmissão e consumo de energia. Cada um destes fatores exige requisitos específicos na concepção e projeto dos nós, assim como em todas as camadas da pilha de protocolos. Os requisitos do projeto da camada física incluem os esquemas de modulação, estratégias para superar os efeitos da propagação de sinal e projeto de hardware de baixo consumo. Já os desafios da camada de enlace de protocolos de controle de acesso ao meio são a determinação do limite inferior de energia requerida para auto-organização da rede, esquemas de controle de erro, modos de operação para economizar energia e cuidados com a mobilidade. Para a camada de rede, os requisitos esperados são as mudanças de topologia, endereçamento, escalabilidade e interface com outras redes. Os protocolos da camada de transporte devem permitir a diversidade de comunicação fim-a-fim para calcular variações nas características do canal de comunicação. Todos os fatores citados acima são influenciados pelos requisitos da aplicação, isto porque, uma RSSF é um tipo de sistema dependente da aplicação. Os parâmetros de configuração, operação e manutenção variam com os objetivos da aplicação.

O processamento local dos dados através de correlação (fusão, contagem, agregação, compressão, etc.) também são requisitos a serem considerados no projeto dos protocolos para disseminação e consulta aos nós sensores, assim como os requisitos de segurança em cada uma das camadas da pilha de protocolos. (Ruiz et al., s/d).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A idéia do sistema é distribuir sensores no galpão que será monitorado. A quantidade e tipos de sensores dependem da aplicação desejada. Por exemplo, para a produção de frangos podem ser usados de 6 a 9 módulos sensores de temperatura, umidade e luminosidade, o que permite uma boa avaliação das condições ambientais do local e um controle suficiente. Já para uma pesquisa, podem ser acoplados sensores específicos para as variáveis a serem pesquisadas e a quantidade dependerá da área de influencia que se deseja medir, podendo o número ser tão grande quanto se deseje. Uma vez feita a distribuição, estes sensores se comunicarão com um Módulo Concentrador que receberá os valores das variáveis medidas e tomará as decisões de controle (ligar ou desligar ventiladores, aspersores, etc.). Definidos os componentes que serão ligados ou desligados, o Módulo Concentrador envia a mensagem para o Módulo Acionador que fará o acionamento destes dispositivos. Após esta mensagem, o Módulo Concentrador envia uma mensagem resumida, onde constam as médias das grandezas medidas, para o Módulo de Comunicação, que transfere este arquivo para uma computador ligado a Internet. Os dados podem então ser visualizados em qualquer outro computador com acesso a rede mundial.

Tentou-se evitar ao máximo o uso de soluções prontas pelos seguintes motivos:

- Por se tratar do desenvolvimento de uma aplicação, quanto mais blocos tiverem que ser desenvolvidos, maiores serão as dificuldades, porém maior o retorno em conhecimento e domínio de técnicas;
- Não utilizar módulos comerciais permite maior flexibilidade do sistema.

Como desvantagens desta escolha, podemos citar:

- Maior tempo gasto no desenvolvimento;
- Possibilidade maior de erros.

#### **3.1 Desenvolvimento do sistema**

O sistema proposto é apresentado na Figura 4. Este modelo é reduzido na quantidade de módulos para fins de construção e avaliação de funcionamento. Nada impede que o número de módulos sensores seja maior e que o sistema se torne mais complexo, desde que sejam feitas as alterações necessárias no software.



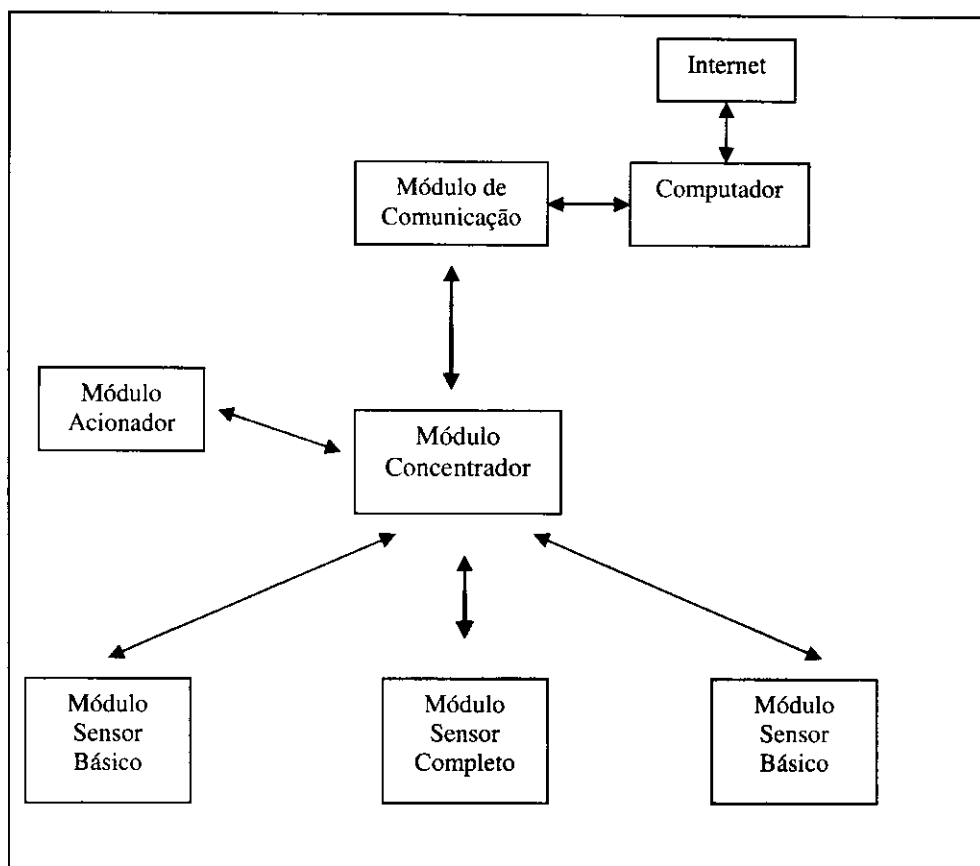


Figura 4: Modelo do sistema de aquisição e controle proposto

Foram admitidos os seguintes procedimentos como considerações de projeto:

- Os módulos foram construídos de forma genérica, onde os mesmos circuitos são utilizados em diversos módulos;
- O microcontrolador foi super dimensionado para que houvesse total liberdade durante o período de desenvolvimento;
- Como o sistema vai operar dentro de galpões, a alimentação de energia é feita pela rede elétrica;
- A eficiência energética não foi observada;
- A segurança da informação e a criptografia foram ignoradas;
- Os sensores foram construídos apenas para representarem as variações no ambiente, não é pretensão que sejam exatos ou precisos.

Todas estas observações devem ser corrigidas em sistemas comerciais.

Outra observação, os sensores utilizados são apenas para ilustrar, mostrar que dados digitais e analógicos podem ser lidos e transmitidos pelo sistema. Em sistemas que exigem dados mais precisos, é recomendável o uso de sensores calibrados.

O sistema será dividido em Hardware e Software para facilitar o entendimento.

### 3.1.1 O Hardware

O hardware deste sistema é composto por dois módulos sensores básicos, um módulo sensor completo, um módulo concentrador, um módulo acionador, um módulo de comunicação e um computador com acesso à Internet.

Para explicar o funcionamento de cada módulo eles serão divididos em blocos funcionais. A função de cada bloco será descrita de forma que para evitar a repetição, nos módulos seguintes, aos blocos que apresentarem a mesma função subteende-se a mesma descrição.

#### 3.1.1.1 O Módulo Concentrador

O módulo concentrador apresenta os blocos funcionais mostrados na Figura 5, são eles: Unidade de Processamento I, Receptor RF, Transmissor RF, Fonte de Alimentação Simples 12 V/1 A Primária.

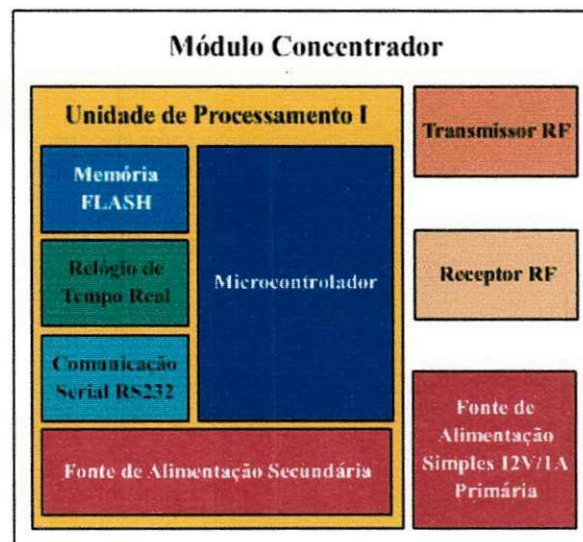


Figura 5: Blocos funcionais do módulo concentrador

A Unidade de Processamento I está subdividida em Microcontrolador, Memória FLASH, Relógio de Tempo Real, Comunicação Serial RS232 e Fonte de Alimentação Secundária.

### 3.1.1.1.1 Fonte de Alimentação Simples +12 V/1 A Primária

Com exceção da placa de sensores analógicos, a fonte de alimentação simples é utilizada como fonte principal para todas as placas do sistema. É baseada no regulador de tensão de três terminais LM7812. Fornece tensão de 12 V regulada e estabilizada e é capaz de suprir até 1 A de corrente.

A série LM78XX de reguladores positivos de três terminais está disponível com várias tensões de saída fixas, tornando-os úteis numa vasta gama de aplicações.

Cada tipo possui limitação interna de corrente, desligamento térmico e proteção de área de operação segura, tornando-os praticamente indestrutíveis.

Com dissipador de calor adequado, eles podem fornecer mais de 1 A de corrente de saída. Embora concebido essencialmente como reguladores de tensão fixa, estes dispositivos podem ser utilizados com componentes externos para obter tensões e correntes ajustáveis.

As tensões de saída fornecidas são 5, 6, 8, 9, 12, 15, 18 e 24 volts. O XX indica a tensão de saída na série LM78XX. Por exemplo, o LM7812 é um regulador para 12 V.

O circuito da fonte simples é mostrado na Figura 6.

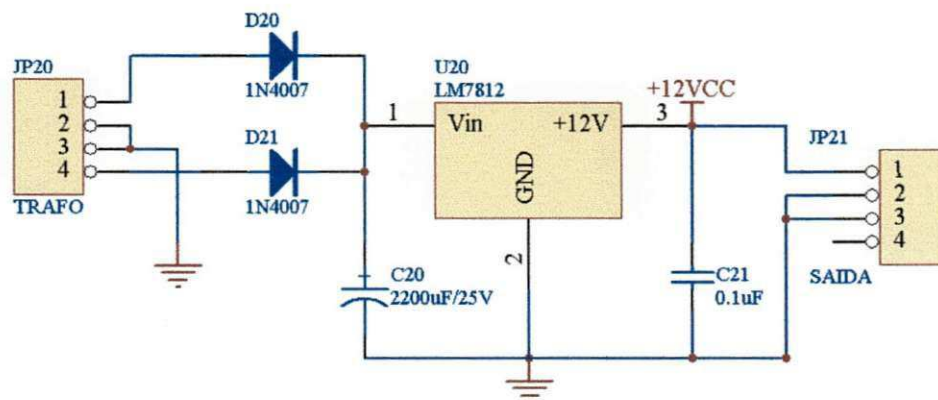


Figura 6: Circuito da fonte de alimentação simples +12V/1 A

No JP20 é ligado um transformador center-tapped de 12+12V.

D20 e D21 formam um retificador de onda completa center-tapped positivo, cujo capacitor de filtro é C20. A tensão sobre C20 fica em torno de +16 V. Esta tensão é aplicada à entrada do regulador de tensão LM7812, pino 1 de U20. Na saída de U20 (pino 3) tem-se +12 V regulados. O capacitor C21 melhora o desempenho de U20.

JP21 é o conector de saída desta fonte de alimentação.

### 3.1.1.1.2 Unidade de Processamento I

A Unidade de Processamento I é dividida em Microcontrolador, Memória FLASH, Relógio de Tempo Real, Comunicação Serial RS232 e Fonte de Alimentação Secundária. É mostrada na Figura 7.



Figura 7: Unidade de Processamento I

#### 3.1.1.1.2.1 O Microcontrolador

O microcontrolador é o responsável por todo o funcionamento do módulo. Para facilitar o entendimento pode-se dividir o bloco Microcontrolador da seguinte forma (Figura 8):



Figura 8: Microcontrolador

O esquema elétrico é mostrado na Figura 9.



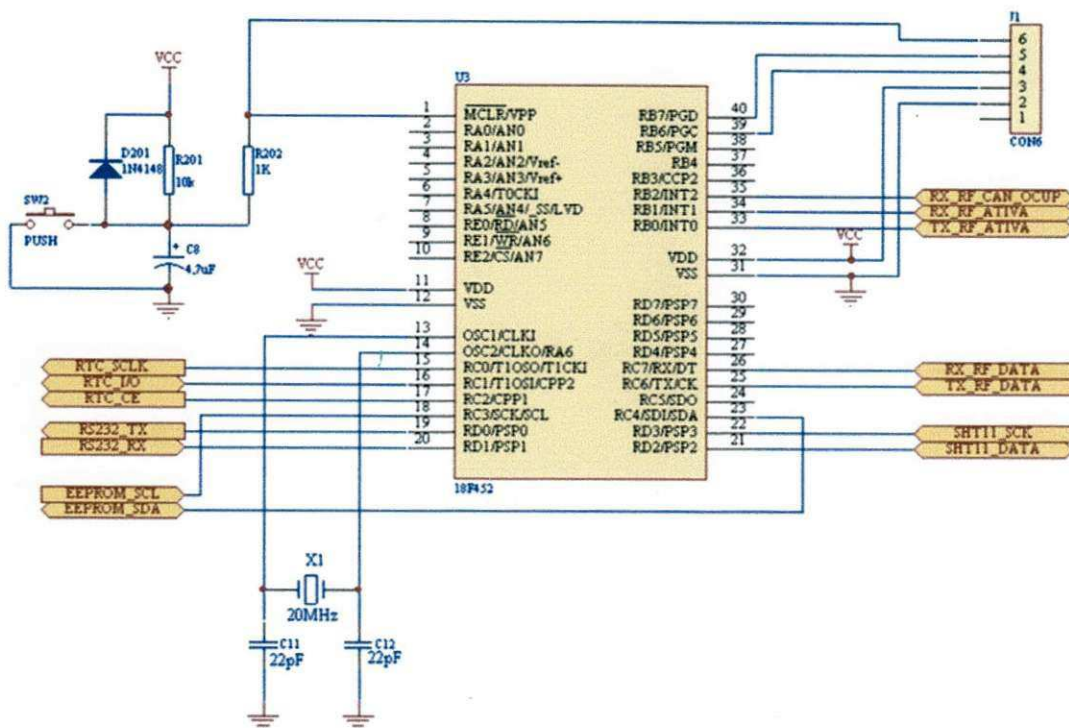


Figura 9: Circuito básico para o microcontrolador

### 3.1.1.1.2.1.1 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado é o PIC18F452. Um microcontrolador de arquitetura RISC que opera com clock de até 40 MHz. Possui 32 Kbytes de memória Flash para programa, RAM de 1536 Bytes e EEPROM de dados de 256 Bytes. Possui interfaces serial, I<sup>2</sup>C e outras. Dispõe também de 8 conversores AD de 10 bits.

### 3.1.1.1.2.1.2 Circuito de Reset

Os resistores R201, R202, o diodo D201, o capacitor C8 e o Push button SW2 formam o circuito de Reset do microcontrolador. Quando aplicamos o nível lógico 0 no pino de Reset do microcontrolador (pino 1), este é reiniciado.

Quando o circuito está desligado, C8 encontra-se totalmente descarregado. Ao ligarmos a alimentação do circuito, C8 começa a se carregar através de R201, isto demora alguns ciclos de relógio do microcontrolador, o que faz com que o microcontrolador permaneça em Reset. Ao aumentar o potencial sobre C8, o microcontrolador sai da condição de Reset e passa a executar sua programação. C8 vai permanecer carregado (nível lógico 1) até que a alimentação seja cortada ou que seja pressionado o botão de Reset (SW2). Quando o botão de Reset é pressionado, os



terminais de C8 são curto-circuitados e este se descarrega, reiniciando o microcontrolador e repetindo o ciclo descrito acima.

Ao desligar-se a fonte de alimentação, C8 demoraria a se descarregar devido à impedância do pino 1 do microcontrolador. Para acelerar este processo e evitar este acúmulo de cargas, D201 liga C8 diretamente a fonte de alimentação. Quando o potencial da fonte cai, C8 é descarregado através de D201 pela própria fonte. Isto também ajuda no caso de desligamentos repentinos da alimentação, pois garante que o sistema será reiniciado, evitando travamentos. R202 funciona como proteção, evitando que o pino 1 seja curto-circuitado durante uma operação de gravação *In Circuit*.

#### **3.1.1.1.2.1.3 Cristal Oscilador**

O circuito formado pelo cristal X1 de 20 MHz e pelos capacitores cerâmicos C11 e C12 (22 pF) determina a frequência de operação do sistema.

#### **3.1.1.1.2.1.4 Conector de Programação**

O conector J1 foi acrescentado ao circuito para permitir a gravação e depuração de programas *In Circuit*, com o sistema operando. Ele apresenta a configuração da Tabela 5.

Tabela 5: Pinagem do conector J1

Pino em J1	Pino do microcontrolador
1	Não usado
2	Vss (GND)
3	Vdd (Vcc)
4	PGC
5	PGD
6	MCLR

#### **3.1.1.1.2.1.5 Portas de Entrada e Saída**

São os pinos que fazem a interligação entre o microcontrolador e os outros circuitos, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Descrição das portas de entrada e saída dos diversos módulos

Pino no Microcontrolador	Nome	Conectado a	Presente nos Módulos
15	RTC_SCLK	Relógio de Tempo Real	TODOS
16	RTC_I/O		
17	RTC_CE		
19	RS232_TX	Comunicação Serial RS232	TODOS
20	RS232_RX		
18	EEPROM_SCL	Memória FLASH	TODOS
23	EEPROM_SDA		
25	TX_RF_DATA	Transmissor RF	TODOS
33	TX_RF_ATIVA		
26	RX_RF_DATA	Receptor RF	TODOS
34	RX_RF_ATIVA		
35	RX_CAN_OCUP		
21	SHT11_DATA	Sensor de Temperatura e Umidade Relativa	Sensor Básico Sensor Completo
22	SHT11_SCK		
10	OUT0	Placa de Acionamento	Acionador
9	OUT1		
8	OUT2		
7	OUT3		
6	OUT4		
5	OUT5		
4	OUT6		
3	OUT7		
2	OUT8		
30	OUT9		
29	OUT10		
28	OUT11		
27	OUT12		
24	OUT13		
22	OUT14		
21	OUT15		
2	AD0	Placa de Sensores Analógicos	Sensor Completo
3	AD1		
4	AD2		
5	AD3		
7	AD4		
8	AD5		
9	AD6		
10	AD7		

### 3.1.1.1.2.2 Fonte de Alimentação Secundária

Como na Fonte de Alimentação 12 V/1 A Primária, a Fonte de Alimentação Secundária é baseada no regulador de tensão de três terminais LM7805. Fornece tensão de 5 V regulada e estabilizada para alimentar os circuitos da placa da Unidade de Processamento I.

O seu esquema elétrico é apresentado na Figura 10. Note que esta fonte já recebe 12 V regulados e estabilizados, que também alimentam outros módulos ligados a ela, e regula e estabiliza a tensão de 5 V que alimentará os blocos que necessitem deste potencial.

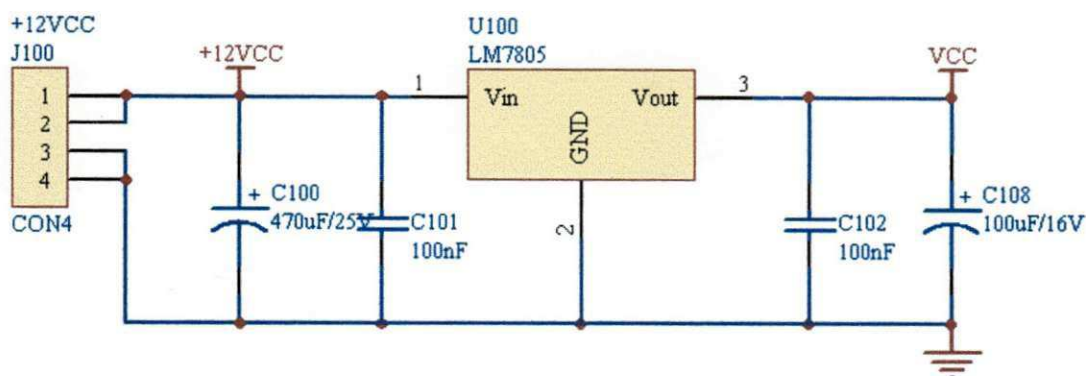


Figura 10: Circuito da fonte de alimentação secundária

J100 recebe a tensão de 12 V proveniente da fonte de alimentação principal que alimenta este módulo.

C100 é um capacitor de filtro de entrada. U100 (LM7805) é o regulador de tensão que regula os 12 volts da entrada (pino 1 de U100) para os 5 volts de saída (pino 3 de U100). C101 e C102 são capacitores de compensação que melhoram a filtragem de espúrios de alta frequência. C108 é o capacitor de filtro de saída da fonte.

### 3.1.1.1.2.3 O Relógio de Tempo Real

O chip DS1302 contém um relógio de tempo real/calendário e 31 bytes de memória RAM estática. Ele se comunica com o microcontrolador através de uma interface serial simples. O relógio de tempo real/calendário fornece informações de segundos, minutos, horas, dias, data, mês e ano. A data de final de mês é ajustada automaticamente para meses com menos de 31 dias, incluindo as correções para ano bissexto. O relógio funciona com os formatos 24 horas ou 12 horas com indicação AM/PM.

A comunicação entre o DS1302 e o microcontrolador é feita por meio de comunicação serial síncrona. Apenas três fios são necessários para se comunicar com o relógio/RAM: CE, I/O (linha de dados), e SCLK (serial clock). Os dados podem ser

transferidos de e para o relógio/RAM 1 byte por vez ou em uma seqüência de até 31 bytes. O DS1302 foi projetado para operar com baixíssima potência e conservar informações de relógio e dados com menos de 1  $\mu$ W.

O DS1302 tem a característica adicional de pinos duplos de alimentação para fontes de alimentação principal e de backup.

O DS1302 utiliza um cristal externo de 32,768 kHz. O circuito oscilador não exige qualquer resistor ou capacitor externo para operar. Se utilizar um cristal com as características especificadas, o tempo de inicialização é normalmente inferior a um segundo.

O circuito montado é apresentado na Figura 11.

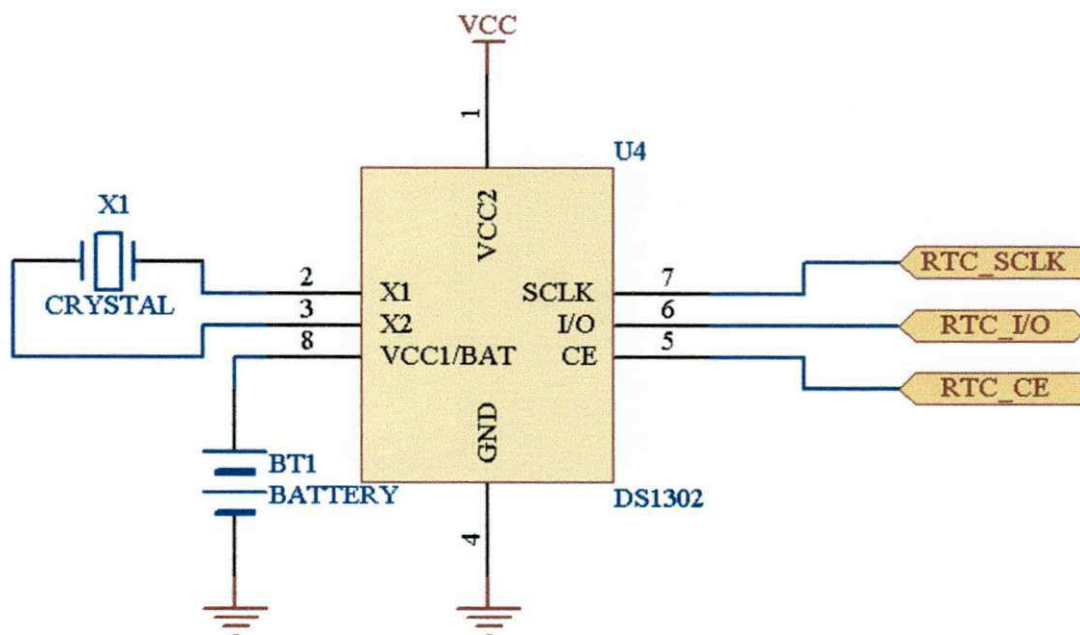


Figura 11: Circuito do relógio de tempo real

#### 3.1.1.1.2.4 Comunicação Serial RS232

Este bloco foi acrescentado ao circuito para permitir a comunicação entre os módulos e um computador para eventuais leituras e verificação de funcionamento.

É baseado no chip MAX232 (U2) que converte os sinais de comunicação serial com nível TTL para sinais de comunicação no padrão RS232. A grande vantagem deste chip é que ele opera com uma fonte simples de 5 V, sendo os níveis RS232 (+/-10 V) obtidos pelo próprio circuito através de chaveamento dos capacitores C2, C3, C4 e C5. Esta vantagem e o baixo consumo o torna adequado a montagem de sistemas portáteis. O circuito é apresentado na Figura 12.



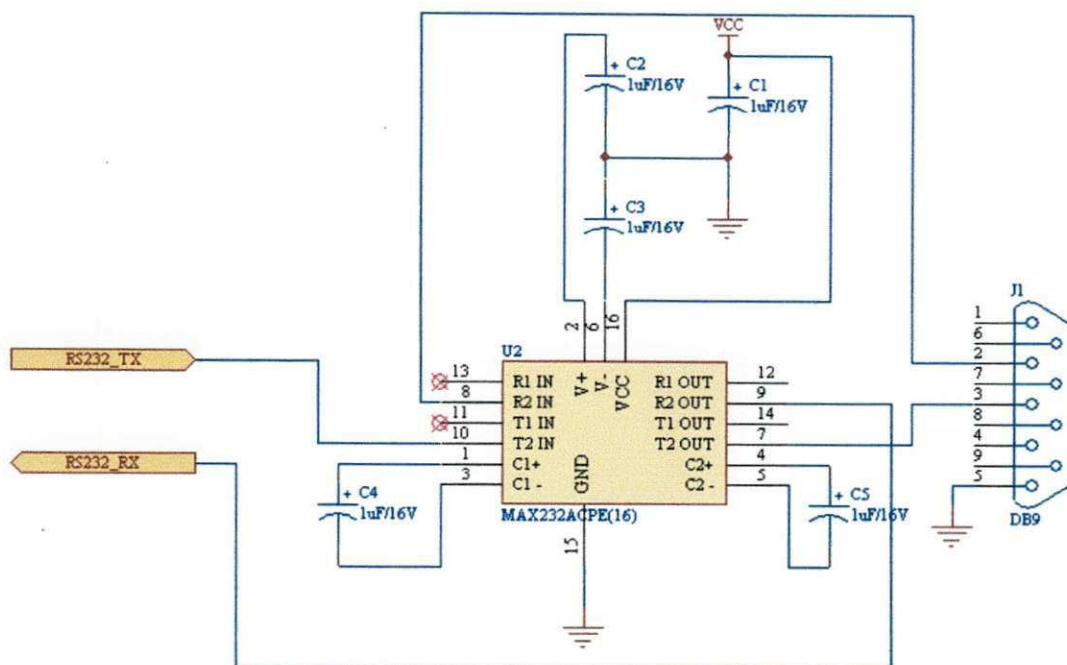


Figura 12: Circuito de Comunicação Serial RS232

Os sinais que serão transmitidos pelo módulo são aplicados no pino 10 de U2 (entrada RS232\_TX). Os sinais aplicados são TTL, onde o nível 0 é representado por uma tensão de 0 V e o nível 1, por 5 V. No sinal RS232, o nível 0 é representado por uma tensão positiva que varia de +3 V a +12 V e o nível 1 por uma tensão negativa de -3 V a -12V. Para realizar esta conversão, o MAX232 realiza o chaveamento entre os capacitores C2, C3, C4 e C5 de modo que ele dobra a tensão positiva de alimentação e ainda gera a tensão negativa necessária para o sinal RS232, desta forma, a tensão sobre C2 é 10V e, sobre C3, -10 V. São estas tensões que serão usadas no sinal RS232 a ser transmitido. O sinal após ser convertido é aplicado ao pino 3 de J1, que é um conector DB9.

Os sinais recebidos através do pino 2 de J1, são convertidos por U2 para o nível TTL e entregues ao módulo na saída RS232\_RX, pino 9 de U2.

### 3.1.1.1.2.5 Memória FLASH

A memória FLASH 24LC512 é uma memória apenas de leitura programável e apagável eletricamente (EEPROM), serial, de 64 K x 8 (512 kbit), capaz de funcionar em uma grande faixa de tensão (1.8 V até 5.5 V).



Foi desenvolvida para aplicações de baixa potência, tais como comunicações pessoais e de aquisição de dados. Este dispositivo também tem capacidade de escrever uma página de 128 bytes de dados. Pode fazer leituras tanto aleatórias como seqüenciais até o limite de 512 Kbits.

As linhas de endereçamento A0, A1 e A2 permitem a conexão de até oito dispositivos no mesmo barramento, para até 512 kBytes de espaço de memória.

Sua comunicação é serial e segue o padrão I<sup>2</sup>C.

O esquema de ligação da memória FLASH é apresentado na Figura 13.

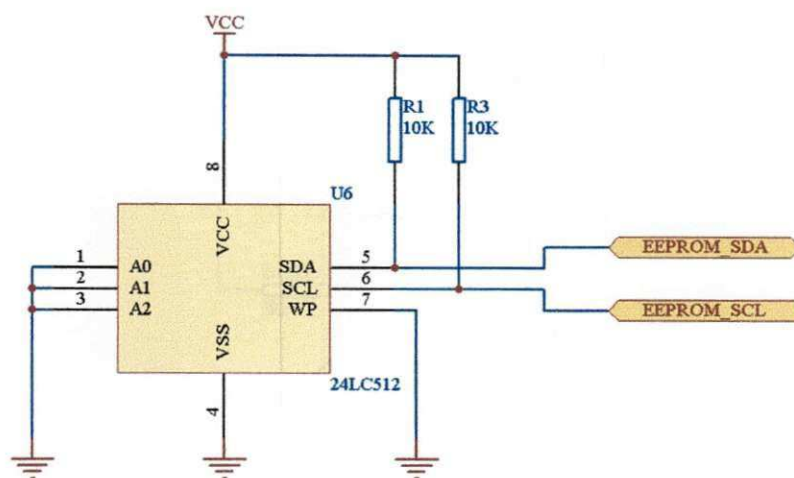


Figura 13:Esquema de ligação da memória FLASH

### 3.1.1.1.3 Transmissor RF

O Transmissor RF é responsável por modular em tom a informação a ser transmitida, enviar um sinal de canal ocupado e modular e transmitir a informação em FM. Os blocos funcionais são apresentados na Figura 14.

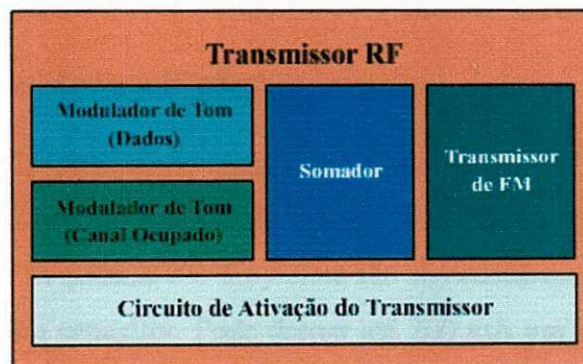


Figura 14: Transmissor RF

O transmissor é ligado apenas no momento de transmitir, para manter o canal desocupado.

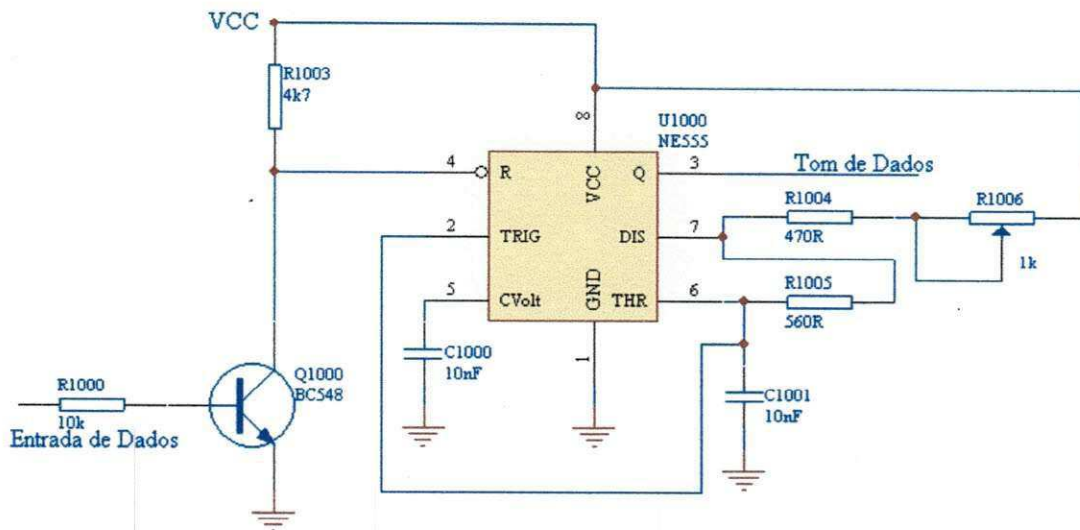


Figura 16: Modulador em tom para dados

Na configuração astável, R1006, R1004, R1005 e C1001 determinam a frequência de oscilação do LM555 (U1000). Como R1006 é ajustável, a faixa de frequência de operação pode ser determinada por:

$$\frac{1,44}{(R1006_{Max} + R1004 + 2 \times R1005) \times C1001} \leq f \leq \frac{1,44}{(R1006_{Min} + R1004 + 2 \times R1005) \times C1001}$$

$$\frac{1,44}{(1000 + 470 + 2 \times 560) \times 10n} \leq f \leq \frac{1,44}{(0 + 470 + 2 \times 560) \times 10n}$$

$$55,6kHz \leq f \leq 90,6kHz$$

R1006 é então ajustado para uma frequência de 70 kHz.

O circuito oscilará nesta frequência enquanto o pino 4 (RESET) do LM555 estiver em nível alto.

O sinal digital a ser modulado é então aplicado no resistor R1000. Quando o nível do sinal for 0 V, Q1000 corta, e mantém nível alto no pino 4 do LM555. Este por sua vez oscila na frequência ajustada. Quando aplicamos nível alto (5 V) em R1000, Q1000 satura e mantém nível baixo no pino 4 do LM555. Isto coloca o LM555 na condição de RESET e ele deixa de oscilar. Desta forma, quando a informação for “0”, haverá 70 kHz, quando for “1”, não haverá 70 kHz.

C1000 é um capacitor de compensação.

### 3.1.1.1.3.3 Modulador de Tom (Canal Ocupado)

Da mesma forma como no circuito anterior o Modulador de Tom indica que o canal está ocupado e funciona como um oscilador astável. Note que, se houver alimentação no pino 8 do LM555, haverá nível alto no pino 4 e o LM555 oscilará livremente. Como visto anteriormente, só existe tensão em  $V_{CC}$  se o Transmissor RF estiver ativo, ou seja, uma vez ativado o Transmissor RF, haverá o sinal de Canal Ocupado.

O esquema elétrico do Modulador de Tom (Canal Ocupado) é mostrado na Figura 17.

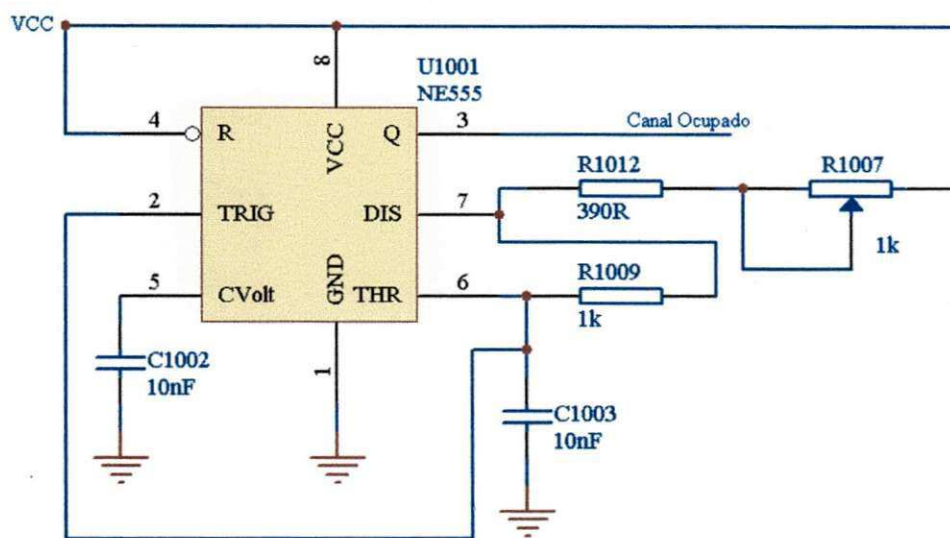


Figura 17: Modulador de Tom (Canal Ocupado)

Como no circuito anterior, a frequência de oscilação estará na faixa:

$$\frac{1,44}{(R1007Max + R1012 + 2 \times R1009) \times C1003} \leq f \leq \frac{1,44}{(R1007Min + R1012 + 2 \times R1009) \times C1003}$$

$$\frac{1,44}{(1000 + 390 + 2 \times 1000) \times 10n} \leq f \leq \frac{1,44}{(0 + 390 + 2 \times 1000) \times 10n}$$

$$42,5kHz \leq f \leq 60,2kHz$$

Esta frequência é então ajustada através de R1007 para 50 kHz, que corresponde ao tom de Canal Ocupado.

C1002 é um capacitor de compensação.

#### 3.1.1.1.3.4 Somador

O esquema mostrado na Figura 18 é um circuito somador resistivo que tem a função de somar os sinais provenientes dos moduladores de tom, os sinais de dados e de canal ocupado. O potenciômetro R1013 permite um ajuste da intensidade do sinal que irá para o transmissor de FM.

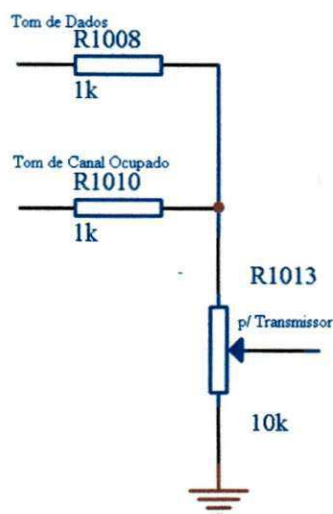


Figura 18: Somador

#### 3.1.1.1.3.5 Transmissor de FM

O transmissor de FM é apresentado na Figura 19. Esta é a configuração mais comumente encontrada para transmissores de FM. Este circuito oscila na frequência determinada pelo circuito tanque C1009 e L1000, e já faz a modulação em FM do sinal aplicado em C1006 (proveniente do somador). A faixa de frequência é a de FM comercial (88 MHz a 108 MHz) para facilitar os testes, porém, para uso contínuo, esta faixa deve ser mudada para 315 MHz ou outra que seja permitido o uso livre. A frequência de operação é ajustada em C1009.



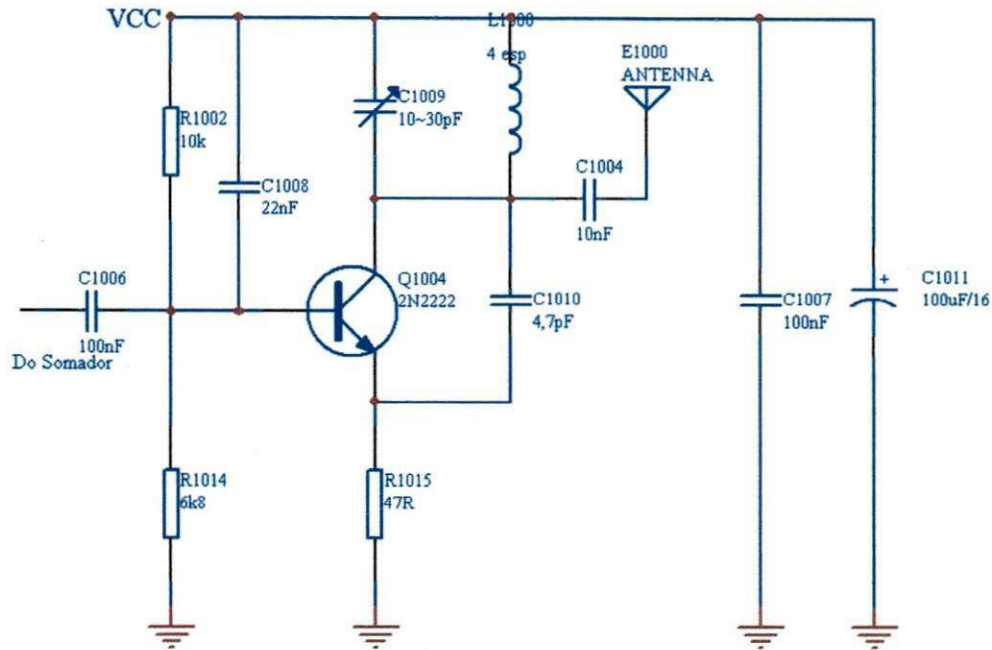


Figura 19: Transmissor de FM

A bobina L1000 é feita com 4 espiras com 1 cm de diâmetro de fio esmaltado n° 22 AWG com núcleo de ar.

### 3.1.1.1.4 Receptor RF

O Receptor RF é responsável pela sintonia, detecção e amplificação do sinal de comunicação em rádio frequência, bem como a detecção dos tons de dados e canal ocupado, para que possa ser feita a leitura de sinais transmitidos. É exibido na Figura 20.

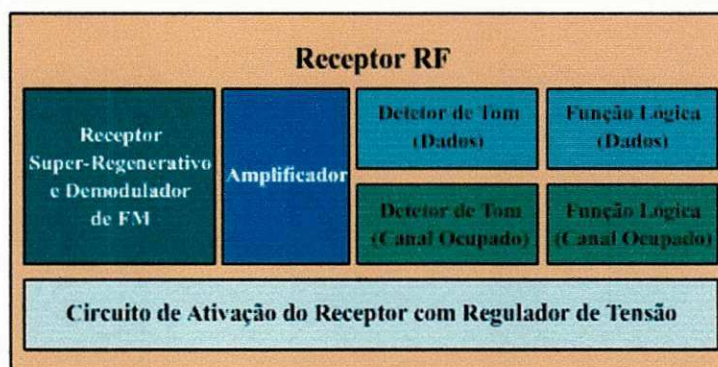


Figura 20: Receptor RF



#### 3.1.1.1.4.1 Circuito de Ativação do Receptor com Regulador de Tensão

O Circuito de Ativação do Receptor com Regulador de Tensão (Figura 21) funciona de forma semelhante ao Circuito de Ativação do Transmissor. A diferença está no diodo D1000, que é um diodo zener de 6,2 V que faz a regulação da tensão na base de Q1002, fazendo com que este circuito, ao estar ativo, funcione como um regulador de tensão série, e baixe a tensão da fonte de alimentação para algo em torno dos 5 V, para alimentar o circuito do Receptor RF.

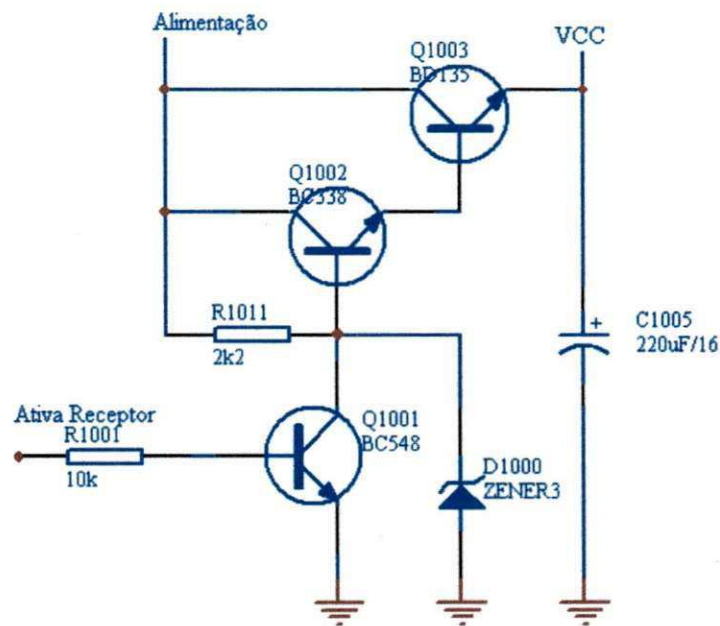


Figura 21: Circuito de ativação do receptor RF com regulador de tensão

#### 3.1.1.1.4.2 Receptor Super-Regenerativo e Demodulador FM

O Receptor Super-Regenerativo e o Demodulador FM têm como função a detecção dos sinais provenientes do transmissor.

Este receptor super-regenerativo (Figura 22) tem uma sensibilidade elevada, e uma regeneração ajustável por meio de R2012. Como todos os receptores do tipo super-regenerativo, ele recebe emissões moduladas em FM ou AM. Q2000 é empregado de forma tradicional como amplificador e detector com efeito super-regenerativo: As ondas de radio são captadas pela antena e pelo circuito sintonizado C2003 e L2000, amplificados por Q2000 mas não passam por L2001 e são reenviados por C2004 para o circuito sintonizado (fenômeno de super-regeneração). Os sinais de baixa frequência (tons) passam já detectados pelo choque L2001 e depois de filtrados por C2006, R2002 e C2007 são entregues para o amplificador.

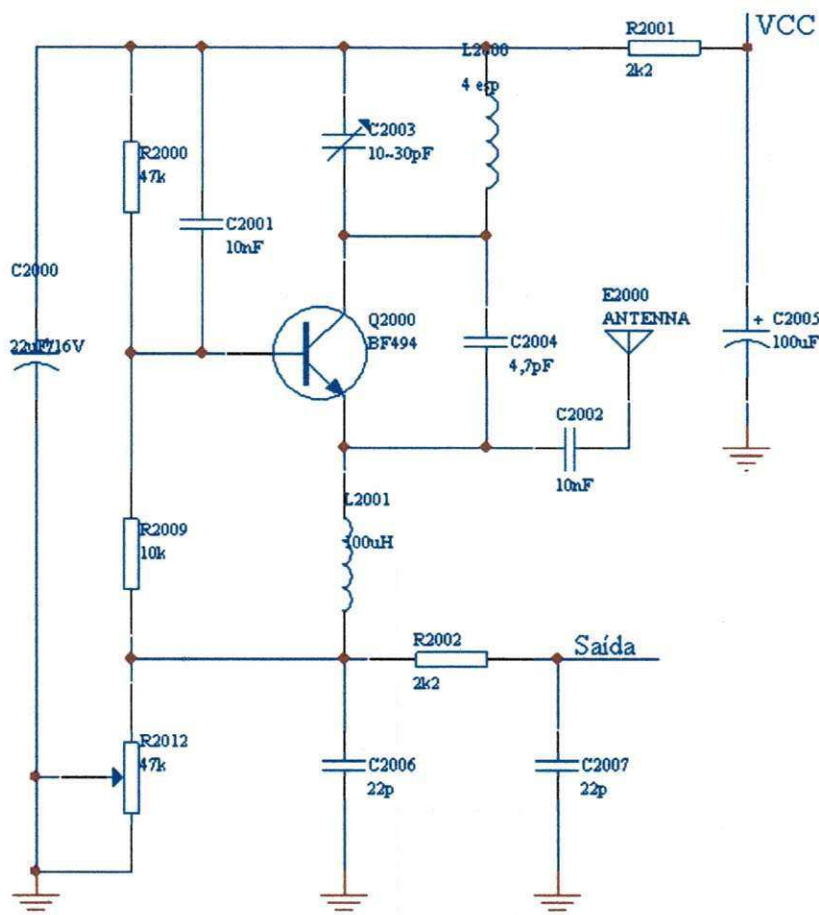


Figura 22: Receptor Super-Regenerativo e Demodulador FM

### 3.1.1.1.4.3 Amplificador

É um circuito amplificador transistorizado, na configuração emissor comum. Tem como função amplificar o sinal demodulado que traz os tons de dados e canal ocupado para fornecer aos circuitos detectores de tons em amplitude suficiente. Seu esquema é mostrado na Figura 23.

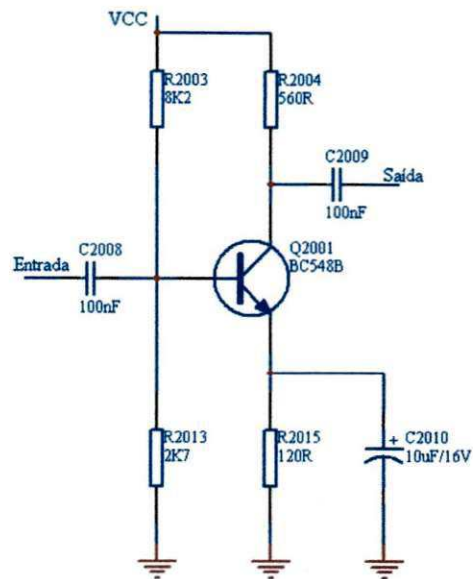


Figura 23: Amplificador

#### 3.1.1.1.4.4 Detector de Tom (Canal Ocupado)

O Detector de Tom (Canal Ocupado) é um decodificador de tom baseado no circuito integrado LM567 e tem a função de detectar a presença do sinal de 50 kHz (canal ocupado) enviado pelo Transmissor RF. O circuito é apresentado na Figura 24.

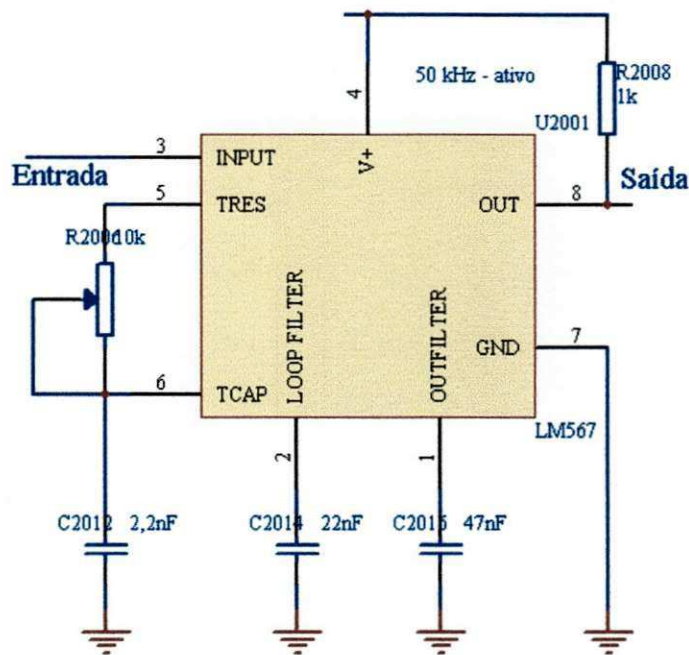


Figura 24: Detector de tom de canal ocupado

O LM567 é um decodificador de tom de uso geral concebido para proporcionar um transistor saturado para terra, quando um sinal de entrada está presente na faixa da banda passante. O circuito é composto por um detector I/Q e alimentado por um oscilador controlado por tensão que determina a frequência central do decodificador. Componentes externos são usados para definir independentemente a frequência central, largura de banda e o atraso de saída.

O circuito funciona da seguinte forma: Sempre que houver um sinal na entrada (pino 3 de U2001, LM567), a saída será aterrada, nível lógico "0". Quando não houver este sinal de 50 kHz, a saída volta a nível alto, "1".

R2006 e C2012 determinam a frequência central de operação e é determinada pela equação:

$$f_o = \frac{1}{1.1 \times R2006 \times C2012}$$

Então, para 50kHz, R2006 deve ser ajustado para:

$$R2006 = \frac{1}{1.1 \times f_o \times C2012}$$

$$R2006 = \frac{1}{1.1 \times 50k \times 2n2}$$

$$R2006 = 8,264k\Omega$$

A banda passante é dada pela equação:

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_o \times C2014}} \text{ em \% de } f_o$$

Onde:

C2014 é dado em  $\mu F$ ,

$V_i \leq 200mV$ .

Para  $V_i = 100mV_{RMS}$ , temos:

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{100m}{50k \times 0,022}}$$

$$BW = 10,2 \% \text{ de } f_o$$

$$BW = 5,1kHz$$

Note que se o nível do sinal de entrada cair, a banda passante diminui.

### 3.1.1.1.4.5 Detetor de Tom (Dados)

Semelhante ao circuito anterior, o detetor de tom para dados apresentará um nível “0” em sua saída, sempre que o sinal de 70 kHz estiver presente em sua entrada. O circuito é mostrado na Figura 25.

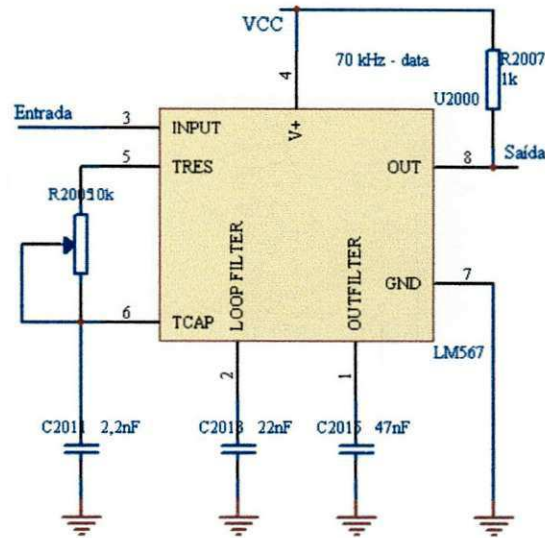


Figura 25: Detetor do tom de dados

R2005 e C2011 determinam a frequência central de operação que é dada pela equação:

$$f_o = \frac{1}{1.1 \times R2005 \times C2011}$$

Então, para 70kHz, R2005 deve ser ajustado para:

$$R2005 = \frac{1}{1.1 \times f_o \times C2011}$$

$$R2005 = \frac{1}{1.1 \times 70k \times 2n2}$$

$$R2005 = 5,9k\Omega$$

A banda passante é dada pela equação:

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{Vi}{fo \times C2013}} \text{ em \% de } f_o$$

Onde:

C2013 é dado em  $\mu\text{F}$ ,

$Vi \leq 200\text{mV}$ .



Para  $V_i = 100 \text{ mV}_{\text{RMS}}$ , temos:

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{100m}{70k \times 0,022}}$$

$$BW = 8,66 \% \text{ de } f_o$$

$$BW = 6,06 \text{ kHz}$$

### 3.1.1.1.4.6 Função Lógica (Canal Ocupado)

É uma porta OU construída com diodos como mostrado na Figura 26.



Figura 26: Função lógica que determina a presença de dados no receptor

Tem como função avisar ao microcontrolador quando deve ler dados do Receptor RF. (Tabela 7)

Tabela 7: Tabela verdade da função lógica que determina a presença de dados no receptor

Ativa Receptor	Canal Ocupado	Saída	Situação
0	0	0	Receptor está ativo e existe sinal no canal. Deve haver leitura.
0	1	1	Receptor ativo mas não existe sinal no canal. Não deve haver leitura.
1	X	1	Receptor inativo. Não deve haver leitura.

### 3.1.1.1.4.7 Função Lógica (Dados)

Como no circuito anterior, também é uma porta OU construída com diodos como mostrado na Figura 27.

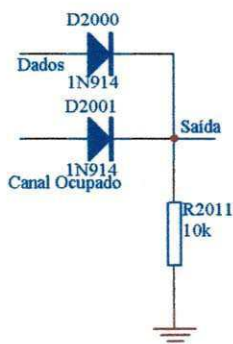


Figura 27: Função lógica que apresenta os dados do receptor

Apresenta os dados para serem lido pelo microcontrolador. Sua tabela verdade é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8: Tabela verdade da função lógica que apresenta os dados a serem lidos

Canal Ocupado	Dados	Saída	Situação
0	0	0	Canal ocupado e dado igual a "0".
0	1	1	Canal ocupado e dado igual a "1".
1	X	1	Canal desocupado. Não deve haver leitura.

### 3.1.1.2 Módulo de Comunicação

É o módulo responsável pela comunicação entre o PC e o módulo de comando. Sua função é basicamente receber ou enviar os dados do ou para o PC através da porta serial e enviá-los para ou recebê-los do Módulo Concentrador através da comunicação via RF.

Os blocos que compõem o módulo de comunicação são apresentados na Figura 28. Este módulo tem o hardware idêntico ao módulo concentrador, sendo alterada apenas a sua programação.

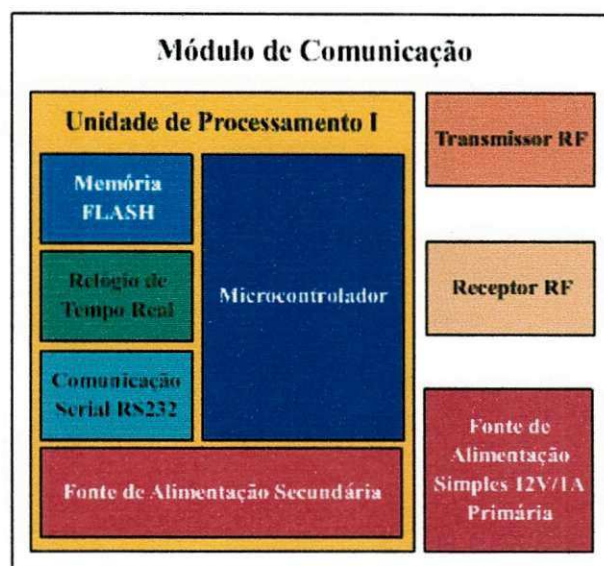


Figura 28: Módulo de Comunicação

### 3.1.1.3 Módulo Acionador

O Módulo Acionador recebe as instruções de acionamento vindas do Módulo Concentrador e ativa os respectivos circuitos elétricos que controlam as condições ambientais do galpão.

A diferença entre o hardware do Módulo Acionador e o do Módulo Concentrador é a presença da Placa de Acionamento e as Portas de Entrada e Saída do Microcontrolador. A Figura 34 mostra a representação do Módulo Acionador.

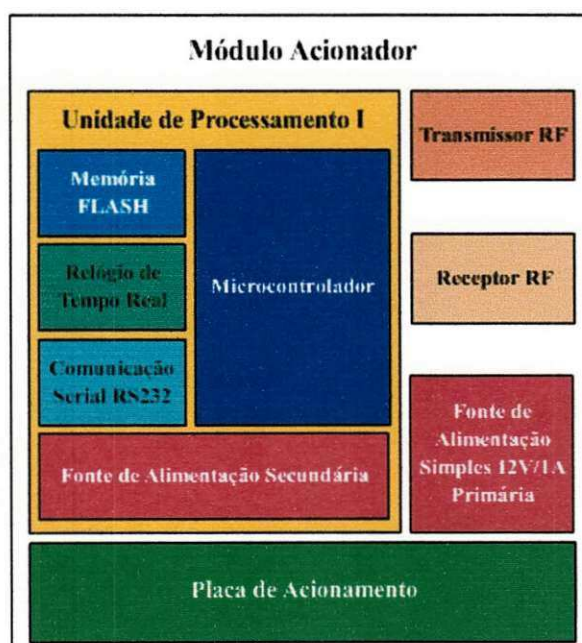


Figura 29: Módulo Acionador



### 3.1.1.3.1 Placa de Acionamento

A placa de acionamento faz a interface entre o módulo acionador e os circuitos elétricos que modificam as condições ambientais do galpão: ventiladores, nebulizadores, iluminação, etc. Na Figura 30 são apresentados os blocos da Placa de Acionamento.



Figura 30: Placa de Acionamento

Os sinais de controle vindos do módulo acionador entram na placa de acionamento através dos Conectores para Sinais de Controle e são aplicados aos respectivos Circuitos de Acionamento a Relé. Os relés têm seus terminais conectados a Barra de Terminais de Saída, onde as conexões elétricas com o quadro de comando do galpão são feitas facilmente.

Esta placa pode ser alimentada pela Unidade de Processamento I, com 5 V ou 12 V, escolhida no jumper da Unidade de Processamento I, ou por uma fonte externa de até 30 V, através do Conector de Alimentação. Esta escolha depende da tensão de acionamento do relé. Nesta montagem os relés são de 12 V e é usada a alimentação proveniente da Fonte de Alimentação Simples 12 V/1 A Primária.

#### 3.1.1.3.1.1 O Circuito de Acionamento a Relé

O Módulo Acionador liga e desliga os equipamentos que estão sendo controlados através de relés existentes na Placa de Acionamento. A Placa de Acionamento possui 16 circuitos de acionamento com saída a Relé. A saída a relé foi escolhida devido à praticidade, pois permite o acionamento de cargas DC e AC com muita facilidade. Contactores com bobinas de até 220 V podem ser acionados com muita simplicidade para cargas grandes e indutivas como motores. Todas as saídas possuem relés com contatos reversíveis que permitem a montagem de sistemas de intertravamento e proteção. Cargas resistivas de 220 V com até 7 A podem ser acionadas diretamente.

Um dos circuitos de acionamento é mostrado na Figura 31. Inicialmente o transistor Q301 está cortado, o relé K301, desativado e os contatos comum (C, 3) e normalmente fechado (NC, 4) estão ligados, e o contato normalmente aberto (NO, 5) está desligado. O sinal de controle é injetado na base do transistor Q301 através do resistor R317. Quando em nível alto (+5 V), o sinal de controle satura Q301, fazendo circular corrente pela bobina do relé K301, que liga o contato C ao NO (3-5). Quando o sinal de controle retornar para 0 V, Q301 irá cortar, cortando a corrente de K301, que por sua vez desliga os terminais 3-5 (C-NO) e volta a ligar os terminais 3-4 (C-NC).

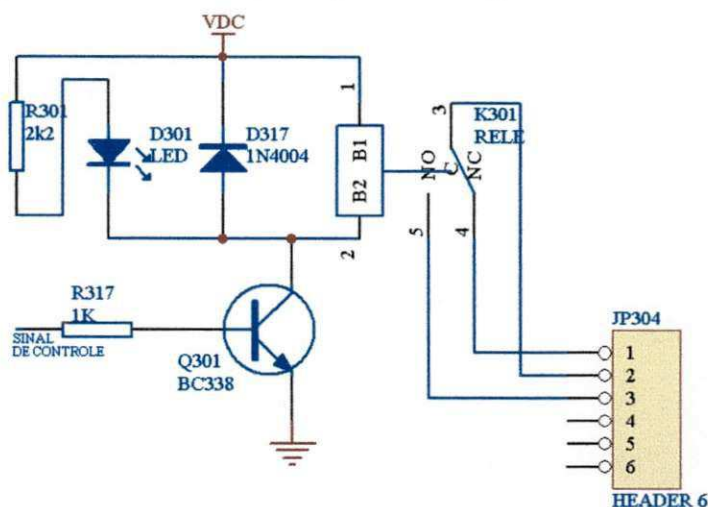


Figura 31: Circuito de acionamento com saída a relé

O diodo D317 funciona como um diodo de circulação livre e evita que potenciais altos, gerados pelo chaveamento da bobina do relé K301, venham a danificar o circuito de acionamento.

O LED D301 é um indicador de estado e acende quando o relé está acionado e apaga quando o relé estiver desligado. R301 é o resistor limitador de corrente para D301.

JP304 é a barra de terminais onde são feitas as conexões com o circuito que será controlado.

#### 3.1.1.4 Módulo Sensor Básico

O Módulo Sensor Básico é um Módulo Concentrador onde foi acrescentado o Sensor de Temperatura e Umidade Relativa. Devido a este acréscimo na Unidade de Processamento I, esta passou a se chamar Unidade de Processamento II. Os blocos são apresentados na Figura 32.



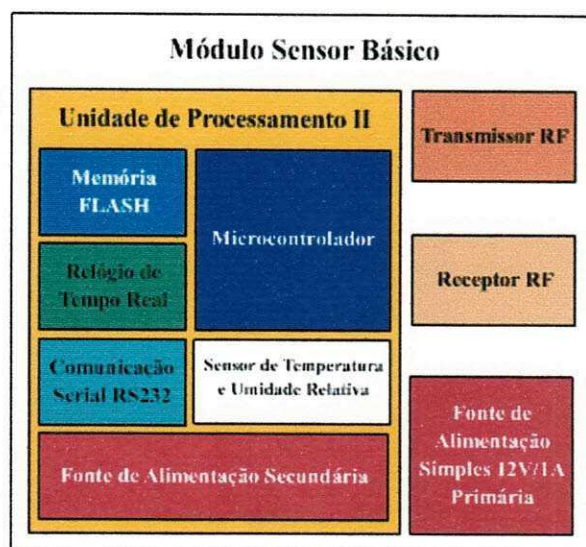


Figura 32: Módulo Sensor Básico

### 3.1.1.4.1.1 O Sensor de Temperatura e Umidade Relativa SHT11

O SHT11 é um módulo sensor de temperatura e umidade relativa com saída digital calibrada. Seu diagrama interno é mostrado na Figura 33.

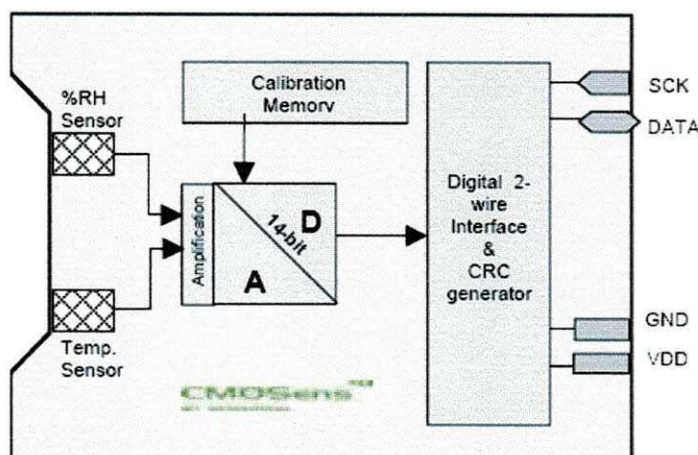


Figura 33: Diagrama interno do SHT11

O dispositivo inclui um elemento sensor capacitivo com polímero para umidade relativa e o sensor de temperatura. Ambos são conectados a um conversor analógico/digital de 14 bits e ao circuito de interface serial no mesmo chip. Isso resulta em sinal de qualidade superior, um tempo de resposta rápido e insensibilidade a perturbações externas (CEM).

Cada SHT11 é calibrado individualmente em uma câmara de umidade de precisão. Os coeficientes de calibração estão programados na sua memória OTP. Esses

coeficientes são usados internamente durante as medições para calibrar os sinais dos sensores.

A interface serial de 2 fios e o regulador de tensão interno permitem fácil e rápida integração de sistemas.

O circuito do sensor de temperatura e umidade relativa é apresentado na Figura 34.

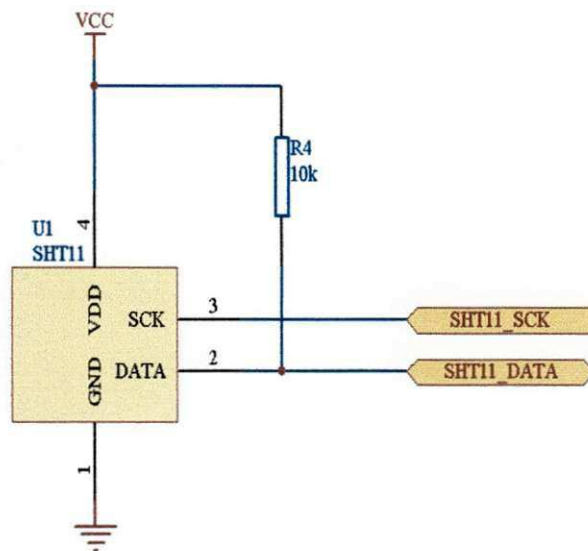


Figura 34: Circuito do sensor de temperatura e umidade relativa

Uma vez alimentado, basta o microcontrolador fazer uma consulta que o SHT11 (U1) responde com os dados de temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho.

### 3.1.1.5 Módulo Sensor Completo

O Módulo Sensor Completo é um Módulo Sensor Básico onde foi acrescentada uma Placa de Sensores Analógicos. Para esta placa funcionar faz-se necessário uma Fonte de Alimentação Simétrica +/-12 V/1 A Primária que substitui a fonte primária do módulo sensor básico.

O Módulo Sensor Completo pode ser visto na Figura 35.

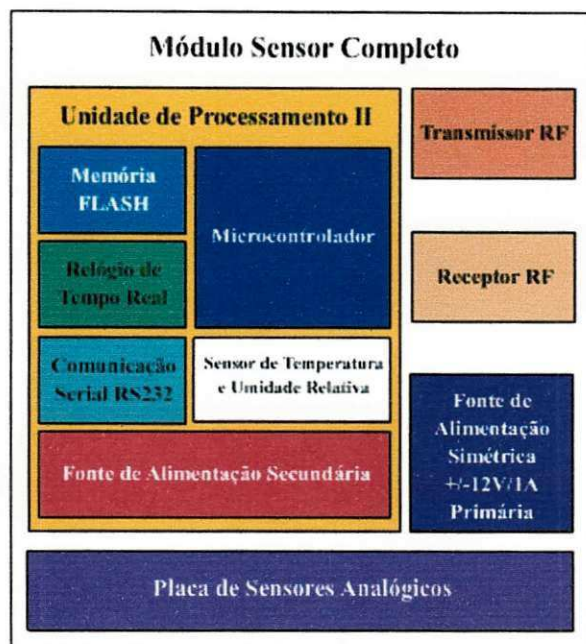


Figura 35: Módulo Sensor Completo

### 3.1.1.5.1 Fonte de Alimentação Simétrica +/-12 V/1 A Primária

A fonte de alimentação simétrica é utilizada como fonte principal para a placa de sensores analógicos. É baseada nos reguladores de tensão de três terminais das séries LM78XX e LM79XX.

A série LM79XX de reguladores de três terminais está disponível com tensão de saída fixa de -5 V, -12 V e -15 V. Estes dispositivos só precisam de um componente externo, um capacitor de compensação na saída. A série LM79XX é capaz de fornecer 1,5 A de corrente de saída.

A série LM79XX possui limitação interna de corrente, desligamento térmico e proteção de área de operação segura, para proteção contra praticamente todas as condições de sobrecarga.

O circuito da fonte simétrica é mostrado na Figura 36.



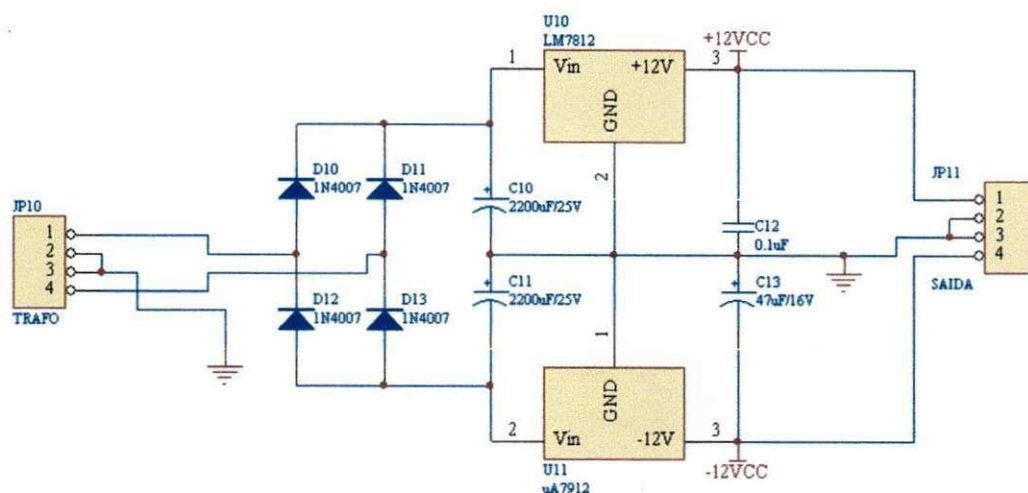


Figura 36: Circuito da fonte de alimentação simétrica +/-12 V/1 A

Em JP10 é ligado um transformador center-tapped de 12+12 V.

D10 e D11 formam um retificador de onda completa center-tapped positivo, cujo capacitor de filtro é C10. A tensão sobre C10 fica em torno de +16 V. Esta tensão é aplicada a entrada do regulador de tensão LM7812, pino 1 de U10. Na saída de U10 (pino 3) tem-se +12 V regulados. O capacitor C12 melhora o desempenho de U10.

Analogamente, D12 e D13 formam o retificador de onda completa center-tapped negativo, tendo C11 como capacitor de filtro. A tensão sobre C11 fica em torno de -16 V. Esta tensão é aplicada à entrada do regulador de tensão LM7912, pino 2 de U11. Na saída de U11 (pino 3) tem-se -12 V regulados. O capacitor C13 é o capacitor de compensação de U11 e evita oscilações na sua saída.

JP11 é o conector de saída desta fonte de alimentação.

### 3.1.1.5.2 Placa de Sensores Analógicos

A Placa de Sensores Analógicos é composta pelos blocos apresentados na Figura 37.

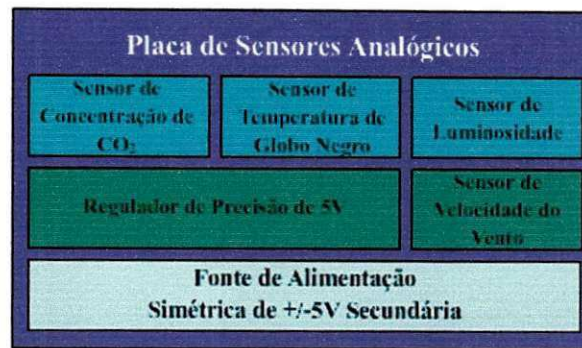


Figura 37: Placa de Sensores Analógicos

Os sensores são todos analógicos e seus sinais serão convertidos para digital pelo microcontrolador do Módulo Sensor Completo. Para haver esta conversão, os sinais dos sensores devem sofrer um processamento ainda analógico, por exemplo, amplificação, soma, subtração, etc. Este processamento é feito por amplificadores operacionais. Estes amplificadores operacionais são alimentados pela Fonte de Alimentação Simétrica  $\pm 5$  V Secundária presente nesta placa. Para gerar uma tensão de alimentação de referência para os sensores, foi construído um Regulador de Precisão de 5 V.

Os sensores que compõem esta placa são:

- Sensor de Concentração de  $\text{CO}_2$ ;
- Sensor de Luminosidade;
- Sensor de Temperatura de Globo Negro;
- Sensor de Velocidade do Vento.

#### 3.1.1.5.2.1 Fonte de Alimentação Simétrica $\pm 5$ V Secundária

Como na Fonte de Alimentação Simétrica de  $\pm 12$  V Primária, esta fonte se baseia nos reguladores de tensão integrados LM7805 e LM7905. Seu esquema elétrico está mostrado na Figura 38.



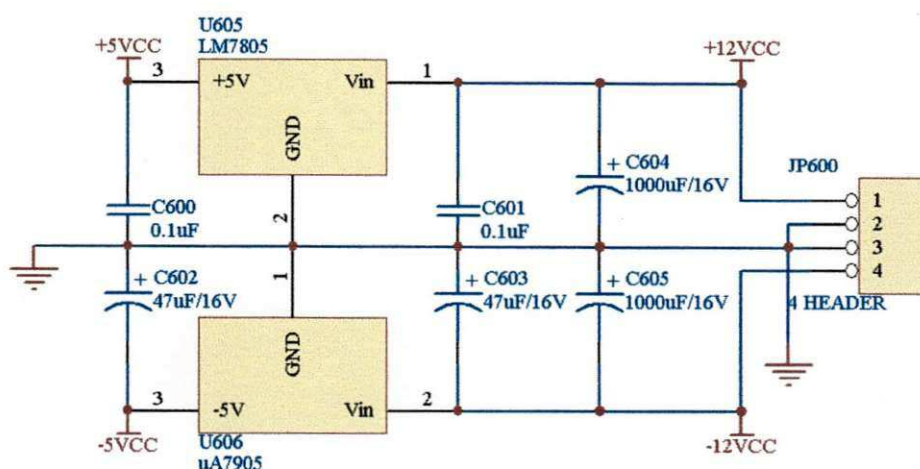


Figura 38: Esquema elétrico da Fonte de Alimentação Simétrica +/-5 V Secundária

O conector JP600 é ligado a Fonte de Alimentação Simétrica +/-12 V Primária do Módulo Sensor Completo. Esta tensão é então reduzida para +/-5 V pelos CI's U605 (LM7805) e U606 (LM7905). Os capacitores C604 e C605 são filtros. C601 e C600 são capacitores de compensação para o regulador positivo e C603 e C602 exercem a mesma função para o regulador negativo.

A tensão de +12 V e -12 V são utilizadas nesta placa para alimentar também a resistência de aquecimento do anemômetro e o regulador de precisão.

### 3.1.1.5.2.2 Regulador de Precisão

O Regulador de Precisão existe para manter uma tensão de grande estabilidade para alimentar os sensores ou suas referências. É construído a partir de um circuito básico descrito no manual do fabricante do LM723. Ele pode fornecer correntes de até 150 mA, mais que suficiente para a aplicação. O esquema do Regulador de Precisão é mostrado na Figura 39.

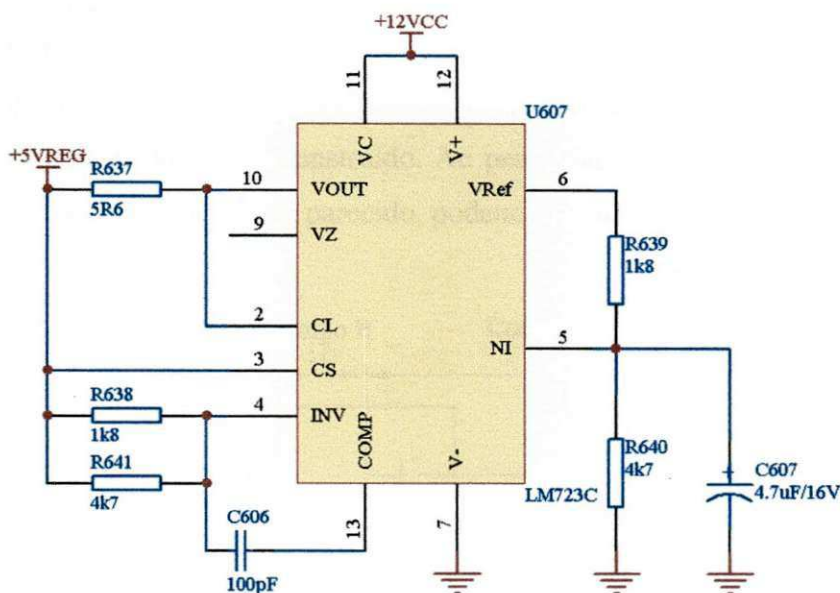


Figura 39: Regulador de Precisão

Este circuito é alimentado pela fonte de +12 VCC. O divisor resistivo R639 e R640 é quem determina a tensão de saída do circuito (pino 10). C607 foi colocado para diminuir o ruído do divisor resistivo.

O resistor R637 é o limitador de corrente de saída, para proteger o circuito contra eventuais sobrecargas ou curto-circuitos.

O capacitor C606 é um capacitor de compensação indicado pelo manual e os resistores R638 e R641 da entrada inversora (pino 4) compensa o divisor resistivo ligado à entrada não-inversora (pino 5) para minimizar a deriva térmica do componente.

A equação para determinação da tensão de saída é dada por:

$$V_{out} = V_{REF} \times \left( \frac{R640}{R639 + R640} \right)$$

Substituindo os valores,

$$V_{out} = 7V \times \left( \frac{4k7}{1k8 + 4k7} \right) = 5,06V$$

A equação para o limite de corrente de saída é dada por:

$$I_{Limite} = \frac{V_{sense}}{R637}$$

Para o caso,

$$I_{Limite} = \frac{0,6V}{5,6} = 107mA .$$

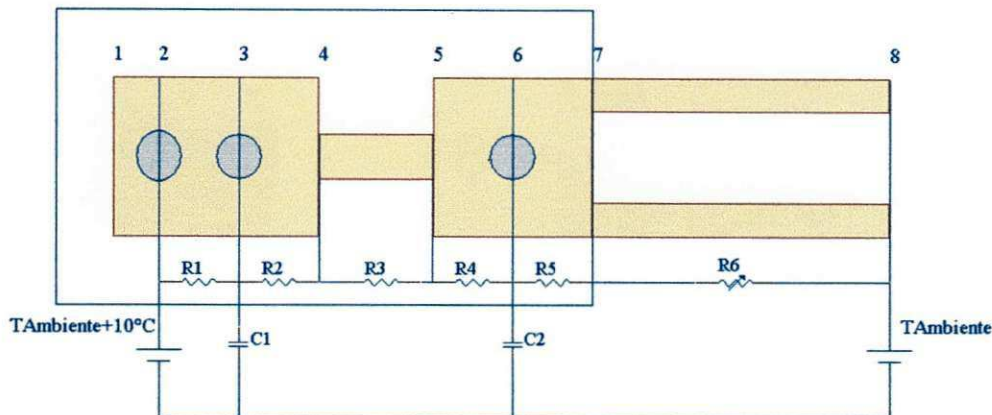


Figura 41: Equivalência de circuito elétrico com circuito térmico

As capacitâncias concentradas em C1 e C2 correspondem à capacidade térmica da massa de cobre do ponto 1 ao 5 e do ponto 5 ao 8 respectivamente. São calculadas da seguinte forma:

Volume entre os pontos 1 e 5:

$$V_{1-4} = V_1 - V_2 - V_3 = \frac{\pi \times D_1^2}{4} \times L_1 - \frac{\pi \times D_2^2}{4} \times L_2 - \frac{\pi \times D_3^2}{4} \times L_3$$

$$V_{1-4} = \frac{\pi \times 0,94^2}{4} \times 1,3 - \frac{\pi \times 0,35^2}{4} \times 0,94 - \frac{\pi \times 0,25^2}{4} \times 0,94$$

$$V_{1-4} = 0,7657 \text{ cm}^3$$

Onde: V1 Volume de cobre do ponto 1 ao 4;

V2 Volume do orifício do ponto 2;

V3 Volume do orifício do ponto 3.

$$V_{4-5} = \frac{\pi \times D_4^2}{4} \times L_{4-5}$$

$$V_{4-5} = \frac{\pi \times 0,17^2}{4} \times 1,0$$

$$V_{4-5} = 0,0227 \text{ cm}^3$$

Onde: V4-5 Volume de cobre do ponto 4-5..

A massa de cobre do ponto 1 ao 5 é:

$$m_{1-5} = (V_{1-4} + V_{4-5}) \times \text{Densidade}_{Cu}$$

$$m_{1-5} = (0,7657 + 0,0227) \times 8,96 \text{ g / cm}^3$$

$$m_{1-5} = 7,0641 \text{ g}$$

A capacidade térmica C1 será:

$$C_1 = m_{1-5} \times c_{Cu} = 7,0641g \times 0,385J / g^{\circ}C$$

$$C_1 = 2,7196J / ^{\circ}C$$

Volume entre os pontos 5 e 8:

$$V_{5-8} = V_5 - V_6 - V_7 = \frac{\pi \times D_5^2}{4} \times L_5 - \frac{\pi \times D_6^2}{4} \times L_6 - \frac{\pi \times D_7^2}{4} \times L_7$$

$$V_{5-8} = \frac{\pi \times 0,94^2}{4} \times 4,0 - \frac{\pi \times 0,25^2}{4} \times 0,94 - \frac{\pi \times 0,64^2}{4} \times 3,0$$

$$V_{5-8} = 1,7647 \text{ cm}^3$$

Onde: V5 Volume de cobre do ponto 5 ao 8;

V6 Volume do orifício do ponto 6;

V7 Volume do orifício do ponto 7 ao 8.

A massa de cobre do ponto 5 ao 8 é:

$$m_{5-8} = V_{5-8} \times \text{Densidade}_{Cu}$$

$$m_{5-8} = 1,7647 \times 8,96g / \text{cm}^3$$

$$m_{5-8} = 15,8117g$$

A capacidade térmica C2 será:

$$C_2 = m_{5-8} \times c_{Cu} = 15,8117g \times 0,385J / g^{\circ}C$$

$$C_2 = 6,0875J / ^{\circ}C$$

Como do ponto 1 ao 7 (ver figura 46) existe um isolamento térmico, ou seja, não há perda de calor por esta superfície, só vai existir fluxo de calor conduzido pelo cobre no sentido do ponto 1 ao 7, dessa forma, as resistências térmicas são calculadas da seguinte forma:

$$R_1 = \frac{L_{2-3}}{k \times A_2} = \frac{0,004 \text{ m}}{401 \text{ W / m}^\circ\text{C} \times \frac{\pi \times 0,0094^2}{4} \text{ m}^2} = 0,1437 \text{ }^\circ\text{C / W}$$

$$R_2 = \frac{L_{3-4}}{k \times A_3} = \frac{0,004 \text{ m}}{401 \text{ W / m}^\circ\text{C} \times \frac{\pi \times 0,0094^2}{4} \text{ m}^2} = 0,1437 \text{ }^\circ\text{C / W}$$

$$R_3 = \frac{L_{4-5}}{k \times A_4} = \frac{0,01 \text{ m}}{401 \text{ W / m}^\circ\text{C} \times \frac{\pi \times 0,0017^2}{4} \text{ m}^2} = 10,9867 \text{ }^\circ\text{C / W}$$

$$R_4 = \frac{L_{5-6}}{k \times A_5} = \frac{0,004 \text{ m}}{401 \text{ W / m}^\circ\text{C} \times \frac{\pi \times 0,0094^2}{4} \text{ m}^2} = 0,1437 \text{ }^\circ\text{C / W}$$

$$R_5 = \frac{L_{6-7}}{k \times A_6} = \frac{0,006 \text{ m}}{401 \text{ W / m}^\circ\text{C} \times \frac{\pi \times 0,0094^2}{4} \text{ m}^2} = 0,2155 \text{ }^\circ\text{C / W}$$

R6 corresponde a resistência térmica que estará em contato com o ar. A área de contato vai dissipar o calor proveniente da resistência de aquecimento do sensor através de transferência por convecção. Quanto mais intenso o fluxo de ar, maior será o fluxo de calor pela superfície; isto significa que a resistência térmica desta superfície diminui com o aumento do fluxo. Esta variação da resistência térmica pode ser vista na Figura 42, onde a velocidade do ar diminui significativamente o valor efetivo da resistência térmica (Cunha, 2001)

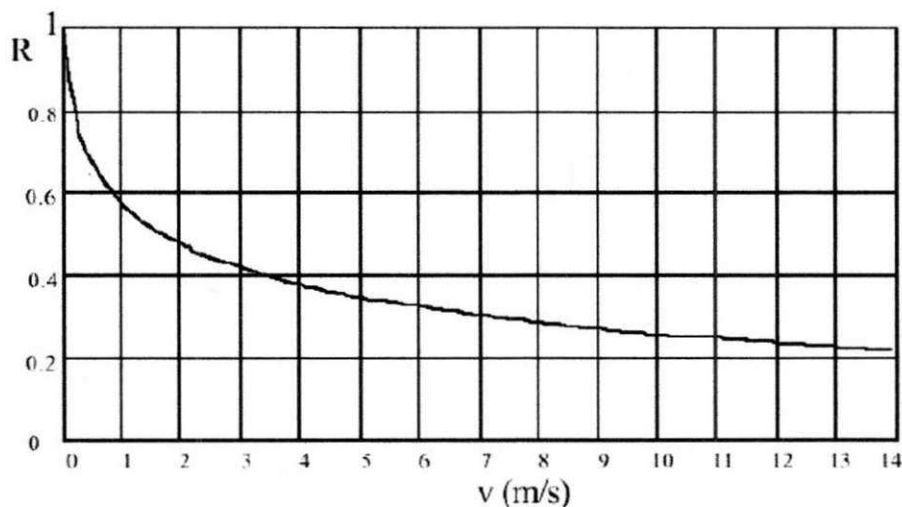


Figura 42: A resistência térmica efetiva diminui com o aumento do fluxo de ar



Para o cálculo da resistência térmica de convecção será considerada a convecção forçada, uma vez que o sensor estará exposto ao fluxo de ar. Outra consideração é que o ar é seco. Feitas estas considerações, tem-se que a resistência de convecção é dada por:

$$R_{convecção} = \frac{1}{\alpha \times A_S} [^{\circ}C/W]$$

Onde:  $R_{convecção}$  Resistência térmica de convecção

$A_S$  Área do sensor em contato com o ar;

$\alpha$  Coeficiente de convecção

Mas para determinar o valor do coeficiente de convecção, é necessário determinar o Número de Nusselt (Nu), que relaciona calor transmitido por convecção e por condução. Nu é dado pela equação, de onde se retira o  $\alpha$ .

$$Nu = \frac{\alpha \times d}{k} \Rightarrow \alpha = \frac{k}{d} \times Nu$$

Onde:

- k condutividade térmica. Para o ar seco, 0,026 W/m.K
- d Comprimento característico do processo (m)

Para encontrar o valor de Nu usa-se a seguinte fórmula, que é específica para quando o fluido é o ar.

$$Nu = C_2 \times Re^m$$

Onde:

- Re é o número de Reynolds
- $C_2$  e m são constantes dadas pela Tabela 9.

Tabela 9: Constantes usadas para o cálculo de Nu

Re	0,4 a 4	4 a 40	40 a 4 000	4 000 a 40 000	40 000 a 400 000
m	0,330	0,385	0,466	0,618	0,805
$C_1$	0,989	0,911	0,683	0,193	0,027
$C_2$	0,891	0,821	0,615	0,174	0,024

Porém, é necessário calcular o número de Reynolds, que é a relação entre forças de inércia e de viscosidade. Se as primeiras são predominantes, o escoamento é turbulento. O número de Reynolds é dado pela equação:

$$Re = \frac{c \times d}{\nu}$$

Onde:

- c velocidade de escoamento do fluido;
- d comprimento característico do processo;

- $\nu$  viscosidade cinemática do fluido.

De posse destas informações e dos dados do sensor, foi calculada a resistência térmica de convecção em função da velocidade do vento pela planilha mostrada na Tabela 10. As unidades referentes a cada variável estão na última linha da tabela.

Tabela 10: Cálculo da resistência de convecção para diversos valores de velocidades do ar

c	Re	C2	m	Nu	$\alpha$	Rconvec	d	0,03 [m]
0,5	937,5	0,615	0,466	14,9	12,9	87,3	$\nu$	1,60E-05 [m <sup>2</sup> /s]
1,0	1875,0	0,615	0,466	20,6	17,9	63,2	As	8,86E-04 [m <sup>2</sup> ]
1,5	2812,5	0,615	0,466	24,9	21,6	52,3	k	2,60E-02 [W/m.K]
2,0	3750,0	0,615	0,466	28,5	24,7	45,7		
2,5	4687,5	0,174	0,618	32,3	28,0	40,3		
3,0	5625,0	0,174	0,618	36,2	31,3	36,0		
3,5	6562,5	0,174	0,618	39,8	34,5	32,8		
4,0	7500,0	0,174	0,618	43,2	37,4	30,2		
4,5	8437,5	0,174	0,618	46,4	40,3	28,0		
5,0	9375,0	0,174	0,618	49,6	43,0	26,3		
5,5	10312,5	0,174	0,618	52,6	45,6	24,8		
6,0	11250,0	0,174	0,618	55,5	48,1	23,5		
6,5	12187,5	0,174	0,618	58,3	50,5	22,3		
7,0	13125,0	0,174	0,618	61,0	52,9	21,3		
7,5	14062,5	0,174	0,618	63,7	55,2	20,5		
8,0	15000,0	0,174	0,618	66,3	57,4	19,7		
8,5	15937,5	0,174	0,618	68,8	59,6	18,9		
9,0	16875,0	0,174	0,618	71,3	61,8	18,3		
9,5	17812,5	0,174	0,618	73,7	63,9	17,7		
10,0	18750,0	0,174	0,618	76,1	65,9	17,1		
[m/s]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[W/(m <sup>2</sup> .K)]	[k/W]		

A Figura 43 mostra o gráfico que relaciona a resistência de convecção e a velocidade do vento para o sensor montado. No gráfico também aparece a linha de tendência, bem como a sua equação.

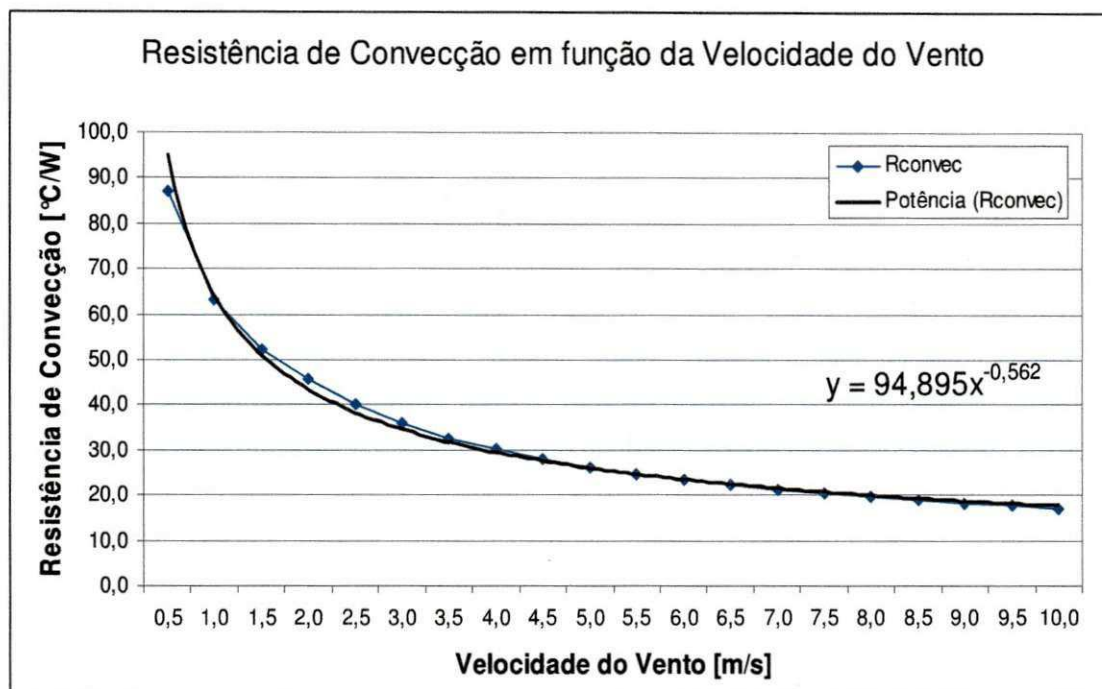


Figura 43: Resistência de convecção em função da velocidade do vento

Cabe observar que a parte exposta ao ar do elemento sensor é oca, o material de seu interior foi retirado para diminuir a capacidade térmica, diminuindo o tempo de resposta e para diminuir a área de condução de calor, aumentando dessa forma a resistência de condução, embora esta resistência seja praticamente desprezível em relação à resistência de convecção. Para evitar convecção no interior do sensor, este foi preenchido com isopor. Feito isto, a área de convecção será somente a área externa do tubo. A área transversal pode ser desconsiderada pois é pequena em relação à área externa.

Para o regime permanente, o circuito elétrico equivalente ao sensor de velocidade do vento corresponderá ao mostrado na Figura 44.



Figura 44: Circuito equivalente ao sensor de velocidade do vento

No Ponto 1, T<sub>Entrada</sub>, está a resistência de aquecimento que recebe uma potência elétrica e aquece a uma temperatura controlada, de forma que a temperatura sobre o sensor T<sub>Quente</sub> permaneça constante e igual a 10 °C acima da temperatura ambiente. T<sub>Ambiente</sub> é a temperatura ambiente. Logo a diferença de temperatura entre T<sub>Quente</sub> e T<sub>Ambiente</sub> será constante e igual a 10 °C. REQ1 corresponde a resistência térmica entre os sensores T<sub>Quente</sub> e T<sub>Frio</sub> e REQ2 equivale a resistência térmica entre o sensor T<sub>Frio</sub> e o ambiente externo.

Portanto, com este circuito equivalente, podemos calcular a diferença de temperatura entre T<sub>Quente</sub> e T<sub>Frio</sub> em função da velocidade do vento. A equação utilizada para o cálculo desta diferença foi:

$$(T_{\text{Quente}} - T_{\text{Frio}}) = \frac{REQ2}{REQ1 + REQ2} \times (T_{\text{Quente}} - T_{\text{Ambiente}})$$

$$(T_{\text{Quente}} - T_{\text{Frio}}) = \frac{REQ2}{11,2741^{\circ}\text{C/W} + REQ2} \times 10^{\circ}\text{C}$$

E os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Diferença de temperatura entre T<sub>Quente</sub> e T<sub>Frio</sub> em função da velocidade do vento

Velocidade do vento (m/s)	REQ2 (°C/W)	T <sub>frio</sub> (°C)	T <sub>Quente</sub> - T <sub>Frio</sub> (°C)
0,5	87,3	8,86	1,14
1,0	63,2	8,49	1,51
1,5	52,3	8,23	1,77
2,0	45,7	8,02	1,98
2,5	40,3	7,81	2,19
3,0	36,0	7,62	2,38
3,5	32,8	7,44	2,56
4,0	30,2	7,28	2,72
4,5	28,0	7,13	2,87
5,0	26,3	7,00	3,00
5,5	24,8	6,87	3,13
6,0	23,5	6,76	3,24
6,5	22,3	6,65	3,35
7,0	21,3	6,54	3,46
7,5	20,5	6,45	3,55
8,0	19,7	6,35	3,65
8,5	18,9	6,27	3,73
9,0	18,3	6,18	3,82
9,5	17,7	6,10	3,90
10,0	17,1	6,03	3,97

Na Figura 45 é apresentado o gráfico da diferença de temperatura entre TQuente e TFrio em função da velocidade do vento e a curva de tendência com respectiva equação.

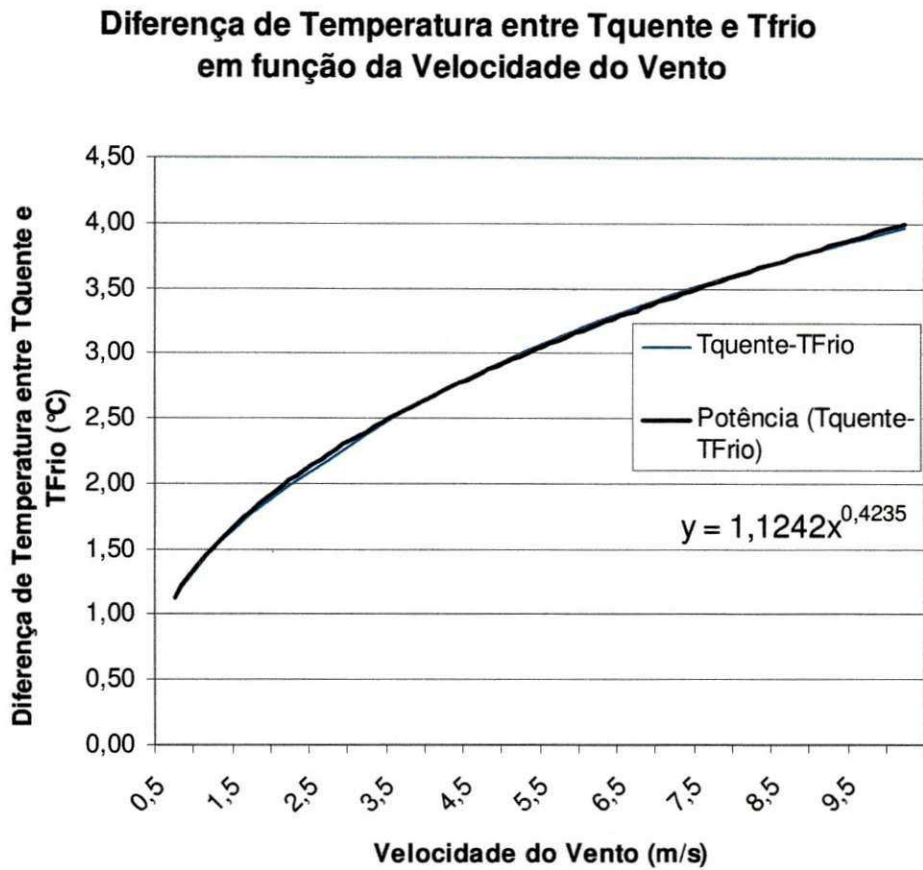


Figura 45: Diferença de temperatura entre TQuente e TFrio em função da velocidade do vento

Então medindo a diferença de temperatura entre TQuente e TFrio, pode-se calcular a velocidade do vento pela equação inversa da apresentada no gráfico.

$$Velocidade\ do\ vento = \sqrt[0,4235]{\frac{(T_{Quente} - T_{Frio})}{1,1242}}$$

O diagrama de blocos para o circuito analógico do sensor de velocidade do vento é mostrado na Figura 46.



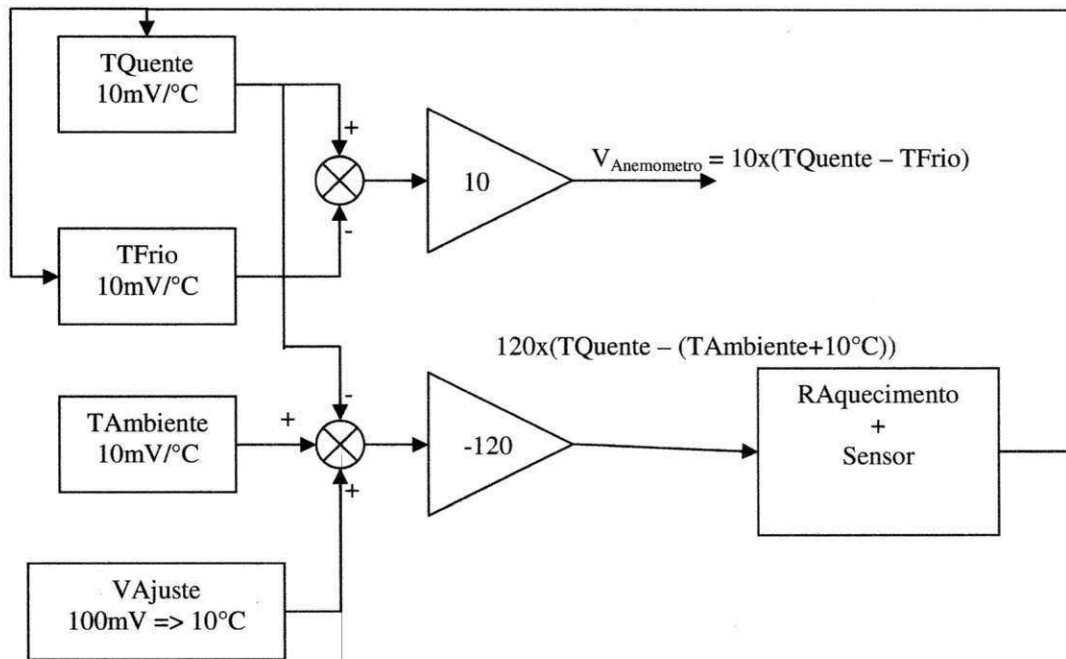


Figura 46: Diagrama de blocos do circuito analógico do anemômetro

Como pode ser visto o circuito possui um controlador de temperatura do tipo proporcional para manter a temperatura em TQuente constante e o circuito que condiciona o sinal do anemômetro para o microcontrolador ( $V_{\text{Anemômetro}}$ ).

Este circuito é descrito a seguir.

### 3.1.1.5.2.3.1 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura são três, iguais, e fornecem os sinais TAmbiente, TQuente e TFrio. O funcionamento de um dos sensores encontra-se descrito abaixo sendo que os demais seguem o mesmo raciocínio.

O sensor de temperatura utilizado no anemômetro foi construído a partir de diodos semicondutores, visto que estes apresentam a característica de diminuir a tensão da junção de forma linear e aproximadamente igual a  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  quando polarizado com corrente constante. O circuito pode ser visto na Figura 47. O elemento sensor é o diodo 1N4007 (D600) que foi montado na malha de realimentação de U601A (TL084).

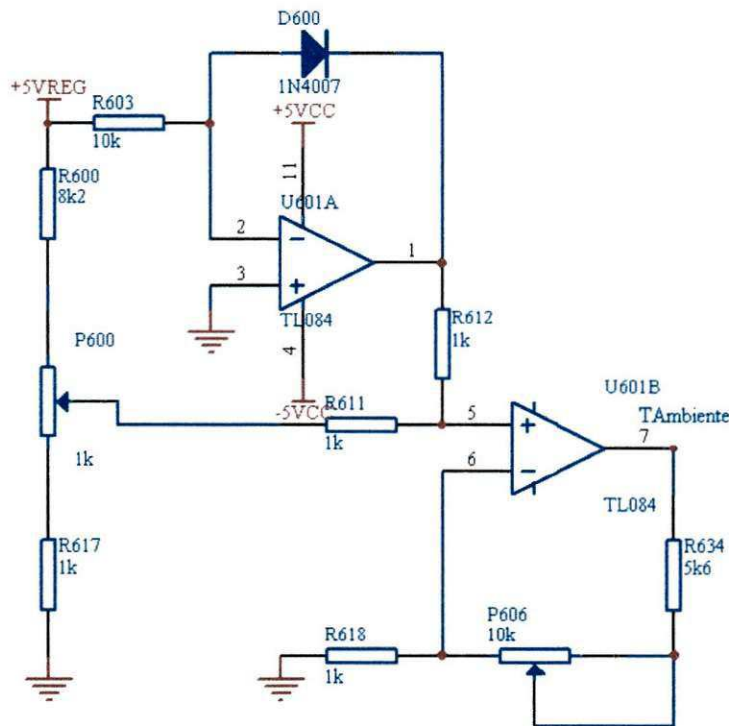


Figura 47: O sensor de temperatura utilizado no anemômetro

Na configuração apresentada U601A se comporta como uma fonte de corrente constante para D600 e a tensão de saída será igual ao negativo da tensão da junção de D600 ( $-V_D$ ). A corrente que circula pelo diodo é constante e definida pela divisão entre o valor da fonte de tensão regulada de precisão pelo valor do resistor R603, ou seja, aproximadamente  $500 \mu\text{A}$ .

P600 tem como função, aplicar uma tensão em R611 que corresponda à tensão da junção do diodo a zero grau Celsius ( $0^\circ\text{C}$ ).

A tensão aplicada em R611 é então somada a tensão aplicada em R612 pelo operacional U601B. A função de transferência do operacional corresponde á:

$$V_{T_{Ambiente}} = \left(1 + \frac{R634 + P606}{R618}\right) \times \left(\frac{R612}{R612 + R611}\right) \times V_{Ajuste} + \left(1 + \frac{R634 + P606}{R618}\right) \times \left(\frac{R611}{R612 + R611}\right) \times (-V_D)$$

Substituindo os valores dos componentes:

$$V_{T_{Ambiente}} = \left(1 + \frac{5k6 + P606}{1k}\right) \times \left(\frac{1k}{1k + 1k}\right) \times VA_{ajuste}$$

$$+ \left(1 + \frac{5k6 + P606}{1k}\right) \times \left(\frac{1k}{1k + 1k}\right) \times (-V_D)$$

$$V_{T_{Ambiente}} = \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(1 + \frac{5k6 + P606}{1k}\right) \times (VA_{ajuste} - V_D)$$

O seja,  $V_{T_{Ambiente}}$  corresponde à variação da tensão de junção do diodo na temperatura que ele está operando com relação à tensão da junção a 0 °C. Esta variação é diretamente proporcional à variação de temperatura e corresponde a aproximadamente 2 mV/°C. P606 controla, então, esta constante de proporcionalidade, uma vez que altera o ganho de tensão de U601B. O ganho de tensão de U601B estará na faixa entre:

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times \left(1 + \frac{5k6 + 0}{1k}\right) \leq A_v \leq \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(1 + \frac{5k6 + 10k}{1k}\right)$$

$$3,3 \leq A_v \leq 8,3$$

Se for considerada a variação de 2 mV/°C, tem-se que o circuito pode regular a variação de tensão em função da temperatura para:

$$6,6mV / ^\circ C \leq \Delta V_{(T)} \leq 16,6mV / ^\circ C$$

O circuito é ajustado para uma variação de 10 mV/°C.

Para ajuste deste circuito, monta-se uma tabela com o módulo da tensão de saída de U601A (VD) em função da temperatura. Tanto a temperatura como a tensão de saída devem ser medidas com bons instrumentos. Faz-se o levantamento para três ou quatro pontos, distantes entre si em torno de 4 °C, plota-se o gráfico e determina-se o ponto de intersecção com o eixo Y (VD(0°C)). Este é o valor da tensão a ser ajustada em P600.

A inclinação do gráfico determina a sensibilidade do diodo e será um valor próximo a 2 mV/°C.

Feito o ajuste de P600, coloca-se o diodo em um local com temperatura conhecida e ajusta-se P606 para que a tensão de saída de U601B (T<sub>Ambiente</sub>) corresponda numericamente, em mV, à 10 vezes o valor da temperatura medida. Por exemplo, se a temperatura ambiente for 28,5 °C, a tensão de saída de U601B deve corresponder a 285 mV. Isto garante que a função de transferência do sensor é de 10 mV/°C.

### 3.1.1.5.2.3.2 Subtrator

Este circuito faz a operação de subtração entre os sinais TQuente e TFrio e amplifica este sinal 10 vezes. O circuito é mostrado na Figura 48.

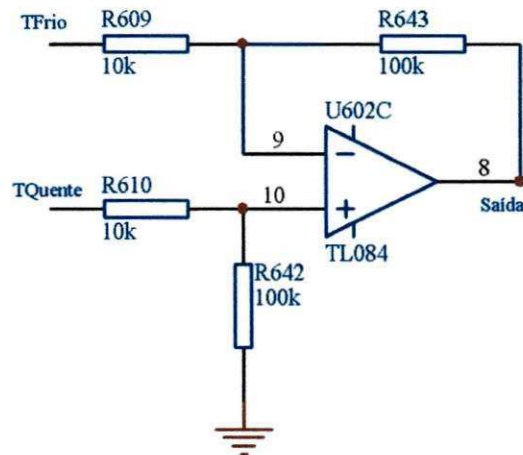


Figura 48: Amplificador Subtrator

$$V_{Saída} = \left(1 + \frac{R643}{R609}\right) \times \left(\frac{R642}{R642 + R610}\right) \times T_{Quente} - \frac{R643}{R609} \times T_{Frio}$$

Para  $R643 = R642$  e  $R609 = R610$ :

$$V_{Saída} = \left(\frac{R609 + R643}{R609}\right) \times \left(\frac{R643}{R643 + R609}\right) \times T_{Quente} - \frac{R643}{R609} \times T_{Frio}$$

$$V_{Saída} = \frac{R643}{R609} \times T_{Quente} - \frac{R643}{R609} \times T_{Frio}$$

$$V_{Saída} = \frac{R643}{R609} \times (T_{Quente} - T_{Frio})$$

$$V_{Saída} = \frac{100k}{10k} \times (T_{Quente} - T_{Frio})$$

$$V_{Saída} = 10 \times (T_{Quente} - T_{Frio})$$

### 3.1.1.5.2.3.3 Somador/subtrator

O circuito abaixo prepara o sinal de erro para o controlador proporcional de temperatura.

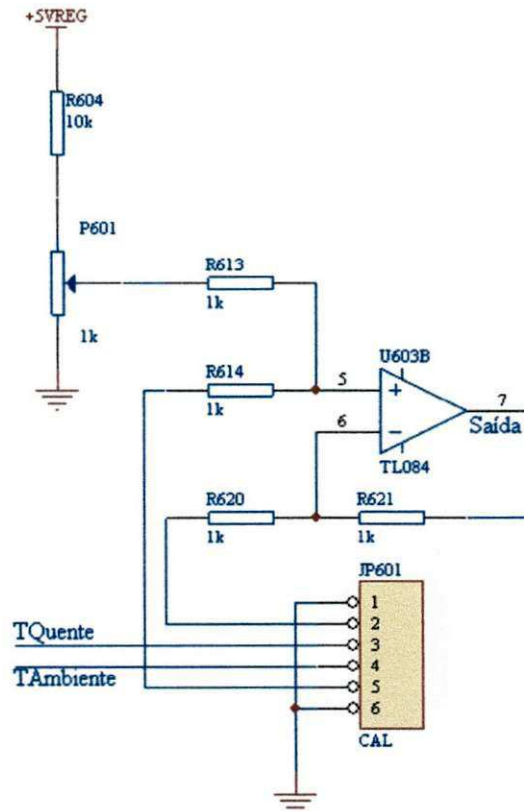


Figura 49: Circuito somador/subtrator

A equação deste circuito é:

$$V_{Saída} = \left(1 + \frac{R621}{R620}\right) \times \left(\frac{R614}{R613 + R614}\right) \times VAjuste$$

$$+ \left(1 + \frac{R621}{R620}\right) \times \left(\frac{R613}{R613 + R614}\right) \times TAmbiente - \frac{R621}{R620} \times TQuente$$

Para  $R613 = R614 = R620 = R621 = R$ :

$$V_{Saída} = \left(1 + \frac{R}{R}\right) \times \left(\frac{R}{R + R}\right) \times VAjuste + \left(1 + \frac{R}{R}\right) \times \left(\frac{R}{R + R}\right) \times TAmbiente - \frac{R}{R} \times TQuente$$

$$V_{Saída} = (2) \times \left(\frac{1}{2}\right) \times VAjuste + (2) \times \left(\frac{1}{2}\right) \times TAmbiente - 1 \times TQuente$$

$$V_{Saída} = VAjuste + TAmbiente - TQuente$$



### 3.1.1.5.2.3.4 Controlador Proporcional

O controlador proporcional é o circuito que alimenta a resistência de aquecimento do sensor. Recebe o sinal proveniente do bloco somador/subtrator.

O diagrama esquemático é mostrado na Figura 50.

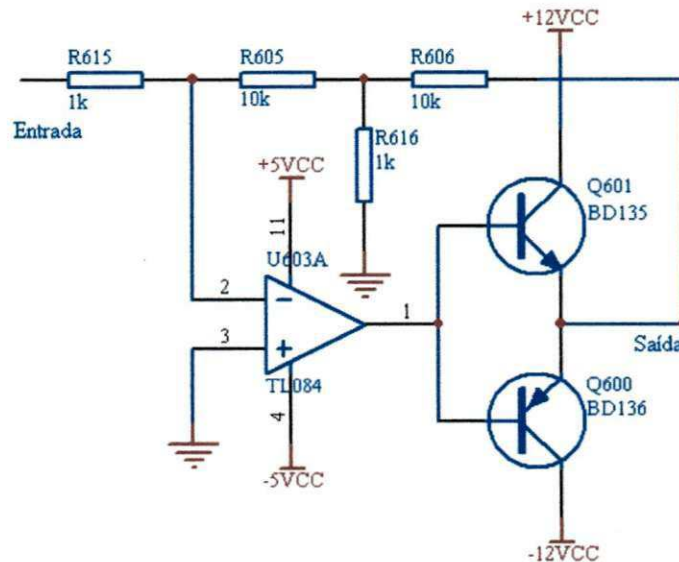


Figura 50: Controlador proporcional

A equação de saída deste circuito é dada por:

$$A_v = -\left(\frac{R606}{R615} \times \left(1 + \frac{R605}{R616}\right) + \frac{R605}{R615}\right)$$

$$A_v = -\left(\frac{10k}{1k} \times \left(1 + \frac{10k}{1k}\right) + \frac{10k}{1k}\right)$$

$$A_v = -(10 \times (1 + 10) + 10)$$

$$A_v = -120$$

Os transistores são amplificadores de corrente, e não interferem no ganho de tensão do circuito.

### 3.1.1.5.2.4 O Sensor de Temperatura de Globo Negro

O sensor de temperatura de globo negro é formado por um sensor de temperatura LM35 dentro de um termômetro de globo negro padrão.

O LM35 é um circuito integrado sensor de temperatura, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius (centígrados). O LM35 não requer nenhuma calibração externa para fornecer precisões típicas de  $\pm \frac{1}{4} \text{ }^\circ\text{C}$  em

temperatura ambiente e  $\pm 3/4$  °C ao longo de um intervalo de temperatura de -55 a 150 °C. A tensão de saída do LM35 varia 10 mV/°C, por exemplo, para 25 °C, a tensão de saída do LM35 será de 250 mV.

O circuito básico para o LM 35 pode ser visto na Figura 51.

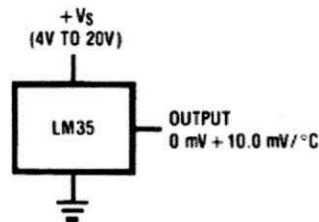


Figura 51: Circuito básico para medição de temperaturas de 2 °C a 150 °C utilizando o LM35

A baixa impedância de saída, saída linear, e calibração interna precisa do LM35 facilita a construção de circuitos de leitura ou controle. Pode ser usado com fontes de alimentação simples, ou com fontes simétricas. Como consome apenas 60  $\mu$ A, gera um auto-aquecimento muito baixo, que corresponde a menos de 0,1 °C ao ar livre.

Uma vez que a temperatura de globo negro será convertida de analógico para digital, o sinal de saída do LM35 foi amplificado para melhorar a precisão na conversão. O circuito amplificador utilizado está mostrado na Figura 52. Consiste de um amplificador não-inversor montado com um TL084. O ganho de tensão do amplificador é ajustado para 5, ou seja, a relação de conversão de temperatura em tensão será de 50 mV/°C. Para uma faixa de operação de 0 °C a 60 °C, temos que a faixa de tensão de saída do amplificador será de:

$$0V \leq V_{SAÍDA} \leq 3V$$

Não se devem ultrapassar os 3 V na saída do amplificador, pois ele é alimentado pela fonte simétrica auxiliar de +/-5 V, e, nesta tensão, a máxima tensão de pico na saída do amplificador fica em torno de 3,5 V.

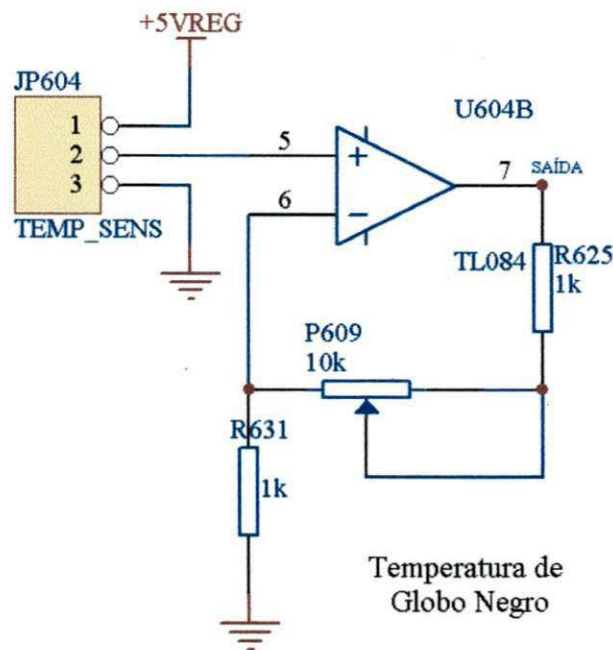


Figura 52: Circuito amplificador para o sensor de temperatura de globo negro

O funcionamento do circuito ocorre da seguinte forma: JP604 faz a conexão com o LM35 instalado no globo negro. A alimentação do LM35 é feita pela fonte auxiliar de precisão de 5 Volts (+5VREG) situada na placa de sensores analógicos, através dos pinos 1 e 3 do conector JP604. O pino 2 de JP604 corresponde à saída do LM35, que traz a informação de temperatura de globo negro. A tensão do pino 2 de JP604 é aplicada ao pino 5 (entrada não-inversora) do amplificador operacional U604B. A malha de realimentação formada pelos resistores R625 e R631 e pelo trimpot P603 determina o ganho do amplificador que é dado por:

$$A_v = 1 + \frac{(R625 + P603)}{R631}$$

P603 permite o ajuste preciso do ganho, compensando eventuais diferenças causadas pela tolerância dos componentes.

Teoricamente, o ajuste de P603 é:

$$5 = 1 + \frac{(1k + P603)}{1k}$$

$$5 = 1 + 1 + \frac{P603}{1k}$$

$$P603 = (5 - (1 + 1)) \times 1k$$

$$P603 = 3k\Omega$$

A tensão de saída do amplificador é então aplicada ao respectivo pino do

conversor AD do microcontrolador do módulo sensor completo que faz a leitura deste valor.

### 3.1.1.5.2.5 Sensor de Luminosidade

O LDR (Light Dependent Resistor) é um resistor cuja resistência elétrica varia com a intensidade da luz incidente sobre ele.

Geralmente um LDR é constituído por um conjunto de placas, sendo o espaço entre elas preenchido com um material que tem a propriedade de variar o número de elétrons livres em função da intensidade da luz que incide sobre ele.

O seu funcionamento está baseado no efeito fotoelétrico.

O LDR apresenta uma resposta logarítmica, como a mostrada na Figura 53.

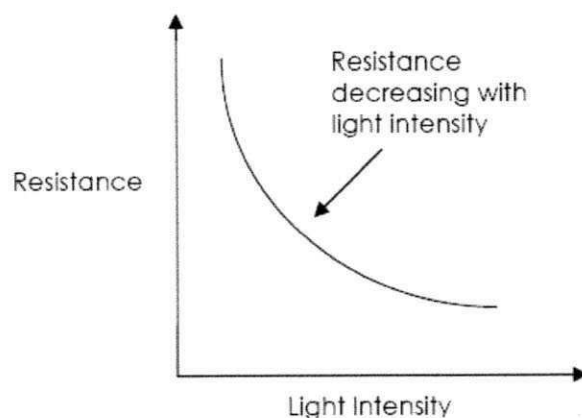


Figura 53: Curva típica de um LDR

O circuito sensor de luminosidade melhora a resposta do LDR. Em simulação, com valores típicos de LDR's obtidos na Internet, a curva de resposta do circuito é a apresentada na Figura 54. E o esquema elétrico do mesmo na Figura 55.

Resposta do Sensor de Luminosidade

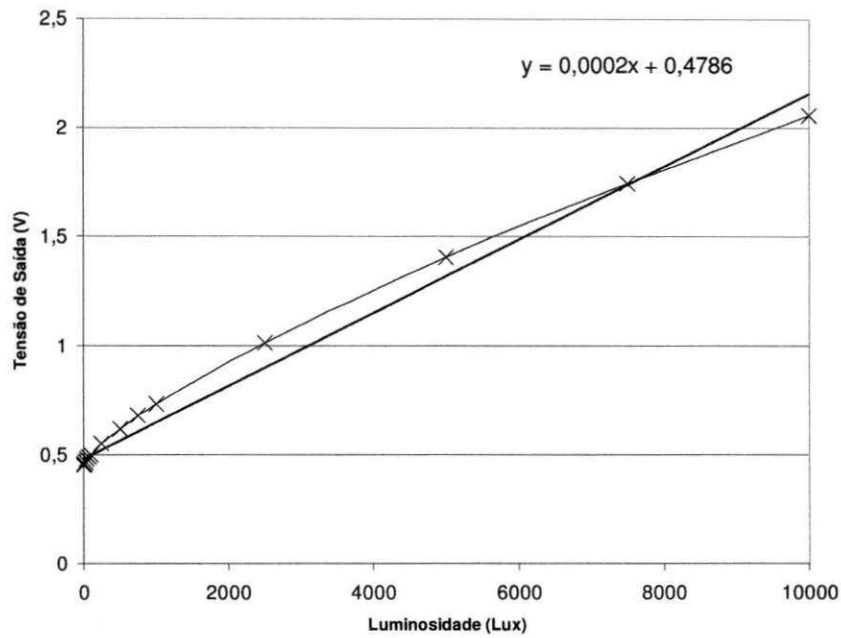


Figura 54: Resposta do circuito sensor de luminosidade e a equação linearizada

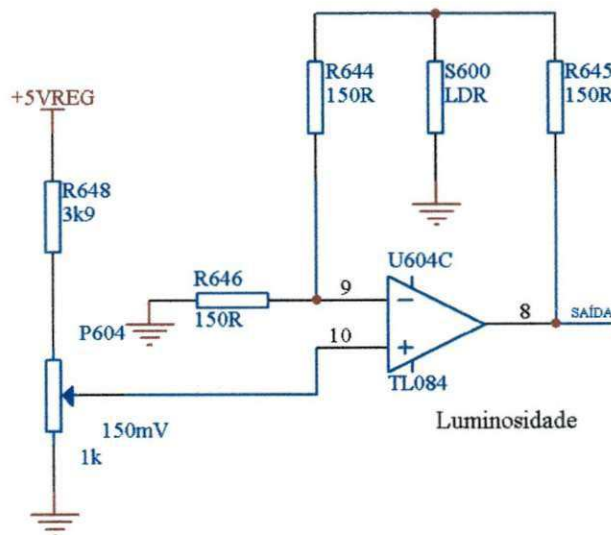


Figura 55: Esquema elétrico do sensor de luminosidade

O ganho de tensão deste amplificador é dado pela equação:

$$A_v = 1 + \left( \frac{R645 + R644}{R646} \right) + \frac{R645}{S600} \times \left( 1 + \frac{R644}{R646} \right)$$



Para os valores utilizados, tem-se:

$$A_v = 1 + \left( \frac{150 + 150}{150} \right) + \frac{150}{5600} \times \left( 1 + \frac{150}{150} \right)$$

$$A_v = 1 + (2) + \frac{150}{5600} \times (2)$$

$$A_v = 3 + \frac{300}{5600}$$

Então, a tensão de saída do circuito é dada por:

$$V_o = \left( 3 + \frac{300}{5600} \right) \times 150mV$$

ou

$$V_o = \left( 1 + \frac{100}{5600} \right) \times 450mV$$

### 3.1.1.5.2.6 Sensor de Concentração de Gás Carbônico

O TGS4161 é um sensor de CO<sub>2</sub> miniaturizado e de baixo consumo de energia. Uma faixa de 350~5.000 ppm de dióxido de carbono pode ser detectada pelo TGS 4161, tornando-o ideal para aplicações de controle do ar. O elemento sensível de CO<sub>2</sub> consiste de um eletrólito sólido formado entre dois eletrodos, juntamente com um substrato aquecedor impresso (RuO<sub>2</sub>). Através do monitoramento das mudanças na Força Eletromotriz (EMF) gerada entre os dois eletrodos, é possível medir a concentração de gases de CO<sub>2</sub>.

O topo da tampa do sensor contém adsorvente (zeolite), com o objetivo de reduzir a influência de gases interferentes.

O TGS4161, mostrado na Figura 56, apresenta uma relação linear entre  $\Delta EMF$  e a concentração de gases de CO<sub>2</sub> em uma escala logarítmica. Esta relação é apresentada na Figura 57.

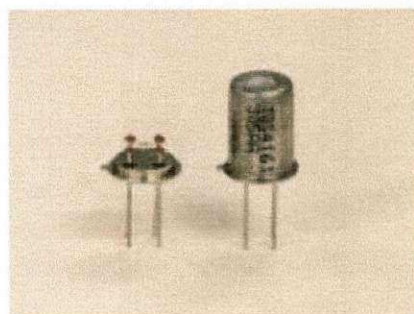


Figura 56: O sensor TGS4161

Sensitivity Characteristics:

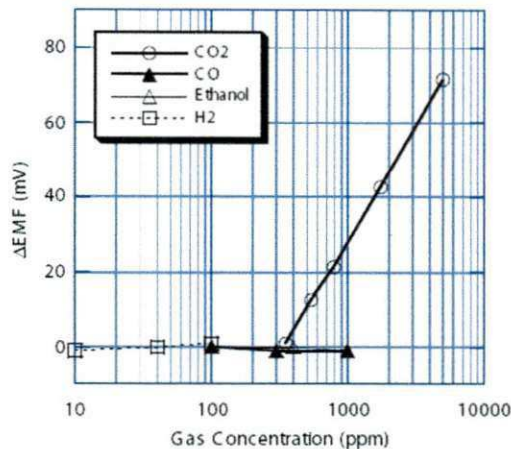


Figura 57: Relação entre  $\Delta$ EMF e a concentração de CO<sub>2</sub> do TGS4161

O sensor TGS4161 exige uma tensão de aquecimento (VH). A tensão de aquecimento é aplicada ao aquecedor, de forma integrada para manter o elemento sensor em uma temperatura específica que é a ideal para máxima sensibilidade. A Força Eletromotriz (EMF) do sensor deve ser medida usando um amplificador operacional de alta impedância ( $> 100 \text{ G}\Omega$ ) com corrente de polarização  $< 1 \text{ pA}$ .

Como o sensor do tipo eletrólito sólido funciona como uma espécie de bateria, o valor da EMF por si só pode ser usado para medir a concentração de CO<sub>2</sub>. No entanto, a variação do valor de EMF ( $\Delta$ EMF) mostra uma relação mais estável com a mudança de concentração de CO<sub>2</sub>.

O circuito para o sensor de concentração de CO<sub>2</sub> é mostrado na Figura 58. Este circuito foi construído de modo que o sensor fique com o aquecedor ligado o tempo todo ou que este aquecedor possa ser ativado a partir de um comando do microcontrolador, para economizar energia. Esta opção é feita pelo jumper JP605. Neste sistema, foi utilizado o modo de aquecimento contínuo. Ao ligar JP605 2-3, é aplicada tensão em R632 que faz com que Q602 sature. Ao saturar, Q602 liga o aquecedor de S601 (TGS4161). Depois de ligado e após alguns segundos, a tensão VEMF de S601 poderá ser medida. O jumper JP606 seleciona entre a tensão VEMF e uma tensão de calibração para o ganho do amplificador U604A. A tensão de calibração é de 100 mV e é obtida a partir do divisor de tensão formado por R647 e P605. Ao colocar o JP606 na posição 2-3, a tensão de saída do amplificador operacional U604A montado na configuração não-inversora deverá ser de 400 mV. Esta tensão de saída é obtida pelo ajuste de P610. O ganho de tensão do circuito é 4.

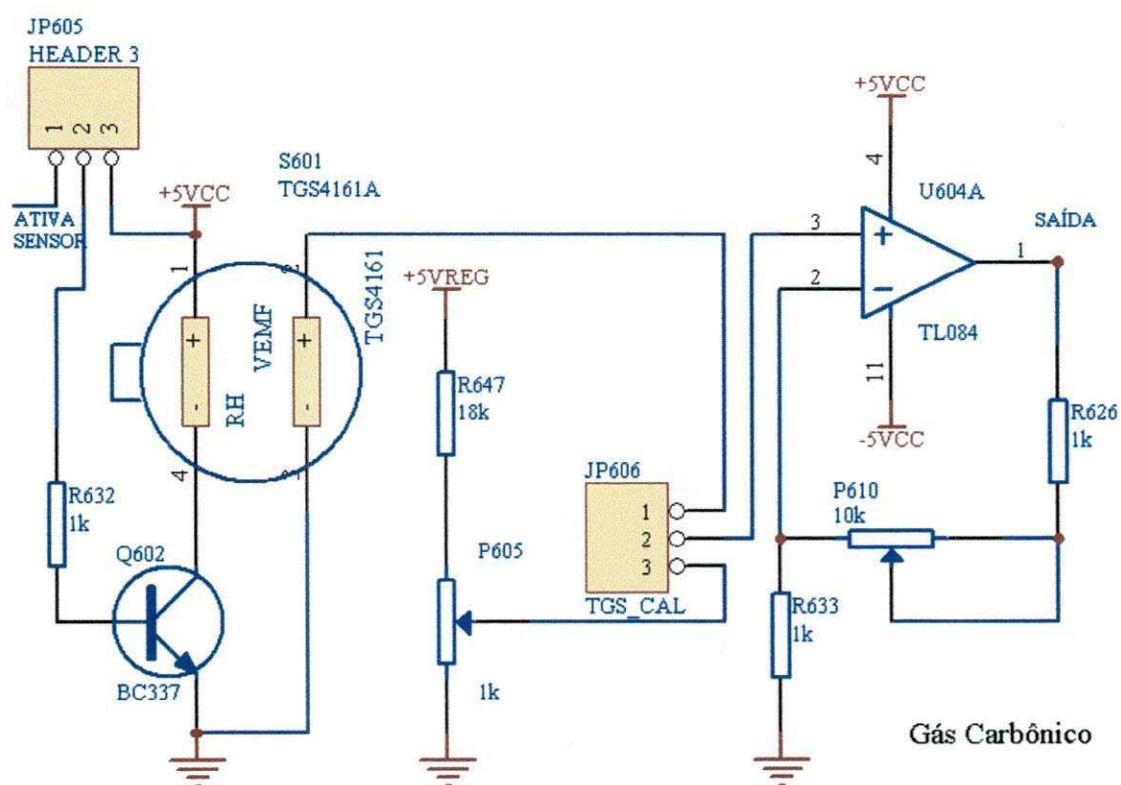


Figura 58: Circuito sensor de concentração de CO<sub>2</sub>

A equação para o ganho de tensão de U604A é dada por:

$$A_v = 1 + \frac{(R626 + P610)}{R633}$$

### 3.1.2 Software

Por se tratar de um sistema lógico programável, para funcionar é preciso um software. Os fluxogramas dos programas utilizados são apresentados a seguir.

Todos os módulos apresentam uma rotina de inicialização. Esta inicialização é usada para ativar os componentes que serão utilizados nas respectivas unidades de processamento. Ela é apresentada de forma simplificada na Figura 59.

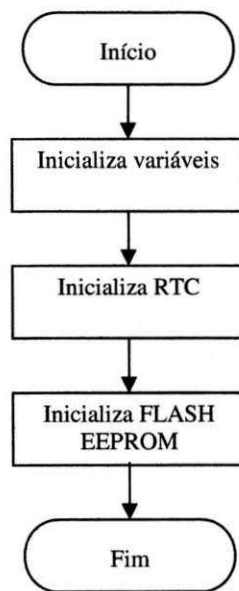


Figura 59: Fluxograma simplificado da rotina de inicialização.

Depois de inicializado, cada módulo possui um programa específico. A seguir, e também de forma resumida, são apresentados os fluxogramas para cada módulo. Iniciando pelo fluxograma dos módulos sensores que está representado na Figura 60.

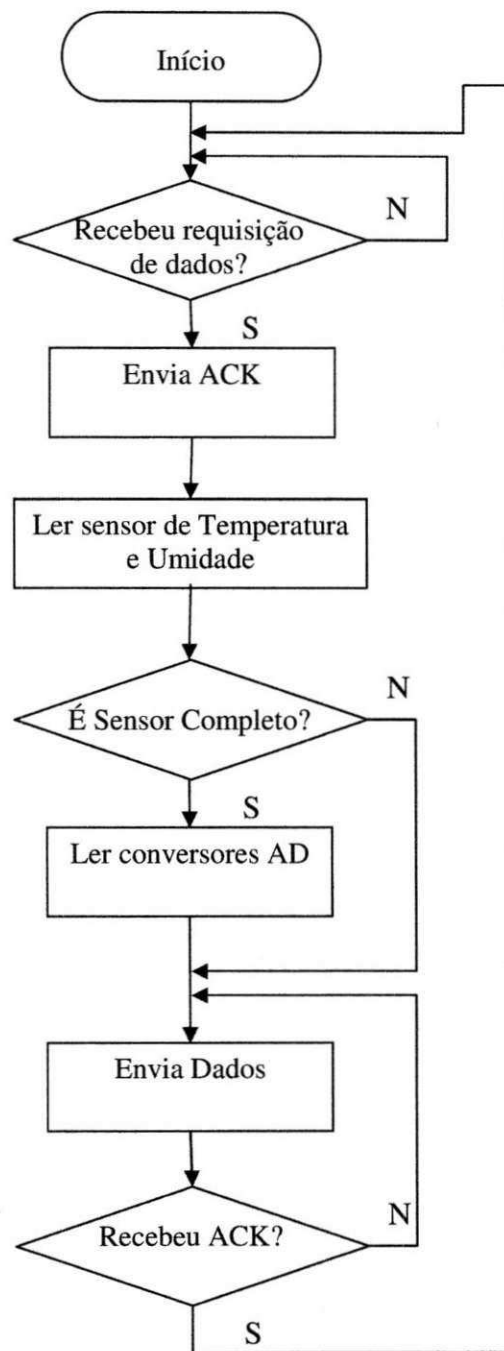


Figura 60: Fluxograma simplificado do programa dos módulos sensores.

Um pouco mais complexo é o programa do módulo concentrador, que é responsável por todo o controle do fluxo de informação. Seu fluxograma é mostrado nas Figura 61 e Figura 62.



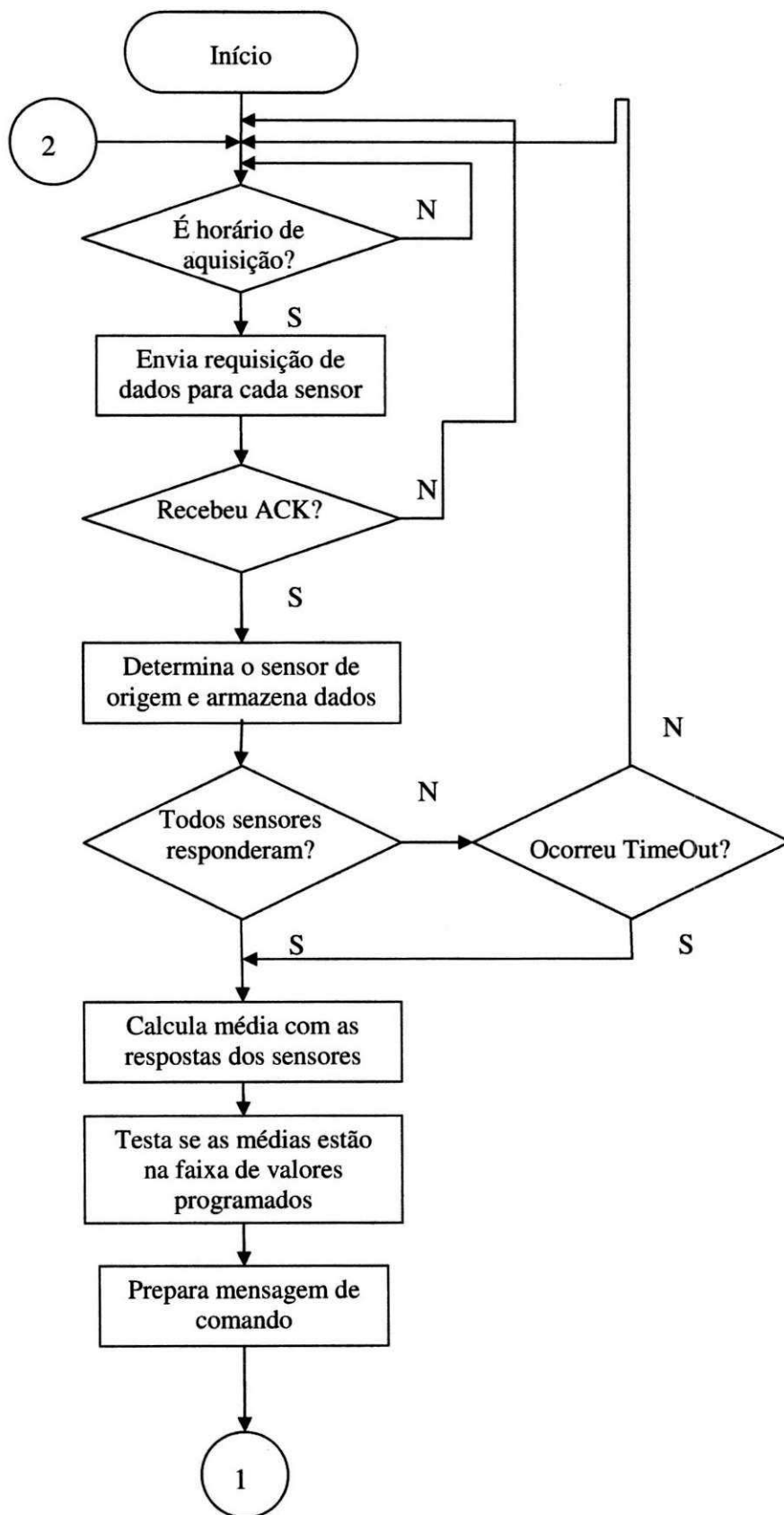


Figura 61: Fluxograma simplificado do programa do módulo concentrador (parte 1/2)

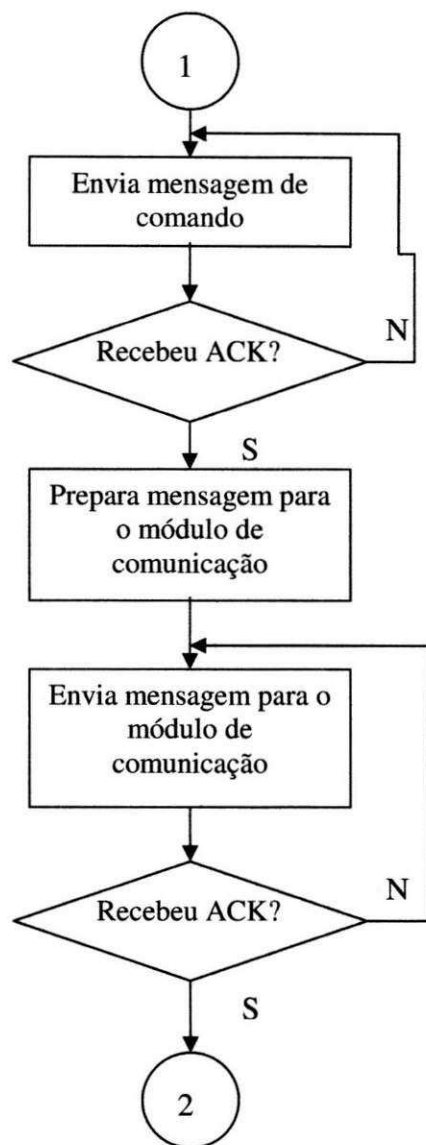


Figura 62: Fluxograma simplificado do programa do módulo concentrador (parte 2/2)

O módulo atuador apresenta um programa mais simples, onde apenas recebe os dados para acionar os equipamentos utilizados no controle do ambiente, sendo eles, neste caso, circuito de ventiladores, circuito de nebulizadores, circuito de iluminação e circuito de cortina. Como apresenta 16 saídas, os circuitos podem ser divididos, ou as saídas programadas para acionamento tipo estrela-triângulo, temporizadas, ou outras configurações. A relação de comandos é programada no módulo concentrador e no módulo atuador.

Seu fluxograma é representado na Figura 63.

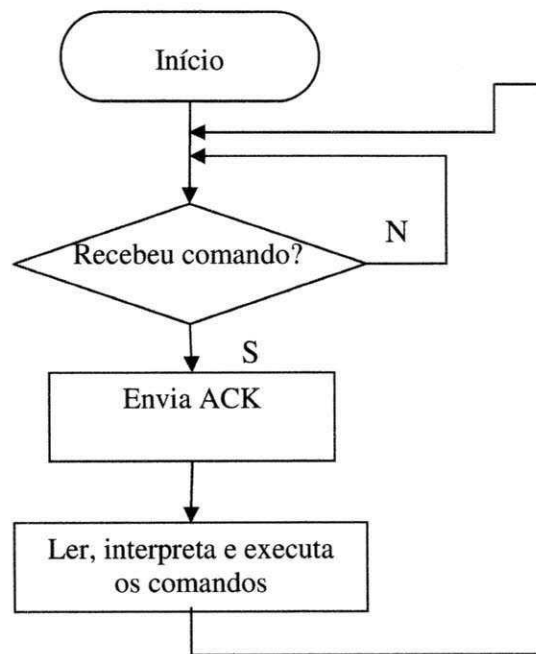


Figura 63: Fluxograma simplificado do programa do módulo atuador

O módulo de comunicação é responsável por receber os dados provenientes do módulo concentrador e repassá-los para o PC, para que este apresente os resultados e armazene-os.

O fluxograma do módulo de comunicação pode ser visto na Figura 64.

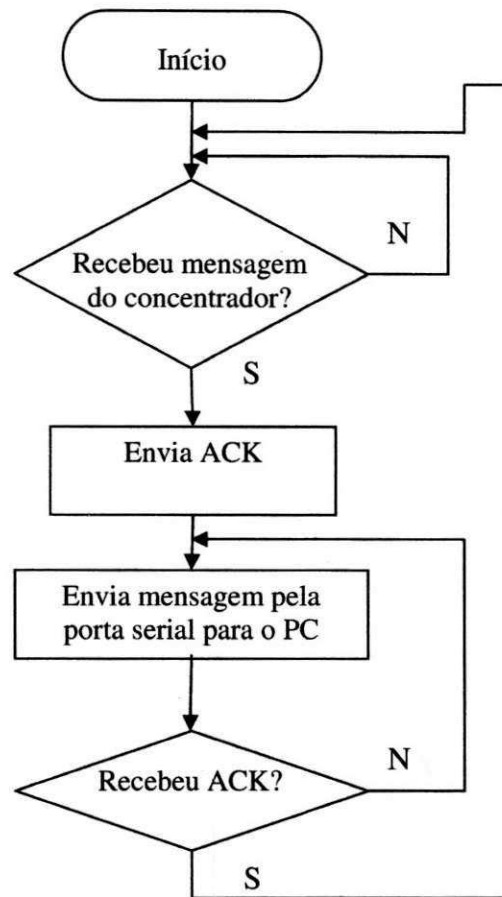


Figura 64: Fluxograma simplificado do programa do módulo de comunicação

### 3.1.3 Classificação da rede de sensores

Partindo da classificação apresentada por Ruiz, 2003, podemos definir a rede projetada como:

- Quanto à configuração:
  - Composição homogênea;
  - Organização hierárquica;
  - Mobilidade Estacionária;
  - Densidade Esparsa;
  - Distribuição Regular.
  
- Quanto ao sensoriamento
  - Coleta Periódica.

- Quanto a comunicação
  - Disseminação programada;
  - Tipo de conexão simétrica;
  - Transmissão *half-duplex*;
  - Alocação de canal dinâmica;
  - Fluxo de informação *bargaining*.
- Quanto ao processamento
  - não classificada.

### 3.1.4 Construção dos protótipos

Feito o projeto, partiu-se então para a implementação dos circuitos. Para isto foram usados softwares para:

- elaboração de esquemáticos e placas de circuito impresso;
- simulação em eletrônica;
- programação de microcontroladores;
- edição de planilhas (Excel);

Os componentes e materiais necessários para a confecção das placas dos módulos bem como o ambiente para trabalho foram disponibilizados pelo LIMC – Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.

#### 3.1.4.1 Produção das placas

Depois de feitos os leiautes das placas em software específico, estes foram impressos em uma impressora a laser em papel pouco poroso. O lado impresso foi posicionado sobre o lado cobreado da placa. Depois, passa-se um ferro de engomar nas costas do papel para a temperatura fundir novamente o *toner* e este colar na placa. A placa ainda quente, com o papel colado, é então mergulhada em água. Depois de dez minutos, esfrega-se o papel embaixo d'água para que ele se desmanche. O *toner* e portanto o leiaute permanece na placa. Depois de retirar todo o papel, a placa é colocada em solução de perclorato de ferro para que o cobre exposto (sem a proteção do *toner*) seja removido. Quando todo o cobre estiver removido, a placa é retirada da solução e



lavada. O *toner*, que ainda está colado é removido com uma esponja de palha de aço fina. A placa é então seca com uma flanela, inspecionada para evitar a presença de curtos-circuitos causados por cobre não removido e enviada para a furação.

#### **3.1.4.2 Furação das placas**

A furação das placas foi feita com microrretífica em suporte apropriado e com perfurador manual.

Após a furação, as placas foram limpas com pano seco e foi passada uma camada de verniz a base de álcool isopropílico e breu para proteção.

#### **3.1.4.3 Montagem das placas**

Nesta etapa, as placas foram colocadas em suporte para soldagem e os componentes foram montados na seguinte ordem: resistores, capacitores, outros componentes passivos, semicondutores discretos, suporte para circuitos integrados, trimpots, sensores e cabos. Aqui também é feito o reparo das trilhas corroídas durante a produção.

#### **3.1.4.4 Teste das placas**

Inicialmente foram testadas as placas das fontes de alimentação primárias. Este teste consiste em ligar a fonte na rede elétrica e medir a tensão de saída. Se a tensão estiver no valor esperado, a placa é aprovada.

As fontes foram então conectadas às placas das unidades de processamento. As unidades de processamento estavam sem nenhum circuito integrado em seus soquetes. A fonte primária é ligada novamente e verifica-se se a tensão de saída da fonte secundária (5 V) está correta. Feito isto, é medido nos pinos dos soquetes, se a tensão de alimentação (5 V) existe. Só então os circuitos integrados são colocados nos soquetes e um microcontrolador com um programa de inicialização dos componentes faz a leitura e transfere os dados para a porta serial. Este programa testa então se todos os componentes e a placa estão funcionando.

A placa do transmissor foi testada separadamente. Aplicou-se uma tensão de 12 V proveniente de uma das fontes primárias. Com este nível de tensão o transistor 2N2222 precisaria de um dissipador de calor, que não estava disponível, então a tensão foi reduzida para 5 V. Com o uso de um osciloscópio da série DSO3000 da Agilent, os

dois geradores de tom foram ajustados. Através de um analisador de espectro FSH3 da Rohde & Schwarz verificou-se a faixa de transmissão. O circuito funcionou e a frequência podia ser ajustada na faixa de FM comercial. Percebeu-se, porém, que a frequência de sintonia variava com o tempo e que havia a presença da segunda harmônica intensa.

A placa do receptor foi ligada e os detectores de tom foram ajustados para suas respectivas frequências com o osciloscópio DSO3000. O capacitor C2009 foi retirado da placa do receptor e na entrada dos detectores de tom foi aplicado o sinal proveniente do terminal central do trimpot R1013 do circuito somador do Transmissor de RF. Nas saídas do Receptor de RF foram colocados LED's para identificar o funcionamento. Os sinais foram detectados sem nenhum problema. O capacitor C2009 e o trimpot R1013 foram reconectados e tentou-se ajustar o receptor. Diversas tentativas resultaram em nada. O transistor do receptor não entrava em oscilação.

Para não haver perda de tempo, optou-se por trocar os blocos Transmissor RF e Receptor RF pelo módulo transceptor TRW-24G da Laipac. A vantagem deste módulo é que ele é um sistema transceptor completo, onde são atribuídos um endereço e um canal para o módulo e toda mensagem que chegar para aquele canal com o seu endereço, será recebida e disponibilizada na saída, para que o microcontrolador leia. Para enviar uma mensagem basta colocar o endereço de destino e enviar a mensagem. Internamente ele já faz a detecção de erros das mensagens (possui um gerador de CRC), e só avisa do recebimento de mensagem quando o destinatário é ele. Opera na faixa de 2,4 GHz, e segundo o manual, possui um alcance de 150 m.

A placa de acionamento apresentou problemas na transferência do toner para o cobre, e acabou perdendo muitas trilhas que tiveram que ser reconstruídas com fio. Fora este problema, funcionou perfeitamente. O teste consiste em alimentá-la com 12 V e com um pedaço de fio ligado na alimentação tocar cada um dos terminais de entrada de sinal de controle. O respectivo relé deve disparar e o LED acender.

A placa de sensores analógicos foi montada e calibrada e não apresentou problemas. Os sensores de temperatura feitos com diodos para o sensor de velocidade do vento funcionaram. Porém, para evitar os ajustes e, já que o sensor de velocidade do vento é quem está em teste, eles foram substituídos por LM35, que possui uma resposta padrão e diminui as incertezas causadas por diferenças de ajustes.

#### **3.1.4.5 Montagem e teste dos módulos.**

Depois de testadas todas as placas, os módulos foram montados.

Para testá-los foi feita uma pequena rotina onde o módulo de comunicação recebia o sinal de rádio e enviava para o PC através de porta serial. Do outro lado, um módulo ficava enviando continuamente uma mensagem. Depois desta montagem, apenas um módulo não conseguiu estabelecer contato e foi desprezado para posterior manutenção. Foi um módulo sensor básico.

#### **3.1.4.6 Programação do sistema**

A programação consistiu basicamente em editar o programa em um software específico e transferi-lo para o microcontrolador. Após a elaboração das rotinas, o microcontrolador era retirado do seu conector, colocado no conector do gravador, gravado e devolvido para o seu conector. Isto se repetia diversas vezes, até que os programas começaram a se mostrar instáveis, o microcontrolador reinicializar e a comunicação ficar truncada. Quando isso aconteceu, percebeu-se que algumas placas não funcionavam na horizontal, mas quando colocadas na vertical, voltavam a funcionar normalmente. O ato de retirar e colocar o microcontrolador no soquete criou folgas e os contatos elétricos eram perdidos, fazendo com que o microcontrolador reiniciasse ou travasse. Os soquetes foram retirados e os microcontroladores foram soldados nas placas, sendo necessário fazer a gravação no próprio circuito (*In-Circuit*). Quando adotou-se este procedimento, os problemas de instabilidade diminuíram muito e ganhou-se velocidade no procedimento, pois evitou-se o tempo gasto para transferir o microcontrolador da placa para o gravador e vice-versa.

Os resultados obtidos e as discussões a respeito serão vista no capítulo seguinte.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação dos sensores utilizados

O controle utilizado é do tipo On-Off, ou seja, quando uma grandeza que está sendo monitorada excede um certo limite é acionada a saída que atuará para corrigir seus efeitos. Por exemplo, se a temperatura exceder 25 °C, são ligados os ventiladores para resfriar o ambiente. Para que haja este controle é necessária a utilização dos sensores para as grandezas a serem controladas.

Como foi dito inicialmente, não se buscou sensores precisos, visto que o principal objetivo é o desenvolvimento da rede, mesmo porque estes sensores podem ser substituídos por sensores para aplicações específicas, e que podem ser encontrados comercialmente, embora com um custo mais elevado. Mas era necessário ter as informações básicas de temperatura, umidade e luminosidade para controlar o sistema. A velocidade do vento, Temperatura de Globo Negro e a concentração de CO<sub>2</sub> não foram utilizadas no controle, e essas informações são usadas somente para avaliação do ambiente.

Dentre os sensores utilizados, o SHT11 e o LM35 podem ser considerados sensores precisos.

O SHT11 é o sensor de temperatura e umidade. A informação gerada por ele é bastante confiável, e não é necessário levantar suas características ou fazer correções. É um sensor com saída digital e já vem calibrado de fábrica. Mostrou-se muito confiável e de fácil utilização.

O LM35 foi utilizado como sensor de Temperatura de Globo Negro. Também de fácil utilização, já vem calibrado de fábrica. A única modificação que sofreu foi um lixamento no invólucro para encaixar no interior do globo negro.

O sensor de luminosidade foi projetado e construído a partir do LDR. Foi preciso fazer uma caracterização rápida para que pudesse ser utilizado. Como não havia um ambiente adequado para a caracterização deste sensor, realizou-se o seguinte procedimento, levando em consideração que a iluminação exigida pelas aves é de 22 Lux e que valores abaixo disso devem acionar a iluminação:

- Foi decidido trabalhar numa faixa de medição de 0 a 100 Lux;
- Cobriu-se o LDR para termos a informação de 0 Lux, anotou-se o valor da tensão medida pelo microcontrolador;

- Apagou-se as luzes do laboratório, colocou-se um luxímetro ao lado do LDR e uma luminária fluorescente acesa foi posicionada a uma distância vertical que correspondesse a uma leitura de 100 Lux no luxímetro. Anotou-se o valor da tensão medida pelo microcontrolador;
- Considerando a reta formada pelas medidas acima, foram calculados os parâmetros de inclinação (Lux/V) e o valor inicial (V). Esses dados foram programados no microcontrolador para que as leituras sejam feitas em Lux;
- Para conferir foram testadas três condições, 100 Lux, 33 Lux e 0 Lux. O resultado pode ser conferido na Tabela 12. Onde o valor de referência corresponde à leitura do luxímetro e o valor medido, à leitura do sistema.

Tabela 12: Dados do sensor de luminosidade

Valor de Referência (Lux)	Valor Medido (Lux)
0	0,246
33	33,688
100	100,57

Para esta pequena faixa de operação o sensor de luminosidade apresentou uma resposta muito boa. Ao tentar aumentar a luminosidade, o erro aumenta e não é recomendado utilizá-lo para medição.

Para corrigir isso, pode-se fazer uma tabela de calibração e gravá-la no sistema para que seja feita a correção dos valores. Dessa forma o valor medido corresponderá à luminosidade correta. Isto não foi realizado por não haver necessidade de uma faixa de medição tão ampla.

O projeto para esse sensor de luminosidade, nas condições que são apresentadas aqui permite medir até 10.000 Lux sem sair da faixa dinâmica do amplificador utilizado. Porém, como informado anteriormente, é preciso fazer uma tabela de calibração.

Como não existiam sensores de velocidade de vento disponíveis, e os que existiam pertenciam a equipamentos caros ou eram móveis, foram pesquisadas as soluções utilizadas para anemômetros. As soluções encontradas baseavam-se em sensores móveis ou com fio quente. As soluções com peças móveis foram desconsideradas devido à quantidade de poeira presente nos aviários, o que poderia



engripar o eixo desses sensores. As soluções com fio quente foram desconsideradas devido ao fio utilizado ser especial e que o acúmulo de poeira sobre ele poderia descaracterizar a medição, sendo sua limpeza capaz de danificá-lo se não for bem feita. Era necessário um sensor que não possuísse peças móveis e que fosse robusto o suficiente para permitir a limpeza feita por quem cuida do aviário e que medisse o vento em qualquer direção. Ao pesquisar sobre dissipadores de calor, foi encontrada a curva da figura 47 (Cunha, 2001). Por que não basear o sensor na variação da resistência térmica efetiva causada pela convecção forçada? A partir daí foram feitos os estudos sobre resistência térmica e convecção forçada e chegou-se ao sensor de velocidade de vento apresentado neste texto.

Os cálculos foram feitos, a simulação como circuito elétrico apresentaram as características propostas, o projeto foi executado. Para minimizar os erros na medição da temperatura quente (TQuente) e da temperatura fria (TFria), os sensores de temperatura feitos com diodos foram substituídos pelos LM35's, que não necessitam de ajuste. O procedimento utilizado foi:

- Um anemômetro comercial portátil (com hélice) – a nossa referência- foi colocado junto com o sensor, um ao lado do outro, de modo que um influenciasse o mínimo possível o fluxo de ar pelo outro;
- Um ventilador foi ligado e o anemômetro de referência foi alinhado ao fluxo de ar para a máxima leitura;
- Ao afastar o ventilador, o fluxo de ar perdia velocidade, e esse afastamento foi utilizado para variar a velocidade do vento. Este procedimento foi realizado por não haver equipamentos (túnel de vento) para este tipo de calibração disponíveis no laboratório;
- Posicionou-se o ventilador em uma distância que correspondesse a uma velocidade de vento de 3,5 m/s. Mediu-se a tensão e comparou-se com a da tabela 7. O resultado foi tão próximo que o microcontrolador foi programado com a equação de tendência da figura 50. Ao fazer isto, percebeu-se que os valores apresentavam um erro grande, ou seja, a equação não estava adequada. Então, decidiu-se usar os valores de tensão, convertê-los para graus centígrados na relação de 1 °C/V, e compará-los com os da tabela 7 para obter a velocidade de vento.

- Como no sensor de luminosidade, foram medidos três pontos e comparados com os valores da tabela 7. Os resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Dados do sensor de velocidade do vento

Anemômetro de Referência	Valor de referência TQuente-TFrio da Tabela 7		Valor medido para TQuente-TFrio
(m/s)	(m/s)	(°C)	(°C)
0	Sem referência	Sem referência	1,04
2,4	2,5	2,19	2,17
3,5	3,5	2,56	2,52

Esses resultados, a princípio, são muito bons, porém cabe uma certa prudência, carecendo de uma caracterização feita em local onde se possa controlar o fluxo de ar e com equipamentos mais precisos. Matematicamente, é possível medir fluxos de ar com menos de 0,5 m/s. Para isso podemos alterar os amplificadores do circuito.

Uma característica apresentada pelo sensor construído e que pode ser uma desvantagem é a sua capacidade térmica. Essa capacidade aliada à resistência térmica, como em um circuito elétrico RC, faz com que a resposta do circuito seja lenta. Para diminuir o tempo de resposta, tem-se que reduzir a capacidade térmica, que está relacionada com a massa e o tipo de material utilizado. As dimensões podem ser alteradas de modo que as resistência e capacidade térmicas sejam modificadas para tornar a resposta do sensor mais rápida.

Quanto ao sensor de concentração de CO<sub>2</sub> utilizado não houve como levantar nenhuma característica pois não existia medidor de CO<sub>2</sub> que pudesse ser usado como referência. Para testar se estava medindo ou não bastou soprar sobre ele, para aumentar a concentração de gás carbônico ao seu redor. Quando se faz isso ocorre uma variação na tensão de saída do circuito, indicando seu correto funcionamento. Por não haver como caracterizá-lo, a leitura é feita em tensão, e não em concentração de CO<sub>2</sub>. O aumento da tensão indica aumento da concentração de gás carbônico, porém essa relação não é linear.

## 4.2 Avaliação da rede

Depois de avaliados os sensores, os módulos foram colocados para se comunicarem, neste momento, diversos problemas apareceram.

Alguns problemas construtivos apareceram nas placas de processamento. Quando colocadas na horizontal, sobre a superfície da mesa, apresentavam maus contatos e faziam com que os microcontroladores reiniciassem. A solução para isso seria melhorar a qualidade da confecção das placas visto que o método utilizado e explicado anteriormente é muito artesanal e impreciso. A solução utilizada foi manter as placas na vertical, evitando-se novas construções, pois não havia como garantir que essas novas construções evitariam estes problemas, pois se utilizaria o mesmo processo, visto tratar-se de protótipos.

“Solucionados” estes primeiros problemas, foram feitas as correções de software, para que a comunicação ocorresse.

Os módulos transceptores TRW-24G apresentaram um bom desempenho. O que dificultou sua instalação foi a tensão de operação. As unidades de processamento foram projetadas para trabalharem com 5 V e 12 V, isto forçou a construção de um regulador de tensão de 3 V que foi construído com o LM317 pois o TRW-24G opera com esta tensão e utiliza comunicação bidirecional. A dificuldade foi acoplar a linha bidirecional sem utilizar circuitos integrados de interfaceamento. Nas linhas de entrada do TRW-24G foram utilizados divisores de tensão para reduzir os 5 V do microcontrolador para os 3 V do TRW-24G. As linhas de saída do TRW-24G foram ligadas diretamente no microcontrolador, já que este é capaz de reconhecer 3 V como nível lógico “1”. A linha de dados, bidirecional, foi ligada por um divisor de tensão formado por um resistor de 22 k $\Omega$  ligado do pino do microcontrolador ao pino do TRW-24G. Do pino do TRW-24G ao terra foi ligado um resistor de 33 k $\Omega$ , para completar o divisor. Isto reduz os 5 V provenientes do microcontrolador para os 3 V para o TRW24-G. Para o sinal do TRW24-G chegar ao microcontrolador, ligou-se um diodo 1N914 em paralelo com o resistor de 22 k $\Omega$ , no sentido TRW – microcontrolador. O diodo desta forma elimina o resistor e só diminui a tensão de transmissão de dados em 0,5 V aproximadamente. O microcontrolador também entende que 2,5 V é nível alto, e a comunicação pode estabelecer-se.

Corrigidos os defeitos de hardware e software, a rede funcionou. Durante os testes o Sensor Básico 1 teve seu transceptor queimado. Mas a rede continuou funcionando com o Sensor Básico 2 e o Sensor Completo. Isto evidencia a vantagem de redes com múltiplos nós.

Os Módulos Sensores envolvidos recebem do Módulo Concentrador o comando de aquisição. Os Módulos Sensores fazem a aquisição dos dados e os enviam para o Concentrador. O Concentrador calcula a temperatura média e umidade média. Foi considerado o manual de criação do frango Avian48, distribuído pela Granja Planalto. Escolheu-se a idade de 25 a 30 dias, onde a temperatura e umidade ideais são, respectivamente 24 °C e 70 % de UR. Se a temperatura média ultrapassar 25 °C, os ventiladores são ligados. Se ultrapassar 26 °C, os nebulizadores são ligados. Os ventiladores serão desligados se a temperatura for menor que 23°C e os nebulizadores, se a temperatura for menor que 25 °C. Caso a umidade ultrapasse 75 % e os nebulizadores estejam ligados, estes serão desligados. Caso a umidade seja menor que 65% os nebulizadores são ligados e se desligam a 75 % de umidade. Quanto a iluminação, as lâmpadas são acesas as 4:00h e sempre que ela for menor que 22 Lux, e serão apagadas as 21:00h ou quando a luminosidade for maior que 30 Lux.

O manejo de cortina não foi programado.

Toda essa programação pode ser modificada, e uma tabela pode ser inserida para que o controle seja feito pela idade do frango. Do primeiro ao último dia.

Depois de testadas todas as condições acima, o Concentrador envia a mensagem de comando para o Módulo Acionador, que ativa ou desativa os circuitos correspondentes e depois envia uma mensagem para o Módulo de Comunicação, com as médias de temperatura e umidade, Temperatura de Globo Negro, Luminosidade, Velocidade do Vento e Concentração de CO<sub>2</sub>. O Módulo de Comunicação repassa esta informação para o computador, onde é visualizada.

## 5 CONCLUSÃO

Embora não tenha sido possível montar o protótipo para testes em campo, onde se testaria a robustez e durabilidade do sistema, os testes em laboratório apresentaram bons resultados. Atendendo ao objetivo proposto, o sistema mede grandezas importantes para a ambiência, fazendo comunicação sem-fio, e permitindo que os dados sejam visualizados em um ambiente distante do monitorado.

Estes tipos de sistemas podem ajudar muito no desenvolvimento de pesquisas com animais, pois evita a entrada de pessoas estranhas e que fogem da rotina das instalações de criação, evitando estresses desnecessários e que possam influenciar no desempenho produtivo e, conseqüentemente, nos resultados das pesquisas.

Aliando à coleta de dados Módulos de Controle, o ambiente pode ser controlado com muita eficiência, diminuindo alguns erros de manejo e permitindo que a mão-de-obra seja liberada para atividades mais importantes.

Por ser um sistema aberto e programável, muitos outros tipos de controles podem ser implementados, tais como peso médio do lote (distribuindo balanças pelo galpão que se comuniquem com o sistema), distribuição de ração por horário ou peso de comedouro, monitoramento da quantidade de ração no silo (informando ao escritório quando estiver próximo a um determinado limite), ligamento e desligamento de grupos geradores no caso de falhas na rede elétrica, etc...

As possibilidades para o uso destas redes de sensores e atuadores passam a ser imensas, cabendo ao usuário definir as suas necessidades para que a programação e escolha dos sensores e dos atuadores sejam feitas e adequadas a estas necessidades.

Ainda há muito a ser melhorado e pesquisado mas espera-se que esta pequena contribuição sirva de fonte de consulta e estímulo ao desenvolvimento de redes cada vez mais eficientes de coleta de dados e controle.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido à dimensão do tema estudado, muitas sugestões podem ser dadas, tais como:

- Desenvolvimento de novos sensores que sejam calibrados na fabricação, de fácil utilização, pequeno tamanho, baixo consumo e que trabalhem com tensões baixas, por exemplo 3 V. Isto facilitaria a alimentação por baterias.
- Desenvolvimento de protocolos de comunicação eficientes energeticamente, visando utilização com sistemas alimentados por baterias.
- Desenvolvimento de protocolos que permitam a constante entrada e saída de sensores e atuadores do sistema.
- Desenvolvimento de protocolos que permitam a configuração de cada nó pertencente à rede a partir de uma unidade central.
- Utilização de redes de sensores e atuadores para melhoria da eficiência energética de instalações agropecuárias.
- Caracterização do sensor de velocidade de vento apresentado em túnel de vento.

Outras aplicações podem ser desenvolvidas, tanto para o setor agropecuário, como para a indústria, comércio e serviços, tornando infinitas estas aplicações.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Abreu, V.M.A. & Abreu, P.G.. **Diagnóstico Bioclimático para Produção de Aves na Mesorregião Centro Sul Baiano**. EMBRAPA SUÍNOS E AVES, DEZEMBRO DE 2003
- ASAE Standars** 1995. 45° ed. St. Joseph, ASAE, 1995. EP270.5 DEC94.
- Azevedo, Marluce A. de & Nascimento, José Wallace B. do **.Estrutura de madeira para cobertura de aviários no estado da Paraíba**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Sept./Dec. 1999, vol.3, no.3, p.385-390. ISSN 1415-4366.
- Baêta, F.C., Souza, C.F., **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. 1997. UFV, Viçosa. 246 p.
- Baptista, F.J., Meneses, J.F. **Natural Ventilation of animal housings**. 1997. Notas de aula. Universidade de Évora, 3 p.
- Barnwell, R.; Rossi, A. **Maximização da Performance em Períodos Quentes**. **Avicultura Industrial**, n. 11, ano 94, ed. 1107, p. 72-80, 2003.
- Bottcher, R., Bisesi, P. **Hot weather management of broiler housing: increasing night-time use of mixing fans**. 1993, NC Alternative Energy Corporation, North Carolina. 4p.
- Bueno, Leda G. de F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frango**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 100p. Dissertação de Mestrado.
- Carr, L.E.; Nicholson, J.L. **Broiler responses to three ventilation rates**. 1980. Transactions of ASAE. St. Joseph, MI. 23, 02, p. 414- 418.
- Cunha, Daniel de O. **Seminário sobre Dissipadores**. Grupo de Teleinformática e Automação, 2001, UFRJ. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/~doc/dissipadores.pdf>, em 10/03/2008.

- Curtis, S.E., **Environmental management in animal agriculture**. 1987. Iowa State University press. 403 p.
- Czarick, M., Lacy, M. P., **Performance of tunnel-ventilated broiler houses with misting nozzles**. 1991. Paper n°: 914562. St. Joseph, ASAE, 14 p.
- Daghir, N.J. **Poultry production in hot climates**. 1995. Oxon, CAB International, 303 p.
- Darre, M. J., Harrison, P.C. **Heart rate, blood pressure, cardiac output, and total peripheral resistance of single comb white leghorn hens during an acute exposure to 35 °C ambient temperature**. In: Poultry Science. 1987. 66, p. 541-547.
- Emmans, G.C., **A Model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry**. 1981. Occasional publication, 5, British Society of Animal Production, 7 pp.
- Ernst, R. A. **Housing for Improved Performance in Hot Climates**. 1995 In Poultry Production. Ed. CAB INTERNATIONAL, Wallingford. 346 p.
- Freeman, B.J. **The domestic fowl in biomedical research: physiological effects of the environment**. World's Poultry Science Journal, 1988. 44:44-60p.
- Furtado, D. A; de Azevedo, P. V.; Tinoco, I. F. F. **Análise do conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de acondicionamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.559-564, 2003 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>
- Furtado, D.A.; Azevedo, P.V.; Santos Jr., R.L.; Assis, P.C.O. **Parâmetros de conforto térmico para produção animal nas mesorregiões do Estado da Paraíba**. In. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Foz de Iguaçu. Anais... Foz de Iguaçu: SBMET, 2002. CD-Rom
- Gates, R.S., Zhang, H., Colliver, D.G., Overhults, D.G. **Regional variation in temperature humidity index for poultry housing**. 1995. Transactions of ASAE, 38, 1, p. 197-205.

Givoni, M. Man, **climate and architecture**. 1980. Amazon. New York, 551 p.

Hardoin, P.C. **Estudo do lanternim em instalações avícolas**. Viçosa: UFV, 1989. 69p.  
Dissertação Mestrado

Harrison, P. C. **O Estresse calórico nas aves: fisiologia e conseqüências**. in: Simpósio internacional sobre ambiência e instalação na avicultura industrial. 1995, Campinas, Textos, 1995, Campinas, p. 25-32.

Hellickson, M.A., Walker, J.N. **Ventilation of agricultural structures**. 1983. St. Joseph. ASAE. 371.

<http://www.avisite.com.br/noticias/noticias.asp?codnoticia=9504> em 28/10/2008

Jordan, Rodrigo A. & Tavares, Maria H. F. **Análise de diferentes sistemas de iluminação para aviários de produção de ovos férteis**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.3, p.420-423, 2005 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>

Loureiro, A. A. F., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., de Freitas Mini, R. A., Nakamura, E. F., and Figueiredo, C. M. S. . **Redes de sensores sem fio**. In Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, pages 179 . 226, 2003

Macari, M., Furlan, R.L., Gonzales, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 1994, Jaboticabal, FUNEP, 296 p.

Marcolin, Lucas V., Garaffa, Michel e Gai, Vivian F. **Influência de diferentes programas de iluminação sobre a mortalidade de frangos de corte em aviários dark house**. Revista Cultivando o Saber, v.1, n.1, p.43-50, Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, PR, 2008.

Mitchell, M.A. **Some Physiological Effects of Environmental Temperature Upon Poultry**. Proceedings of the Third International Poultry Buildings Conference. 1987. Pp. 24-25.

Monteith, J.L., Mount, L.E. **Heat loss from animals and man – assessment and control**. 1974, London, Butterworths, 459 p.

- Moraes, V.M.B, Malheiros, R.D., Brognoni, E., Furlan, R.L.L, Lucas Jr, J., Macari, M.  
**Efeito da energia da dieta e densidade populacional sobre a carga térmica radiante de frangos de corte criados no inverno e verão.** In: Revista Brasileira de Ciência Avícola, FACTA, suplemento 2 (2000), Campinas. p. 66.
- Moura, D. J. **Ambiência na Produção de Aves de Corte.** In: SBEA. *Ambiência na Produção de Aves em Clima Tropical.* 1 ed. Piracicaba-SP, Iran José Oliveira da Silva- NUPEA-ESALQ/USP, 2001, v. 2, p. 75-148.
- Nääs, I.A. **Estresse calórico: meios artificiais de condicionamento.** in: Simpósio internacional sobre ambiência e instalação na avicultura industrial. 1995, Campinas, Textos, 1995, Campinas, p. 109-112. (a)
- Naas, I.A. **Ventilação e climatização para frangos de corte.** 1997. Conferência Apinco de ciência e tecnologia avícolas. Anais, São Paulo, FACTA, Campinas, p. 113 – 119. (a)
- Nääs, I.A., Moura, D.J., **Avaliação da eficiência térmica de instalações avícolas com diferentes orientações através de modelos em escala reduzida e distorcida.** 1997, São Paulo, Trabalhos de Pesquisa, FACTA, Campinas, 1997, p.32.(b)
- Nääs, I.A.; Sevegnani, K.B.; Marcheto, F.G.; Espelho, J.C.C.; Menegassi, V.; Silva, I.J.O. **Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.21, n.2, p.121-126, 2001.
- Perdomo, C.C. **Mecanismos de aclimatização de frangos de corte como forma de reduzir a mortalidade no inverno e verão.** In: Simpósio Internacional sobre Instalações e Ambiência, 1998, Campinas. Anais... Campinas. p.229-240, 1998.
- Rossi, P.R. **Sistemas de climatização de instalações avícolas;** Simpósio Internacional sobre Ambiência e Sistemas de Produção Avícola, 28 a 29 de outubro de 1998, Concórdia-SC, p. 1- 6, Anais.



- Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S., Loureiro, A. A. . **Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems**, volume 1, chapter III: Sensor Network Management. CRCPress., 2004
- Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S., Loureiro, A. A. F. . **Functional and information models for the MANNA architecture**. GRES03 - Colloque Francophone sur la Gestion de Reseaux et de Services, pages 455-470, 2003
- Ruiz, L. B.. **MANNA: Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.
- Ruiz, Linnyer B. ; Correia, Luiz Henrique A.; Vieira, Luiz Filipe M.; Macedo, Daniel F.; Nakamura, Eduardo F.; Figueiredo, Carlos M. S.; Vieira, Marcos Augusto M.; Bechelane, Eduardo H.; Camara, Daniel; Loureiro, Antonio A.F.; Nogueira, José Marcos S.; Silva Jr., Diógenes C. da; Fernandes, Antônio O.. **Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio**, disponível em <http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/publications/04mc-sbrc.pdf> , em 05/03/2008.
- Santin, A. **Criação de frangos de corte com alta densidade**. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS. 1996, Curitiba, Anais, FACTA, Campinas, 1996, p. 119-133.
- Sevegnani, Kelly B. **Avaliação dos efeitos fisiológicos causados pela ventilação artificial em frangos de corte, em dispositivos de simulação climática**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 106p. Tese de Doutorado
- Silva, A.; Nääs I. A. **Equipamentos para aquecimento e refrigeração**. In: Produção de frangos de corte, Anais, Campinas, Facta, p. 85-94, 2004.
- Simmons, J.D., Deaton, J.W., **Research note: Evaporative cooling for increased production of large broiler chickens**. 1989 In: Poultry Science. 68, p.839-841.

- Simmons, J.D., Lott, B.D., May, J.D. **Heat loss from broiler chickens subjected to various wind speeds and ambient temperatures.** Information Article.
- Teeter R. G.; Belay, T. **Broiler water balance and thermoneutral and high ambient temperature exposure.** Poultry Sci., 72: 116-124, 1993.
- Timmons, M.B., Hillman, P.E. **Partitional heat losses in heat stressed poultry as affect by wind speed.** in: **Livestock environment**, 1993, Coventry, Anais, ASAE, St. Joseph, 1993. p. 265.
- Tinôco I. F. F. **Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros.** Rev. Bras. Cienc. Avic. vol.3 no.1 Campinas Jan./Apr. 2001
- Tinôco, I.F.F. **Efeito de diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono.** Belo Horizonte: Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais. 1996. 173p. Tese Doutorado.
- Tinôco, I.F.F. **Produção avícola em clima tropical.** Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Viçosa, 1997. 37p.
- Tinôco, I. F.F. **Ambiência e instalações para avicultura industrial.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, e Encontro Nacional de Técnicos, Pesquisadores e Educadores de Construções Rurais, 3, 1998, Poços de caldas, MG. Anais...Lavras: UFLA/SBEA, 1998, p. 1-86.
- Vladimirova, S.V., Bucklin, R. A, Mcconnell, D.B. **Influence of shade level, wind velocity, and wind direction on interior air temperatures of model shade structures.** 1996. Transactions of ASAE, St. Joseph, MI, 39, 5, p.1825-1830.
- Wiernusz, C., **Terapias nutricionales para optimizar la produccion avicola durante periodos de altas temperaturas y humedades.** 1998. Boletin tecnico Cobb-Vantress, 06, 2 6 p.

- Xin, H., Berry, I.L., Tabler, G.T. **Minimum ventilation requirement and associated energy cost for aerial ammonia control in broiler houses.** 1996. Transactions of ASAE, St. Joseph, MI, 39, 2, p. 645-648.
- Yahav, S., Plavnik, I., Rusal, M., Hurwitz, S. **Response of turkeys to relative humidity at high ambient temperature.**1998. In: British Poultry Science. 39, p. 340-345.
- Zhang, Y., Barber, E.M. **Variable ventilation rate control below the heat-deficit temperature in cold-climate livestock buildings.** 1993. Transactions of ASAE, 1993, 36, 5, p. 1473-1482.
- Zou, W. T., Yamamoto, S. **Effects of environmental temperature and heat production due to food intake on abdominal temperature, shank skin temperature and respiration rate of broilers.** 1997. In: Poultry Science. 38, p.107-114