

THIAGO CRUZEIRO RUEDA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DO NÍVEL DE POEIRA BASEADO EM
MICROCONTROLADOR**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

THIAGO CRUZEIRO RUEDA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DO NÍVEL DE POEIRA BASEADO EM
MICROCONTROLADOR**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de Concentração:

Automação

Orientador:

Prof. Luciano Mendes dos Santos

Co-orientador:

Prof. Giovanni Francisco Rabelo

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca
Central da UFLA**

Rueda, Thiago Cruzeiro

Controle Automático do Nível de Poeira Baseado em Microcontrolador. Lavras –
Minas Gerais, 2005. 52 páginas.

Monografia de Graduação – Universidade Federal de Lavras. Departamento de
Ciência da Computação.

1. Introdução. 2. Gestão Ambiental. 3. Controle e Instrumentação. I. RUEDA, T.
C. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

CDD

THIAGO CRUZEIRO RUEDA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DO NÍVEL DE POEIRA BASEADO EM
MICROCONTROLADOR**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 4 de julho de 2005.

Prof. Giovanni Francisco Rabelo

Antonio Elizeu da Rocha Neto

Prof. Luciano Mendes dos Santos
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

Dedico esse trabalho à minha mãe Ozaina e ao meu irmão Alexandre, que me apóiam em todos os momentos da minha vida.

Agradecimentos

Ao mestre Jesus, muito obrigado.

Agradeço ao Professor Luciano Mendes pela excelente orientação durante todo o trabalho realizado.

Agradeço a Dulce e Danilo pelo grande apoio que me deram aqui em Lavras, aos meus amigos Sérgio, Victor e Rooveth que moram comigo e estarão presentes na minha vida para sempre, ao grande apoio da minha família que tornou possível estar presente aqui hoje.

Resumo

No intuito de aprimorar o combate ao efeito da poeira sedimentável, o presente trabalho teve por objetivo criar um sistema que pretende automatizar o controle do nível de poeira, podendo ser empregado em mineradoras, silos, armazéns, entre outros. Onde foi desenvolvido em laboratório um protótipo, utilizando um sensor infravermelho (IR) e o microcontrolador Basic Step I. Ao passo que o sensor IR faz a identificação da poeira, o microcontrolador interpreta o sinal emitido pelo sensor e faz, de forma simulada, o controle do sistema de irrigação, que atuaria de forma a não deixar gerar a poeira.

Abstract

In intention to improve the combat to the effect of the dust, the present work had for objective to create an one system that it intends to automatize the control of the dust level, being able to be used in mining, silos, warehouses, among others. Where an archetype was developed in laboratory, using a sensory infra-red ray (IR) and microcontroller BASIC Step I. To the step that the sensor IR makes the identification of the dust, the microcontroller interprets the signal emitted for the sensor and makes, of simulated form, the control of the irrigation system, that would act of form not to leave to generate the dust.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Visão Geral.....	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Escopo do Trabalho.....	2
2 GESTÃO AMBIENTAL.....	3
2.1 ISO 14000.....	3
2.2 Poeira no Ambiente de Trabalho.....	4
3 CONTROLE e INSTRUMENTAÇÃO.....	5
3.1 Princípios para Projetos de Sistemas de Controle.....	5
3.2 Controle Automático.....	7
3.3 Instrumentação.....	8
4 TECNOLOGIA.....	9
4.1 Sensores Eletrônicos.....	9
4.1.1 Fotodetectores.....	10
4.2 Microcontroladores e Microprocessadores.....	12
4.2.1 Microcontrolador <i>BASIC Step I</i>	14
4.3 Amplificadores Operacionais.....	19
4.3.1 O CA3140.....	21
4.4 Transistor.....	21
4.5 Relé.....	26
5 Materiais e Métodos.....	30
5.1 Procedimento Metodológico.....	30
5.1.1 Material e Equipamento.....	30
5.2 Desenvolvimento.....	32
5.2.1 Funcionamento.....	35
6 Resultados e Discussões.....	38
7 Conclusão.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Símbolo do fotodiodo e circuito receptor.....	11
Figura 4.2: Símbolo do fototransistor e circuito receptor.....	11
Figura 4.3: Arquitetura básica de um microcontrolador.....	12
Figura 4.4: Foto do <i>BASIC Step 1</i>	15
Figura 4.5: Pinagem do <i>BASIC Step 1</i>	15
Figura 4.6: Interface do compilador para o <i>BASIC Step 1</i>	16
Figura 4.7: Placa StepLab da Tato Equipamentos Eletrônicos.	17
Figura 4.8: Cabo de gravação do <i>BASIC Step 1</i> com o PC através dos conectores DB9 e DB25.....	18
Figura 4.9: Layout de ligação do <i>BASIC Step 1</i> a um microcomputador.	18
Figura 4.10: Símbolo elétrico de um Amplificador Operacional.	19
Figura 4.11: Diagrama do amplificador não-inversor.	20
Figura 4.12: Estrutura básica e simbologia do transistor pnp e npn.....	22
Figura 4.13: Polarização do transistor npn.....	23
Figura 4.14: Fluxo da corrente no transistor pnp	23
Figura 4.15: Fluxo da corrente no transistor npn	24
Figura 4.16: Fluxo da corrente no transistor pnp	26
Figura 4.17: Estrutura simplificada de um relé	26
Figura 4.18: Contatos fechados, abertos e comutados do relé	27
Figura 4.19: Exemplo de relé com contato simples.....	28
Figura 4.20: Contatos fechados, abertos e comutados do relé	28
Figura 5.1: Display LCD serial 16x2.....	31
Figura 5.2: Protoboard com alimentação	31
Figura 5.3: Multímetro Digital	31
Figura 5.4: Osciloscópio de 20 MHz.....	32
Figura 5.5: Gerador de funções de varredura.....	32
Figura 5.6: Fonte de Alimentação	34
Figura 5.7: Placa de circuito integrado do sistema de controle automático de poeira ...	35

Figura 5.8: Diagrama do Sensor IR	36
Figura 5.9: Protótipo do sistema de controle automático de poeira	37
Figura 5.10: Interface do Sistema.....	37
Figura 6.1: Teste do sensor usando pó de giz branco	38
Figura 6.2: Explosão de silo	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Alguns microcontroladores encontrados no mercado.	12
Tabela 4.2: Exemplos de processadores e seus fabricantes.	14
Tabela 4.3: Algumas das principais características do CA3140.	21

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral

A mineração tem importância para a história da humanidade, fornecendo um grande número de bens minerais, matérias primas e insumos, que são imprescindíveis ao progresso e desenvolvimento das civilizações. Todavia, associados à mineração existem problemas ambientais tanto no meio interno à mina como no meio externo. No âmbito interno à mina, os problemas fazem parte do campo de estudo da segurança e higiene do trabalho e no âmbito externo das avaliações de impacto ambiental.

No Brasil, os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em quatro categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, e subsidência do terreno. Sendo focada a categoria poluição do ar neste trabalho.

A contribuição da mineração para a poluição do ar é principalmente uma poluição por poeira. A poluição por gases a partir da mineração é pouco significativa, e em geral se restringe à emissão dos motores das máquinas e veículos usados na lavra e beneficiamento do minério. Podemos distinguir dois tipos de poeira: a poeira em suspensão formada de partículas menores que 10 micrometros e que permanecem muito tempo no ar e a poeira sedimentável que são partículas maiores que 10 micrometros e que ficam pouco tempo no ar. A maior parte da poeira produzida pela mineração é poeira sedimentável, mas torna-se também poeira em suspensão. Embora a poeira sedimentável seja o menos grave dos problemas de poluição do ar, junto com alguma poeira em suspensão que sempre se forma, pode representar um problema local que requer atenção e cuidados especiais [FONSECA, 2003].

Contudo a poeira gerada no processo produtivo ou de transporte de materiais pelas empresas mineradoras é um dos maiores agentes agressores ao meio ambiente. Atualmente as minerações estão utilizando sistemas de irrigação por aspersão nas estradas sem pavimentação e nas áreas de armazenamento para moagem, que através de bicos aspersores é feita a borrifação da água nesses locais, a fim de diminuir a poeira sedimentável e em suspensão. Os métodos mais utilizados são aspersores de irrigação, instalados ao longo das estradas sem pavimentação, ligados aos controladores temporizadores utilizados em irrigação de jardins. Nos sistemas atuais independente de se ter caminhões na estrada ou não provocando poeira, o sistema inicia a irrigação. E

sendo o sistema todo baseado por tempo numa configuração pré-estabelecida pelo usuário, caso o local tenha muita poeira, diminuir-se-á o intervalo de irrigação ou o tempo de irrigação será aumentado, o que gera inconvenientes oriundos da grande quantidade de água despejada nas estradas [IRRICOM, 2004].

Essas aplicações são desfavoráveis quando não se tem poeira, porque além do alagamento das estradas, se tem um gasto desnecessário de água. E considerando que grandes estradas demandam grande quantidade de água para diminuir a poeira, o desperdício desta pode vir a causar um impacto ambiental considerável.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo controlar automaticamente o nível de poeira sedimentável, podendo ser aplicado em mineradoras, silos, armazéns, entre outros. E para isso será feito um protótipo de um sistema, utilizando sensor infravermelho (IR) e microcontrolador, que terá a finalidade de controlar automaticamente o nível de poeira.

1.3 Escopo do Trabalho

Os Capítulos 2, 3 e 4 mostram o referencial teórico necessário ao entendimento do desenvolvimento deste trabalho.

O Capítulo 5 descreve os materiais e métodos utilizados, os passos necessários à execução deste projeto e todo o seu processo de desenvolvimento.

O Capítulo 6 apresenta os resultados alcançados e algumas discussões sobre os mesmos.

No Capítulo 7 é descrita a que conclusão chegou-se com este trabalho e, por fim, o último Capítulo mostra a bibliografia citada, onde foi obtido todo o referencial para melhorar o entendimento sobre o assunto e elaborar o trabalho.

2 GESTÃO AMBIENTAL

2.1 ISO 14000

A ISO 14000 é uma norma elaborada pela International Standards Organization com sede em Genebra, na Suíça, que reúne mais de 100 países com a finalidade de criar normas internacionais. Cada país possui um órgão responsável por elaborar suas normas. No Brasil temos a ABNT, na Alemanha a DIN, no Japão o JIS, etc. A ISO é internacional e por, essa razão, o processo de elaboração das normas é muito lento, pois leva em consideração as características e as opiniões de vários países membros. Todo o processo de elaboração da ISO 14000 foi semelhante ao que aconteceu com a ISO 9000 - Normas para o Sistema de Garantia da Qualidade.

Na verdade, é um erro dizer que uma empresa recebeu o certificado ISO 9000, pois não existe certificação baseada nessa ISO, mas sim, na 9001, 9002 ou 9003. A ISO 9000 estabelece as diretrizes para selecionar qual norma deve ser usada em determinada empresa, enquanto que a ISO 9001, 9002 e 9003 são as normas que determinam quais são as especificações/requisitos que as empresas deverão seguir e atender para que possam obter a certificação através de auditoria realizada por um organismo Certificador. A ISO 14000 segue a mesma sistemática, ou seja, não haverá certificação ISO 14000, mas, sim, uma certificação baseada na 14001, norma da família ISO 14000 que permitirá ter um certificado de Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA).

A ISO 14000 - Sistema de Gestão Ambiental - Especificações com Guia para uso, estabelece requisitos para as empresas gerenciarem seus produtos e processos para que eles não agredam o meio ambiente, que a comunidade não sofra com os resíduos gerados e que a sociedade seja beneficiada num aspecto amplo.

E uma das exigências para a empresa obter um certificado ISO 14000, ou melhor, certificado ISO 14001 é a de Monitoramento e avaliação, ou seja, a organização deve ter um programa para medir o desempenho ambiental através da inspeção das características de controle ambiental e calibração dos instrumentos de medição para que atendam aos objetivos e metas estabelecidos [ISO, 2002].

2.2 Poeira no Ambiente de Trabalho

Poluentes atmosféricos, como pó de rocha, são produzidos principalmente por operações de perfuração, de extração de mineral, carregamento, britagem de pedra ou de mineral e explosões. Pessoas excessivamente expostas à poeira respirável, durante longos anos, podem adquirir doenças pulmonares crônicas, por exemplo, a silicose que é a formação de cicatrizes permanentes nos pulmões provocadas pela inalação do pó de sílica durante muitos anos. A sílica é o principal constituinte da areia, por essa razão, a exposição a essa substância é comum entre os trabalhadores de minas de metais, os cortadores de arenito e de granito, os operários de fundições e os ceramistas. Normalmente, os sintomas manifestam-se somente após vinte a trinta anos de exposição ao pó.

Porém na medida do possível, deve-se evitar o escapamento de poeira para a atmosfera, especialmente em regiões de pouca ventilação.

Segundo [MANFRED, 2003] a poeira deve ser controlada ou eliminada:

- Com uso de técnicas de perfuração úmida.
- Como o uso de pulverização de água em operações de extração, carregamento e britagem mineral.

Em geral toda superfície rochosa trabalhada deve ser molhada para reduzir o escapamento de pó para a atmosfera.

Quando essas medidas de controle não são tomadas ou desenvolvidas, os mineiros expostos a excessivas concentrações de poeira em seu ambiente de trabalho devem estar sempre munidos de equipamento de proteção individual, como máscaras para se proteger da inalação de poeira, evitando o desenvolvimento de doenças como a silicose, que é a formação de cicatrizes permanentes nos pulmões provocada pela inalação do pó de sílica. A silicose, a mais antiga doença ocupacional conhecida, ocorre em indivíduos que inalaram pó de sílica durante muitos anos. A sílica é o principal constituinte da areia, e, por essa razão, a exposição a essa substância é comum entre os trabalhadores de minas de metais, os cortadores de arenito e de granito, os operários de fundições e os ceramistas. Normalmente, os sintomas manifestam-se somente após vinte a trinta anos de exposição ao pó.

3 CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO

3.1 Princípios para Projetos de Sistemas de Controle

O termo controle refere-se especificamente a tipos de interações homem-máquina. E controle automático envolve máquinas somente. Controle pode ser definindo genericamente como sendo o processo de fazer com que uma variável do sistema atinja algum valor desejado, chamado valor de referência [FRANKLIN, 1994].

[OGATA, 1996] defende que a abordagem básica para o projeto de qualquer sistema de controle prático envolve, necessariamente, procedimentos de tentativa e erro. A síntese de sistemas de controles lineares é teoricamente possível, e o engenheiro de controle pode determinar sistematicamente os componentes necessários para desempenhar uma dada função e atingir o objetivo desejado. Na prática, entretanto, o sistema pode estar sujeito a muitos vínculos ou pode ser não linear, e, nestes casos, não existe nenhum método de síntese disponível até o presente. Além disso, as características dos componentes podem não ser conhecidas com precisão. Consequentemente, procedimentos de tentativa e erro sempre são necessários.

Na prática quase sempre são encontradas situações onde é fornecida uma planta, e o engenheiro de controle deve projetar o resto do sistema de modo que o conjunto apresente as especificações desejadas desempenhando uma dada tarefa. Note que as especificações devem ser interpretadas em termos matemáticos.

É importante lembrar que algumas das especificações podem não ser realistas. Neste caso, as especificações devem ser revistas nos estágios iniciais do projeto.

Segundo [OGATA, 1996] em muitos casos o projeto de um sistema de controle se desenvolve de uma maneira tal que o projetista inicia o procedimento do projeto conhecendo as especificações ou índice de desempenho, a dinâmica da planta fornecida e a dinâmica dos componentes; este último envolve parâmetros do projeto. O projetista de controle aplica então, técnicas de síntese, se disponíveis, juntamente com outras técnicas a fim de elaborar um modelo matemático do sistema.

Após haver sido completado o projeto matemático, o projetista de controle simula um modelo em um computador a fim de testar o comportamento do sistema resultante em resposta a vários sinais e distúrbios. Normalmente, a configuração do sistema inicial não é satisfatória. No sistema deve então ser projetada e efetuada a

análise correspondente. Este procedimento de projeto e análise é repetido até ser obtido um sistema satisfatório. Pode então ser construído um sistema físico como protótipo.

Uma vez formulado o problema do projeto em termos deste modelo, o engenheiro desenvolve um projeto matemático que fornece a solução da versão matemática do problema do projeto. E neste estágio, é importante a simulação do modelo matemático em um computador. Notando que a teoria de controle ótimo é muito útil neste estágio de projeto porque fornece o limite superior do desempenho do sistema para um dado índice de desempenho.

Para este procedimento construir um protótipo fica sendo o inverso daquele utilizado na modelagem. O protótipo é um sistema físico que representa o modelo matemático com precisão razoável. Uma vez que o protótipo foi construído, o engenheiro o testa a fim de verificar se é ou não satisfatório. Se for, o projeto está concluído. Em caso contrário, o protótipo deve ser modificado e testado. Este procedimento continua até o protótipo estar completamente satisfatório utilizando de uma avaliação de desempenho.

Segundo [LUYBEN, 1990] qualitativamente, o desempenho de um controlador pode ser avaliado pela sua capacidade de manter a variável controlada próximo ao setpoint (valor estabelecido), mesmo em presença de perturbações externas. Em aplicações práticas, porém, pode ser desejável "medir" o desempenho de um controlador por meio de um índice que permita buscar melhoras de desempenho.

Alguns índices sugeridos na literatura e na prática são dados a seguir. Em geral, eles consideram a resposta do controlador a uma perturbação em degrau.

Os índices podem ser descritos da seguinte forma:

- Coeficiente de amortecimento, obtido ao comparar a resposta do controlador à de um sistema de segunda ordem;
- Overshoot, ou seja, o máximo desvio do setpoint observado logo após a perturbação;
- Velocidade de resposta, definida como o tempo necessário para atingir o setpoint (não necessariamente se estabilizando no setpoint);
- Taxa de decaimento, medida como a razão entre as amplitudes de duas oscilações sucessivas;
- Tempo de resposta, considerado como o tempo a partir do qual as oscilações se limitam a certa fração da mudança de setpoint;

- Diversos índices calculados por integração de uma função do erro ao longo do tempo: ISE (integral do quadrado do erro), IAE (integral do valor absoluto do erro) ou ITAE (integral do produto entre tempo e valor absoluto do erro).

Cada critério tem suas vantagens e desvantagens, e têm fornecido material para muitas discussões na literatura. [SHINSKEY, 1994] discute os méritos relativos de diversos índices de desempenho e situações em que eles não se aplicam.

Com esses critérios é possível premiar a capacidade de levar a variável controlada para próximo do setpoint. Antes de aplicar um critério de desempenho qualquer, verifique antes se ele faz sentido para a aplicação, pelo fato de não possuir conhecimento dessa limitação analisada.

Outro aspecto não considerado nos índices de desempenho é a robustez do controlador. É possível ajustar um controlador com um excelente desempenho para perturbações pequenas, mas que seja instável quando ocorrer uma perturbação maior.

Um controlador automático compara o valor real da saída do processo com o valor desejado, determina o desvio, e produz um sinal de controle que produz o desvio a um valor nulo ou muito pequeno. A maneira pela qual o controlador automático produz o sinal de controle é denominada ação de controle.

3.2 Controle Automático

O controle automático de processo representa um papel vital no avanço da engenharia e da ciência. Além de possuir importância extrema em diversos sistemas, tornou-se uma parte integrante e importante dos processos.

Controlar um processo significa atuar sobre ele ou sobre as condições a que o processo está sujeito, de modo a atingir algum objetivo como, por exemplo podemos achar necessário ou desejável manter o processo sempre próximo de um determinado estado estacionário, mesmo que efeitos externos tentem desviá-lo desta condição. Este estado estacionário pode ter sido escolhido por atender melhor aos requisitos de qualidade e segurança do processo.

Em virtude de os processos modernos possuírem muitas entradas e saídas tornando-se mais e mais complexos, a descrição de um sistema de controle moderno exige um grande número de equações. A teoria de controle clássica, que trata apenas de sistemas de entradas simples e saídas simples, tornou-se inteiramente impotente para sistemas de múltiplas e entradas múltiplas saídas. De acordo com [HELFRICK, 1990] desde 1960, aproximadamente, a teoria de controle moderna tem sido desenvolvida para

competir com a complexidade crescente de processos modernos e requisitos rigorosos e estreitos em precisão, peso e custo em aplicações militares, espaciais e industriais.

3.3 Instrumentação

[OGATA, 1996] define a instrumentação com uma ciência que aplica e desenvolve técnicas de medição, indicação, registro e controle de processos de fabricação, visando à otimização na eficiência desses processos. A utilização de instrumentos permite:

- Desenvolver e controlar o processo;
- Aumentar a produção e o rendimento;
- Obter e fornecer dados seguros da matéria prima (poeira) e da qualidade produzida (resultados), além de ter em mãos dados relativos ao funcionamento dos processos.

4 TECNOLOGIA

4.1 Sensores Eletrônicos

Sensores são dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma forma de energia neutra, são chamados transdutores. Os de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância, sob ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle, e nos instrumentos de medição, que freqüentemente estão associados aos sistemas de controle de malha aberta (não automáticos), orientando o processo.

Os sensores eletrônicos podem ser projetados para detectar uma variedade de aspectos quantitativos de um determinado sistema físico. Tais quantidades incluem: temperaturas, luz (Optoeletrônica), campos Magnéticos, tensão, pressão, deslocamento e rotação, aceleração.

Conceitos para escolha apropriada de sensores eletrônicos, segundo [OGATA, 1996]:

1. *Linearidade*: É o grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Quanto maior, mais fiel é a resposta do sensor ao estímulo. Os sensores mais usados são os mais lineares, conferindo mais precisão ao sistema de controle. Os sensores não lineares são usados em faixas limitadas, em que os desvios são aceitáveis, ou com adaptadores especiais, que corrigem o sinal.
2. *Faixa de medida*: conjunto de valores da variável medida que estão compreendidos dentro dos limites inferior e superior da capacidade de medida ou de transmissão do instrumento. Se expressa determinando os valores extremos;
3. *Alcance*: é a diferença algébrica entre os valores superior e inferior da faixa de medida do instrumento. Por exemplo, um instrumento com faixa de medida de $0,01 \text{ mg/m}^3$ a $0,1 \text{ mg/m}^3$, possui um alcance de $0,9 \text{ mg/m}^3$.
4. *Erro*: é a diferença entre o valor medido ou transmitido pelo instrumento, em relação ao valor real da variável medida. Se tivermos o processo em regime

permanente, estável, chamaremos de "erro estático" que será positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento que poderá estar indicando a mais ou a menos. Quando tivermos a variável se alterando, teremos um atraso na transferência de energia do meio para o medidor, onde o valor medido estará geralmente atrasado em relação ao valor real da variável. Esta diferença é chamada de "erro dinâmico";

5. *Precisão*: define-se como sendo o maior valor de erro estático que um instrumento pode ter ao longo de sua faixa de trabalho. Pode ser expressa de diversas maneiras como: porcentagem do alcance, unidade da variável e porcentagem do valor medido;
6. *Sensibilidade*: é a razão entre a variação do valor medido ou transmitido para um instrumento e a variação da variável que o acionou, após ter alcançado o estado de repouso. Pode ser expressa em unidades de medida de saída e de entrada. Por exemplo, um termômetro de vidro com faixa de medida de 0°C a 500°C possui uma escala de leitura de 50 cm, portanto, a sua sensibilidade é de 0,1cm/°C;
7. *Histerese*: é a diferença máxima apresentada por um instrumento, para um mesmo valor, em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre toda a escala nos sentido ascendente e descendente;

4.1.1 Fotodetectores

Os fotodetectores são dispositivos que convertem luz num sinal elétrico. Quando o fluxo luminoso incide sobre o material semicondutor, os fótons podem fornecer aos elétrons da superfície do material energia suficiente para produzir a ruptura das ligações covalentes. Entre os dispositivos que funcionam baseados no fenômeno da fotocondutividade temos os fotorresistores, os fotodiodos e os fototransistores [INTRATOR, 1983].

Os fotodetectores mais utilizados, atualmente, nas regiões visíveis e infravermelhas próximas, são os fotodiodos e os fotorresistores. Estes dispositivos não operam no infravermelho médio ou distante, pois os fótons não têm energia suficiente para produzir pares elétron-buraco. Nessas regiões utiliza-se fotodetectores térmicos, nos quais a absorção da luz produz um aquecimento no elemento sensor e varia sua resistência elétrica.

Fotodiodos

Os fotodiodos são diodos de junção p-n. As características elétricas dos fotodiodos dependem da quantidade de luz que incide sobre a junção, por este motivo precisam de uma janela transparente à luz para que possam entrar os raios luminosos e incidir na junção p-n [INTRATOR, 1983]. Uma característica importante no funcionamento do fotodiodo denomina-se corrente escura (dark current), que é a corrente que gera o fotodiodo quando não existe luz incidente.

O fotodiodo, conforme figura 4.1, é usado como sensor em controle remoto, em sistemas de fibra óptica, leitoras de código de barras, scanner (digitalizador de imagens, para computador), canetas ópticas (que permitem escrever na tela do computador), toca-discos CD, fotômetros e como sensor indireto de posição e velocidade.

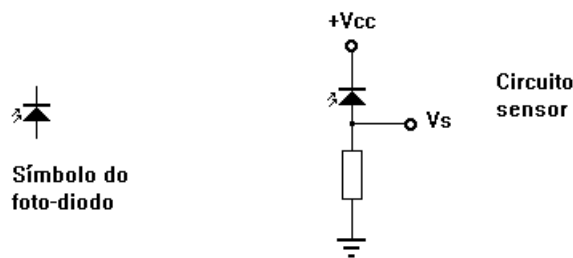


Figura 4.1: Símbolo do fotodiodo e circuito receptor

Fototransistores

Os fototransistores são constituídos basicamente de duas junções havendo uma janela que permite a incidência de luz sobre a junção base-emissor. Isto aumenta a condutividade deste diodo base-emissor, com o conseqüente aumento da corrente do coletor. A sensibilidade de um fototransistor é superior à de um fotodiodo, já que a pequena corrente fotogerada é multiplicada pelo ganho do transistor [INTRATOR, 1983].

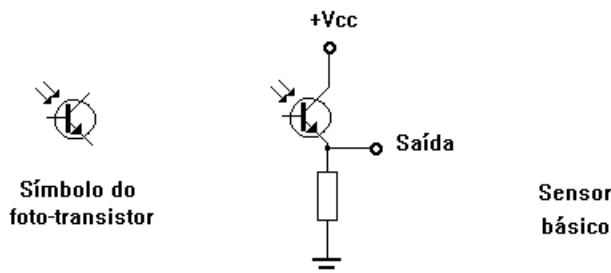


Figura 4.2: Símbolo do fototransistor e circuito receptor

4.2 Microcontroladores e Microprocessadores

De acordo com [ANGNES, 2003] microcontroladores e microprocessadores são computadores digitais que realizam operações em seqüência sem intervenção humana. As operações são programadas por um programador, que segue uma lista de instruções que compõe a linguagem de programação (Assembly, C, Java).

Com o barateamento dos circuitos integrados (CIs) e o surgimento de microprocessadores (CPUs) mais poderosos, começou-se a usar as CPUs mais simples para implementar tarefas dedicadas, tais como controle de impressora, plotter, reguladores de velocidade, acionadores de motores de passo, controladores de elevadores, etc.

Os microcontroladores ou μC 's são conhecidos como computadores embutidos em circuito integrado. Em um microcontrolador conforme mostrado na figura 4.3 podemos encontrar memória, CPU, entradas e saídas. Alguns ainda possuem periféricos como conversores A/D e D/A, comparadores. Os microcontroladores chegam a custar muitas vezes mais barato do que um transistor. Existe uma quantidade grande de μC 's no mercado, veja alguns nomes na tabela 4.1:

Tabela 4.1: Alguns microcontroladores encontrados no mercado.

Microcontrolador	Fabricante
Família 8051	Intel
PIC	Microchip
AVR	Atmel
BASIC Stamp	Parallax
BASIC Step	Tato Equipamentos

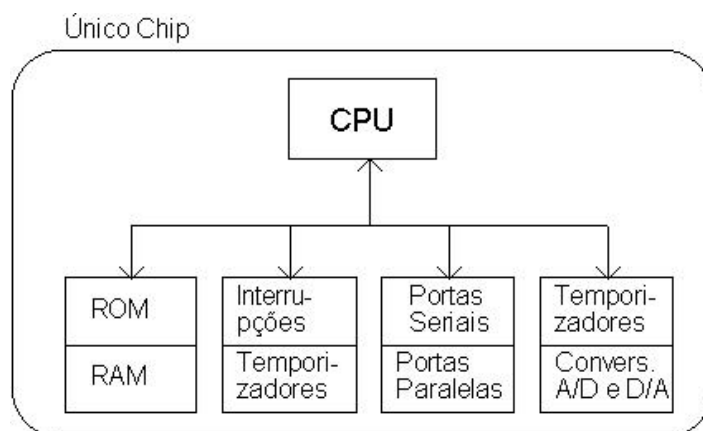


Figura 4.3: Arquitetura básica de um microcontrolador

Estas aplicações tinham o custo dependente do preço da CPU e dos periféricos (ROM, RAM, Portas, A/D, D/A, etc) e também da quantidade de conexões e do tamanho da placa. Para reduzir o custo, começou a surgir a idéia de colocar todos estes periféricos dentro do chip da CPU. Isso baratearia e diminuiria o tamanho do circuito impresso além de aumentar a confiabilidade. Por outro lado, uma CPU dedicada a um determinado controle não precisa ser muito rápida nem tampouco ter um conjunto de instruções extenso e poderoso. Não são necessárias instruções para trabalhar com ponto flutuante, com strings ou vetores e também os mecanismos de endereçamento devem ser simples. Ou seja, pode-se simplificar a CPU. Assim surgem os microcontroladores, que são simples, baratos e eficientes.

Os microcontroladores apresentam uma série de recursos incorporados dentro de um único integrado. Estes recursos aumentam com a evolução da eletrônica. Isto permite o desenvolvimento de projetos cada vez mais simples.

Os microcontroladores são específicos para controle, não tem grande capacidade de processamento e por isso não existe um computador pessoal cuja CPU seja um microcontrolador. Eles podem estar presentes em um PC, mas apenas para controlar periféricos. Os μ C's estão presentes em agendas eletrônicas, telefones celulares, alarmes, CLP's (Controladores Lógicos Programáveis), veículos, caixas eletrônicas, impressoras.

Usa-se o nome de Microcontrolador para designar dispositivos de uso genérico, mas existem vários microcontroladores que têm aplicações específicas, como por exemplo, o microcontrolador de teclado 80C51SL-BG e o controlador de comunicações universal 82C152 [ZELENOVSKY, 2000].

Entretanto o microprocessador é um circuito integrado que possui uma poderosa Unidade Central de Processamento (CPU). É o microprocessador quem processa as informações de uma memória ou de um periférico. Não é possível obter um computador somente com um microprocessador. Um exemplo clássico é o computador pessoal que agrega no interior do gabinete diversos componentes, dentre eles o microprocessador. Os microprocessadores são requisitados sempre que houver a necessidade de se processar inúmeros cálculos em um curtíssimo espaço de tempo. A tabela 4.2 mostra alguns processadores e seus fabricantes.

Tabela 4.2: Exemplos de processadores e seus fabricantes.

Processador	Fabricante
Z80	Zilog
4004	Intel
8080	Intel
família X86	Intel
família Pentium	Intel
Celeron	Intel
Itanium	Intel
K5	AMD
família K6	AMD
Athlon	AMD
Duron	AMD
G3	Apple
G4	Apple

4.2.1 Microcontrolador *BASIC Step I*

Programação é a seqüência de operações que o sistema deve executar para que a tarefa determinada seja realizada. Cada operação correspondente a uma instrução que pode ser interpretada e executada pelo computador. As instruções são constituídas por uma série de bits. Esses bits são decodificados e acionam as variáveis de controle internas ao sistema para que a operação correspondente à instrução seja realizada.

Cada microcontrolador adota uma linguagem de programação. As linguagens mais difundidas para microcontroladores são: Assembly e C. Todo programador deve conhecer o Set de Instruções de seu microcontrolador para poder realizar a programação do chip.

O código fonte do programa, ou seja, a escrita do programa precisa passar por um compilador, o compilador irá traduzir cada linha digitada em linguagem de máquina, para que o microcontrolador possa ser gravado. A gravação requer muitas vezes um equipamento de gravação. No mercado existem gravadores dedicados e universais que permitem a gravação de inúmeros chips. O BASIC Step 1 precisa apenas de um cabo serial para ser programado.

Segundo [ANGNES, 2003], o *BASIC Step I* é um microcontrolador extremamente fácil de utilizar, com comandos em português e inglês. Alimentação de 7,5V a 15V. Possui 8 entradas e saídas com capacidade de corrente de 25mA. Tamanho: 3,5 cm x 3,0 cm.

Hardware

O *BASIC Step 1* mostrado na da figura 4.4 trabalha com um microcontrolador PIC16F628 e uma única placa engloba esse microcontrolador, uma memória com o interpretador PBASIC e um regulador de tensão. Pode ser alimentado com tensão de 7,5 a 15v. Possui 8 portas configuráveis para entrada ou saída. É programável diretamente pela serial do computador, por um cabo simples, por isso, não precisa de programadores caros ou difíceis de construir. Tudo isso numa minúscula placa. Outra vantagem é que ele se encaixa perfeitamente na matriz de contatos, simplificando os testes. A figura 4.5 mostra a pinagem do *BASIC Step 1*:

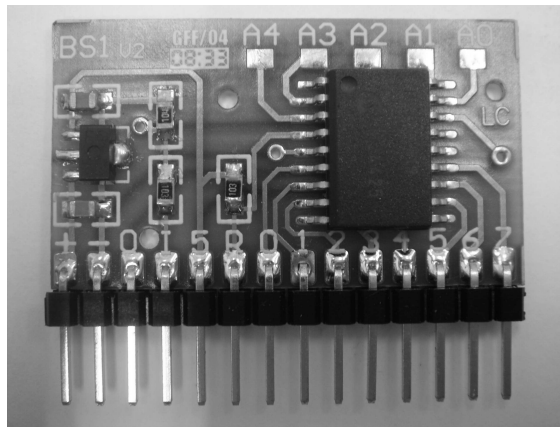


Figura 4.4: Foto do *BASIC Step 1*

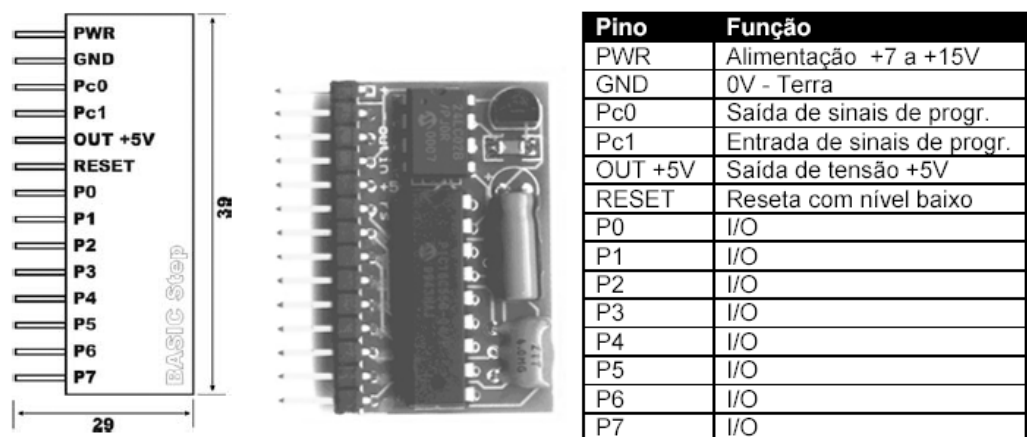


Figura 4.5: Pinagem do *BASIC Step 1*

Software

O *BASIC Step 1* é programado pela linguagem TBASIC ou PBASIC, possuindo apenas 32 instruções. Ambas são muito fáceis de utilizar, sendo que a diferença está no idioma: PBASIC é inglês e o TBASIC é português. A figura 4.6 mostra a interface do compilador *BASIC Step 1*. O compilador permite edição de texto do código fonte, possui compilador, debug para erros de digitação, download para transferência do programa ao microcontrolador e ajuda para consulta de instruções. Atualmente, o software está na versão 1.0.0.0 e pode ser executado no Windows 95, Windows 98, Windows Me e Windows XP. Ainda não há uma versão do mesmo para o sistema operacional LINUX.

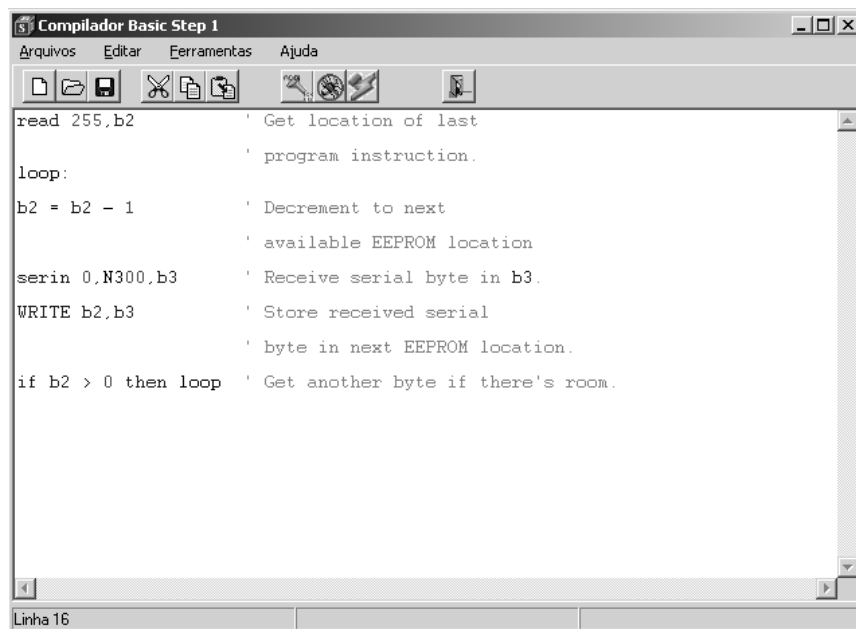


Figura 4.6: Interface do compilador para o *BASIC Step 1*

Programação

Para programar o BASIC Step são necessários:

- Microcontrolador BASIC Step;
- Fonte CC para alimentação do μC ;
- Compilador *BASIC Step 1*;
- Microcomputador;
- Sistema Operacional Win95 ou superior;
- Cabo de gravação

- Opcionalmente uma placa de prototipagem StepLab.

A figura 4.7 mostra um layout da placa de prototipagem, StepLab, para o *BASIC Step 1*, fabricada pela TATO Equipamentos Eletrônicos.

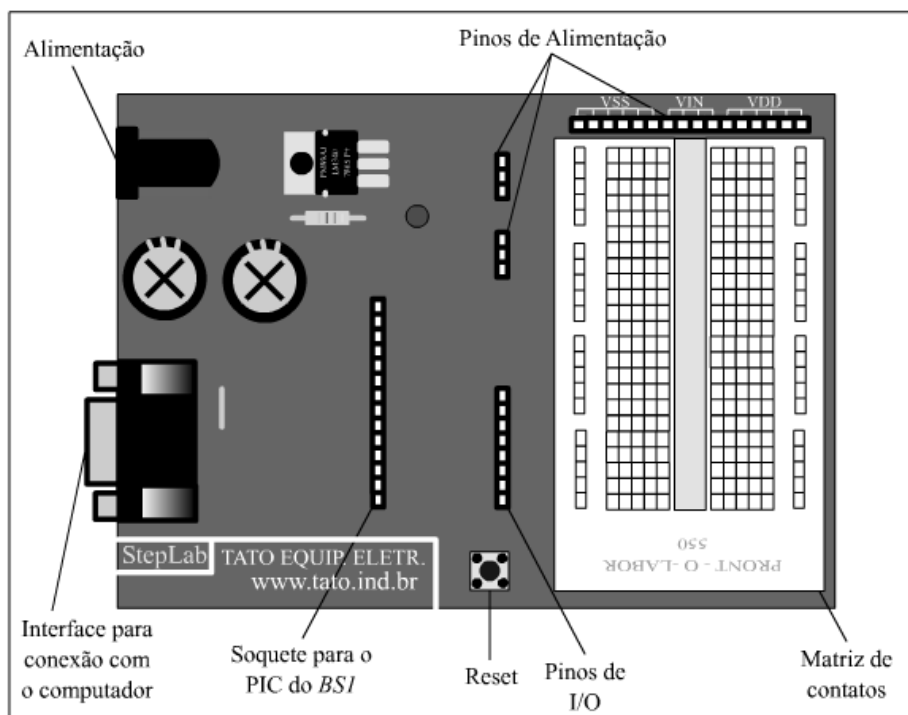


Figura 4.7: Placa StepLab da Tato Equipamentos Eletrônicos.

O *BASIC Step 1* utiliza a comunicação serial do PC para gravação. O cabo utilizado é simples e a conexão para DB9 e DB25 são indicadas na figura 4.8.

O hardware mínimo, necessário para um bom desempenho em termos de tempo, é um microcomputador: 100Mhz com 8MB de memória e 2MB de espaço no disco com um driver de disquete. O compilador utiliza sistema operacional Windows 95 ou superior.

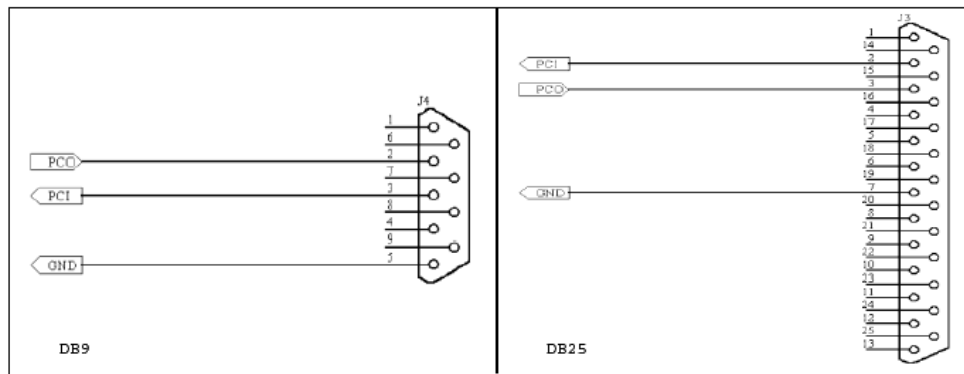


Figura 4.8: Cabo de gravação do *BASIC Step 1* com o PC através dos conectores DB9 e DB25.

O esquema de ligação do *BASIC Step 1* a um microcomputador é mostrado na figura 4.9.

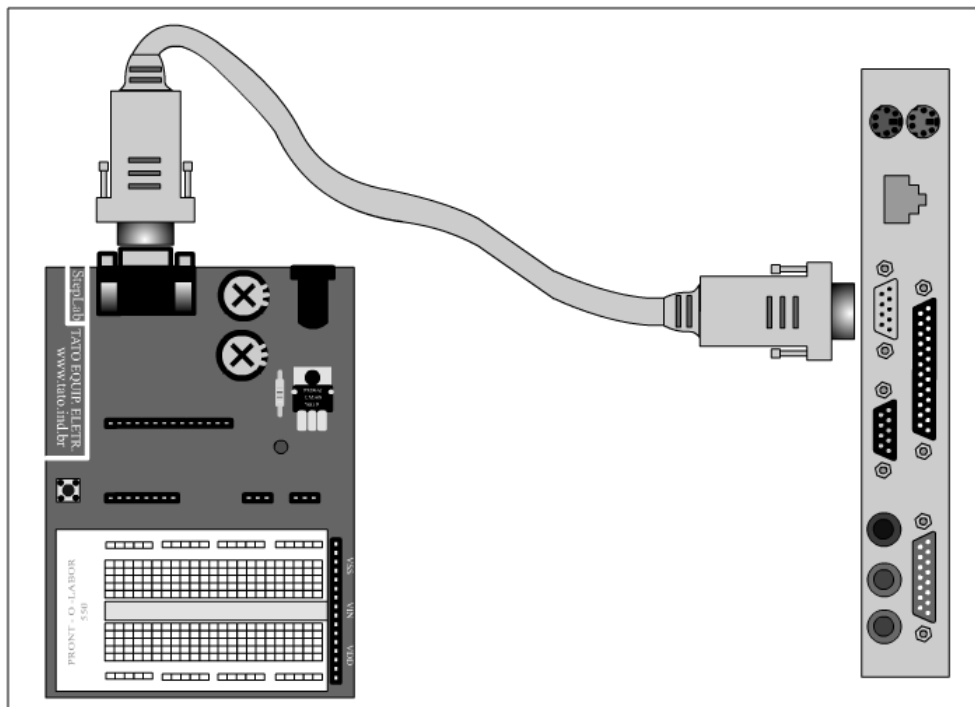


Figura 4.9: Layout de ligação do *BASIC Step 1* a um microcomputador.

4.3 Amplificadores Operacionais

Um amplificador operacional (AmpOp) é basicamente um dispositivo amplificador de tensão, caracterizado por um elevado ganho em tensão, impedância de entrada elevada, impedância de saída baixa e elevada largura de banda. Estes dispositivos são normalmente dotados de uma malha de realimentação para controle do ganho e são usualmente associados a outros semelhantes, em estruturas de múltiplos andares e com funções que transcendem a simples amplificação.

O AmpOp é um dispositivo de dois pontos, ou seja, possui dois terminais de entrada e um terminal de saída que é referenciado à massa. O seu símbolo elétrico, apresentado na figura 4.10, é um triângulo que aponta no sentido do sinal. Das duas entradas, uma, assinalada com o sinal (-) é chamada de entrada inversora e a outra, a que corresponde o sinal (+) é chamada entrada não-inversora. A saída faz-se no terminal de saída que se encontra referenciado à massa. O amplificador é normalmente alimentado com tensões simétricas, tipicamente $\pm 12\text{ V}$ ou $\pm 15\text{ V}$, que são aplicadas aos respectivos terminais de alimentação V^- e V^+ . Note-se que nos esquemas elétricos freqüentemente estes terminais são omitidos, representando-se apenas as entradas e a saída.

O amplificador operacional é um amplificador diferencial, ou seja, amplifica a diferença entre as tensões presentes as suas entradas. Se V^+ e V^- forem as tensões aplicadas às entradas não-inversora e inversora respectivamente e V_o for a tensão de saída, eles inicialmente foram utilizados para realizar operações matemáticas.

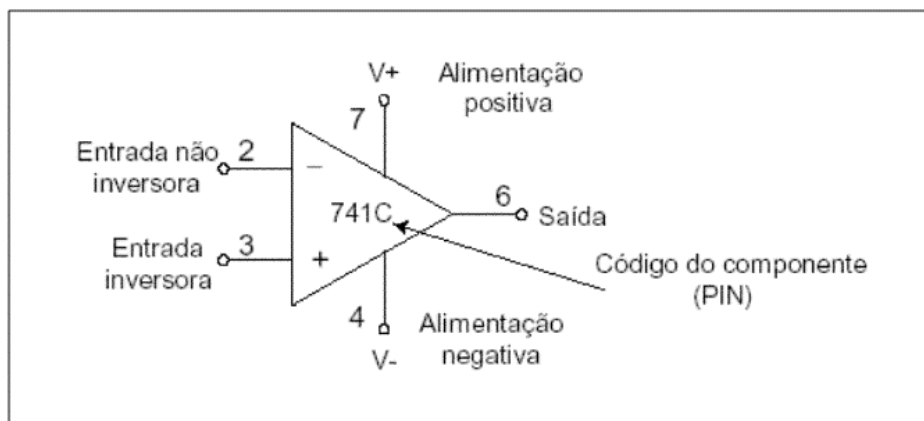


Figura 4.10: Símbolo elétrico de um Amplificador Operacional.

O amplificador não-inversor

Existem várias das configurações para a utilização de amplificadores operacionais, este trabalho limitou-se a utilização da configuração que chamamos de Amplificador não-inversor.

A principal característica do amplificador não inversor é a utilização de uma malha de realimentação na sua configuração.

Considere-se o circuito da figura 4.11. A malha de realimentação é constituída pela série de resistências R1 e R2. A análise do circuito faz-se da seguinte maneira:

1 - A tensão na entrada não inversora V_+ tem que ser igual à tensão na entrada inversora V_- , caso contrário o amplificador saturaria rapidamente. Isto mesmo é assegurado pela malha de realimentação.

Assim:

$$V_{IN} = V_+ = V_- = V_{R_1} \quad (1)$$

2 - Como a impedância de entrada do AmpOp ideal é infinita, a corrente entra na entrada inversora é nula e pode-se dizer que

$$V_{R_1} = V_{OUT} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

3- Igualando as expressões (1) e (2) e resolvendo em ordem ao ganho

G, temos:

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

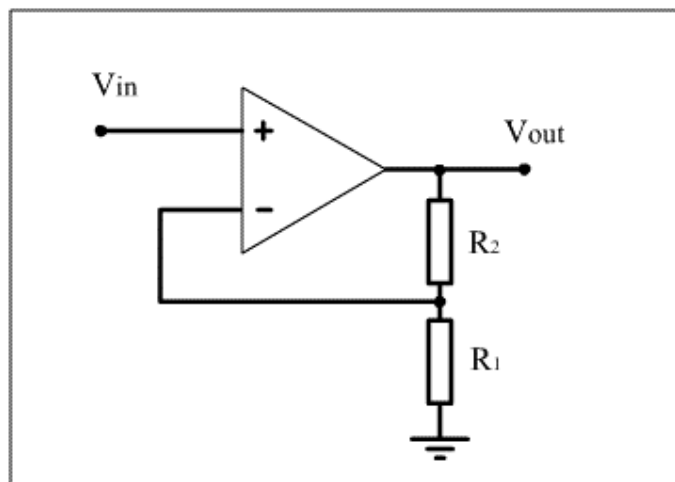


Figura 4.11: Diagrama do amplificador não-inversor.

Desta maneira poderemos calcular os valores dos resistores que serão utilizados no projeto para o ganho (**G**) desejado.

4.3.1 O CA3140

O amplificador operacional (AO) utilizado nesse trabalho é o CA3140, que é um circuito integrado (CI) e amplificador operacional que combinam as vantagens de transistor de alta tensão MOSFET (PMOS) com os transistores bipolares de alta tensão em único chip monolítico.

Algumas de suas principais características são mostradas na tabela 4.3:

Tabela 4.3: Algumas das principais características do CA3140.

Impedância de entrada muito alta	(Z_{IN}) - 1T (Típico)
Corrente de entrada muito baixa	(I_I) - 10pA (Típico) at±15V
Comportamento	Linear
Faixa de Operação	4 a 36 volts
Substituto direto do AO 741	mais estável a interferências como ruídos
Baixa impedância de saída	0,1 para 1µA de carga

Este trabalho limitou-se ao uso do CA3140 com a configuração que chamamos de Amplificador não-inversor, cujo funcionamento já foi citado anteriormente.

4.4 Transistor

O transistor de junção bipolar é um dispositivo semicondutor de três terminais, formado por três camadas consistindo de: duas camadas de material tipo "n" e uma de tipo "p" ou de duas de material tipo "p" e uma de tipo "n".

O primeiro é chamado de transistor *npn*, o qual foi utilizado nesse trabalho, enquanto que o segundo é chamado de transistor *pnp*.

Através de uma polarização de tensão adequada consegue-se estabelecer um fluxo de corrente, permitindo que o transistor seja utilizado em inúmeras aplicações como: chaves comutadoras eletrônicas, amplificadores de tensão e de potência, osciladores, etc.

O termo bipolar refere-se ao fato dos portadores lacunas e elétrons participarem do processo do fluxo de corrente. Se for utilizado apenas um portador, elétron ou lacuna, o transistor é denominado unipolar (FET) [MALVINO, 1986].

Estrutura Básica:

A figura 4.12 ilustra a estrutura básica do transistor pnp e npn, representando um circuito T equivalente com diodos, ligados de tal forma a permitir a identificação da polarização das junções, as quais são: base-emissor e base-coletor (B-E e B-C respectivamente).

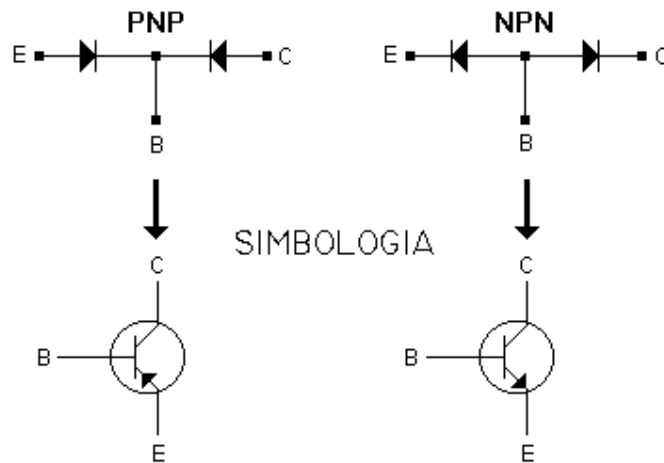


Figura 4.12: Estrutura básica e simbologia do transistor pnp e npn

Observa-se que no transistor *pnp* a junção dos dois catodos do diodo forma a base, que é negativa, sendo o emissor e o coletor positivos, enquanto que no transistor *npn* a junção dos dois anodos forma a base que é positiva, sendo o emissor e o coletor negativos. A simbologia utilizada para os transistores de junção é mostrada logo abaixo dos circuitos equivalentes "T" com diodos.

Polarização:

Para que um transistor funcione é necessário polarizar corretamente as suas junções, da seguinte forma:

1. Junção base-emissor: deve ser polarizada diretamente
2. Junção base-coletor: deve ser polarizada reversamente

Esse tipo de polarização deve ser utilizado para qualquer transistor de junção bipolar, seja ele *npn* ou *pnp*.

As figura 4.13 ilustra um exemplo de polarização para o transistor npn:

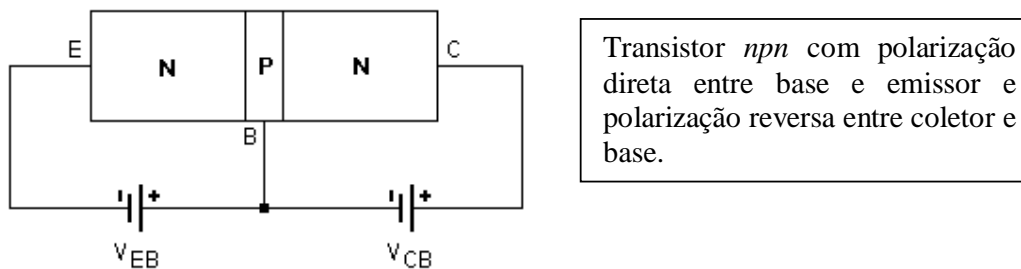


Figura 4.13: Polarização do transistor npn

Fluxo de Corrente:

Quando um transistor é polarizado corretamente, haverá um fluxo de corrente, através das junções e que se difundirá pelas camadas formadas pelos cristais *p* ou *n* (figura 4.14).

Essas camadas não têm a mesma espessura e dopagem, de tal forma que:

1. A base é a camada mais fina e menos dopada;
2. O emissor é a camada mais dopada;
3. O coletor é uma camada mais dopada do que a base e menos dopada do que o emissor.

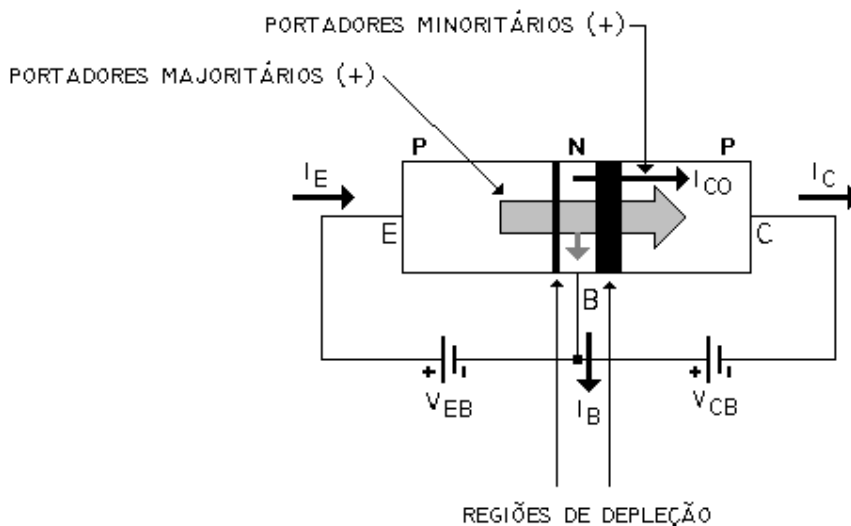


Figura 4.14: Fluxo da corrente no transistor npn

Uma pequena parte dos portadores majoritários ficam retidos na base. Como a base é uma película muito fina, a maioria atravessa a base e se difunde para o coletor.

A corrente que fica retida na base recebe o nome de corrente de base (I_B), sendo da ordem de microampéres. As correntes de coletor e emissor são bem maiores, ou seja da ordem de miliampéres, isto para transistores de baixa potência, podendo alcançar

alguns ampéres em transistores de potência. Da mesma forma, para transistores de potência, a corrente de base é significativamente maior.

Podemos então dizer que o emissor (E) é o responsável pela emissão dos portadores majoritários; a base (B) controla esses portadores enquanto que o coletor (C) recebe os portadores majoritários provenientes do emissor.

A exemplo dos diodos reversamente polarizados, ocorre uma pequena corrente de fuga, praticamente desprezível, formada por portadores minoritários. Os portadores minoritários são gerados no material tipo *n* (base), denominados também de corrente de fuga e são difundidos com relativa facilidade até ao material do tipo *p* (coletor), formando assim uma corrente minoritária de lacunas. Lembre-se de que os portadores minoritários em um cristal do tipo *n* são as lacunas.

Desta forma a corrente de coletor (I_C), formada pelos portadores majoritários provenientes do emissor soma-se aos portadores minoritários (I_{CO}) ou (I_{CBO}).

Aplicando-se a lei de Kirchhoff para corrente (LKT), obtemos:

$$I_E = I_C + I_B, \text{ onde:}$$

$$I_C = I_C (\text{PORTADORES MAJORITÁRIOS}) + I_{CO} \text{ ou } I_{CBO} (\text{PORTADORES MINORITÁRIOS})$$

Para uma melhor compreensão, a figura 4.15 ilustra o fluxo de corrente em um transistor *npn*, através de uma outra forma de representação. No entanto, o processo e análise são o mesmo.

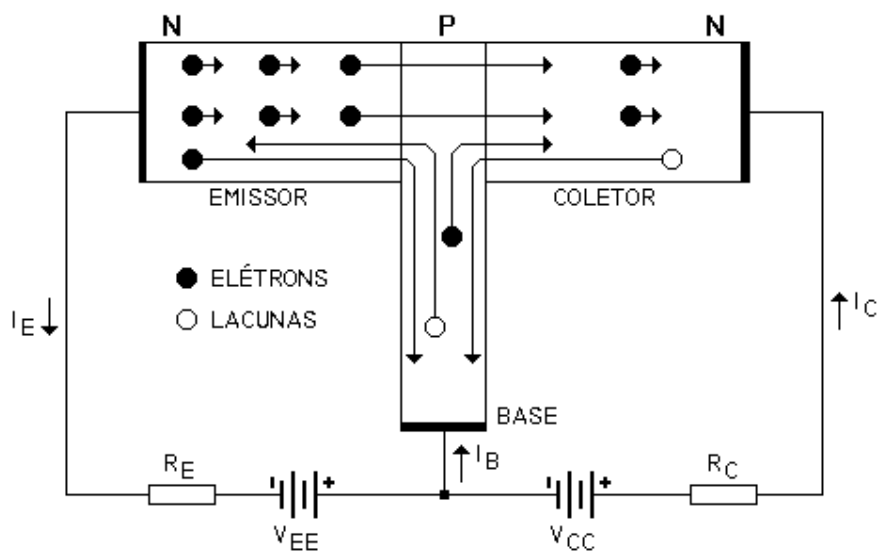


Figura 4.15: Fluxo da corrente no transistor npn

Na figura acima se observa que os portadores minoritários (I_{CO} ou I_{CBO}) provenientes da base são os elétrons, que se somarão a corrente de coletor.

Verifica-se ainda em relação ao exemplo anterior do transistor *npn*, que a corrente de base (I_B) tem um sentido oposto, uma vez que, essa corrente é formada por lacunas. Da mesma forma as correntes de emissor (I_E) e de coletor (I_C) também tem sentidos opostos, por serem formadas por elétrons.

OBS: Os transistores do tipo *npn* e *pnp* são submetidos ao mesmo processo de análise, bastando para isso, inverter a polaridade das baterias de polarização e lembrar que:

Cristal N - os portadores majoritários são os elétrons e os minoritários as lacunas;

Cristal P - os portadores majoritários são as lacunas e os minoritários os elétrons.

A junção base-emissor está polarizada diretamente e por isto, representa uma região de baixa impedância. A voltagem de polarização base-emissor é baixa (da ordem de 0,55V a 0,7V para transistores de silício), polarização esta, caracterizada pela bateria V_{EE} enquanto que, a junção base-coletor está reversamente polarizada em função da bateria V_{CC} . Na prática, V_{CC} assume valores maiores do que V_{EE} .

Como já foi dito anteriormente, a corrente I_C é o resultado dos portadores majoritários provenientes do emissor. A corrente de coletor divide-se basicamente em duas componentes: a corrente proveniente do emissor e a corrente proveniente do junção reversamente polarizada coletor-base, denominada I_{CBO} , sendo que esta última assume valores extremamente baixos que em muitos casos podem ser desprezados.

A quantidade de corrente que chega no coletor proveniente do emissor depende do tipo de material e dopagem do emissor. Essa quantidade de corrente varia de acordo com o tipo de transistor.

A constante de proporcionalidade dessa corrente foi definida como α (alfa), de forma que, a corrente de coletor é representada por αI_E . Os valores típicos de α variam de 0,9 a 0,99. Isto significa que parte da corrente do emissor não chega ao coletor, pois α é menor do que 1.

Configurações Básicas:

Os transistores podem ser ligados em três configurações básicas: base comum (BC), emissor comum (EC) e coletor comum (CC). Essas denominações relacionam-se aos pontos onde o sinal é injetado e retirado, ou ainda, qual dos terminais do transistor é referência para a entrada e saída de sinal.

As configurações emissor comum, base comum e coletor comum, são também denominadas emissor a terra, base a terra e coletor a terra. Essas configurações podem ser apresentadas conforme ilustram a figura 4.16 [ZUIM, 2000]:

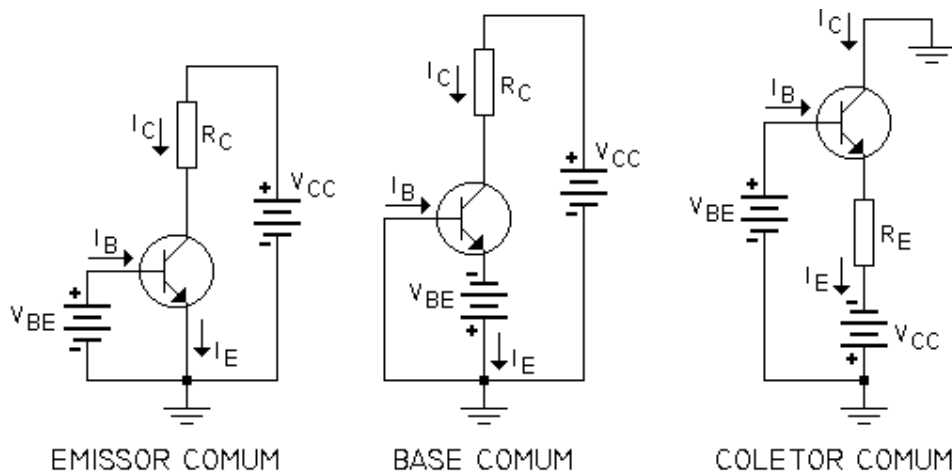


Figura 4.16: Fluxo da corrente no transistor pnp

4.5 Relé

Os relés são dispositivos comutadores eletromecânicos. A estrutura simplificada de um relé é mostrada na figura 4.17 e a partir dela será explicado o seu princípio de funcionamento.

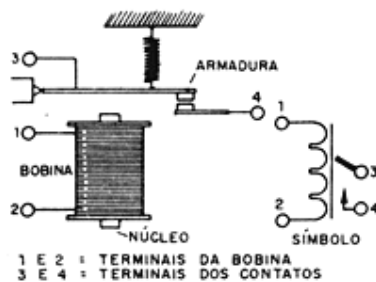


Figura 4.17: Estrutura simplificada de um relé

Nas proximidades de um eletroímã é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um jogo de contatos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica é criado um campo magnético que atua sobre a armadura, atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contatos, os quais podem ser abertos, fechados ou comutados, dependendo de sua posição, conforme mostra a figura 4.18

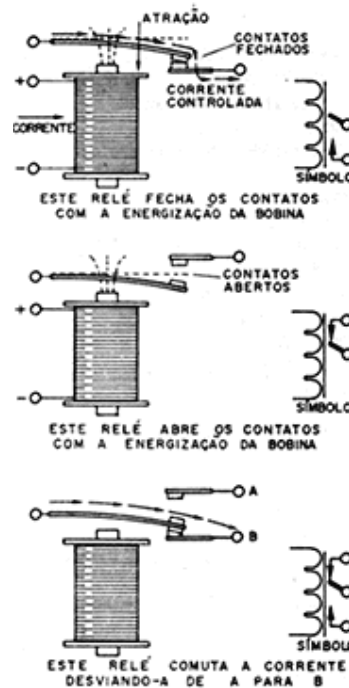


Figura 4.18: Contatos fechados, abertos e comutados do relé

Isso significa que, através de uma corrente de controle aplicada à bobina de um relé, podemos abrir, fechar ou comutar os contatos de uma determinada forma, controlando assim as correntes que circulam por circuitos externos. Quando a corrente deixa de circular pela bobina do relé o campo magnético criado desaparece, e com isso a armadura volta a sua posição inicial pela ação da mola. Os relés se dizem energizados quando estão sendo percorridos por uma corrente em sua bobina capaz de ativar seus contatos, e se dizem desenergizados quando não há corrente circulando por sua bobina. A aplicação mais imediata de um relé com contato simples é no controle de um circuito externo ligando ou desligando-o, conforme mostra a figura 4.19. Observe o símbolo usado para representar este componente.

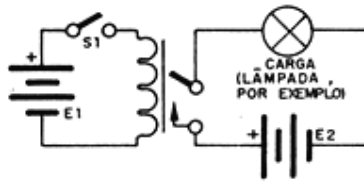


Figura 4.19: Exemplo de relé com contato simples

Quando a chave S1 for ligada, a corrente do gerador E1 pode circular pela bobina do relé, energizando-o. Com isso, os contatos do relé fecham, permitindo que a corrente do gerador E2 circule pela carga, ou seja, o circuito controlado que pode ser uma lâmpada. Para desligar a carga basta interromper a corrente que circula pela bobina do relé, abrindo para isso S1.

Uma das características do relé é que ele pode ser energizado com correntes muito pequenas em relação à corrente que o circuito controlado exige para funcionar. Isso significa a possibilidade de controlarmos circuitos de altas correntes como motores, lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos fracos como transistores, circuitos integrados, fotoresistores etc.

A corrente fornecida diretamente por um transistor de pequena potência da ordem de 0,1A não conseguiria controlar uma máquina industrial, um motor ou uma lâmpada, mas pode ativar um relé e através dele controlar a carga de alta potência. (figura 4.20).

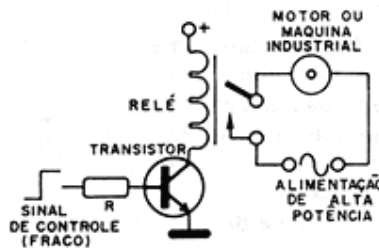


Figura 4.20: Contatos fechados, abertos e comutados do relé

Outra característica importante dos relés é a segurança dada pelo isolamento do circuito de controle em relação ao circuito que está sendo controlado. Não existe contato elétrico entre o circuito da bobina e os circuitos dos contatos do relé, o que significa que não há passagem de qualquer corrente do circuito que ativa o relé para o circuito que ele controla. Se o circuito controlado for de alta tensão, por exemplo, este isolamento pode ser importante em termos de segurança.

Do mesmo modo, podemos controlar circuitos de características completamente diferentes usando relés: um relé, cuja bobina seja energizada com apenas 6 ou 12V,

pode perfeitamente controlar circuitos de tensões mais altas como 110V ou 220V. O relé que tomamos como exemplo para analisar o funcionamento possui uma bobina e um único contato que abre ou fecha. Na prática, entretanto, os relés podem ter diversos tipos de construção, muitos contatos e apresentar características próprias sendo indicados para aplicações bem determinadas [BRAGA, 2003].

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Procedimento Metodológico

Neste trabalho foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica dos assuntos citados nos Capítulos 2, 3 e 4, que serviu como base para a aquisição de conhecimento acerca dos temas envolvidos no projeto, como, por exemplo, funcionamento dos amplificadores operacionais e as especificações técnicas dos fototransistores. Envolveu, basicamente, consultas a livros de referência, teses científicas, artigos da área de tecnologia de sistemas eletrônicos e especificações técnicas de componentes eletrônicos.

Foi necessário revisar os conhecimentos de eletrônica básica e sistemas digitais, estudando mais especificamente o funcionamento do amplificador operacional, do transistor, do fotodiodo, do fototransistor, do CI temporizador LM 555 e do relé. Além disso, foi imprescindível conhecer o funcionamento do microcontrolador *BASIC Step I* e sua programação.

Em resumo, para o desenvolvimento deste projeto, foram realizadas as seguintes atividades:

1. Estudo bibliográfico;
2. Construção do sensor para medir poeira, programação do *BASIC Step I* e testes do sistema;
3. Escrita da Monografia

5.1.1 Material e Equipamento

Este projeto foi desenvolvido no Laboratório de Eletrônica do Departamento Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras. Foi usado um computador Pentium mmx 200 Mhz com 64Mb de memória. Os equipamentos usados para o projeto, além do computador:

- Microcontrolador BASIC Step (figura 4.2)
- Placa de prototipagem StepLab (figura 4.5)
- Compilador BASIC Step (figura 4.4)
- Display LCD serial (figura 5.1)
- Cabo serial de gravação
- Protoboards (figura 5.2)
- Multímetro (figura 5.3)

- Osciloscópio (figura 5.4)
- Gerador de funções de varredura (figura 5.5)



Figura 5.1: Display LCD serial 16x2

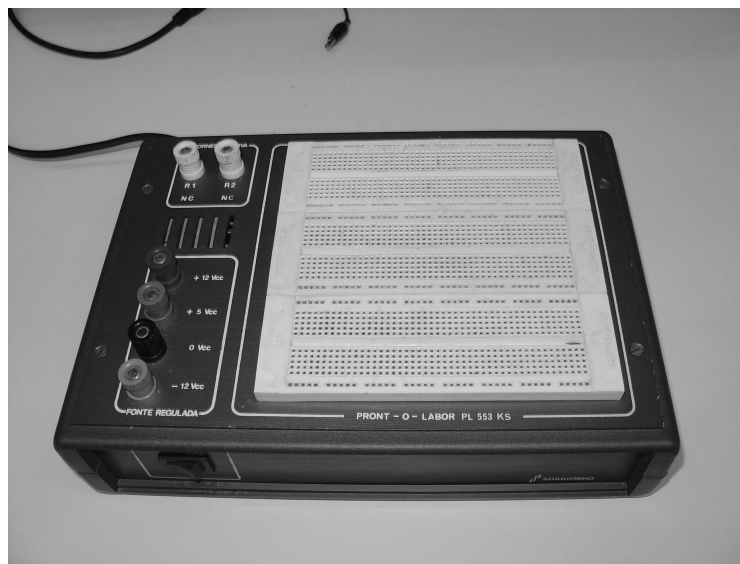


Figura 5.2: Protoboard com alimentação



Figura 5.3: Multímetro Digital

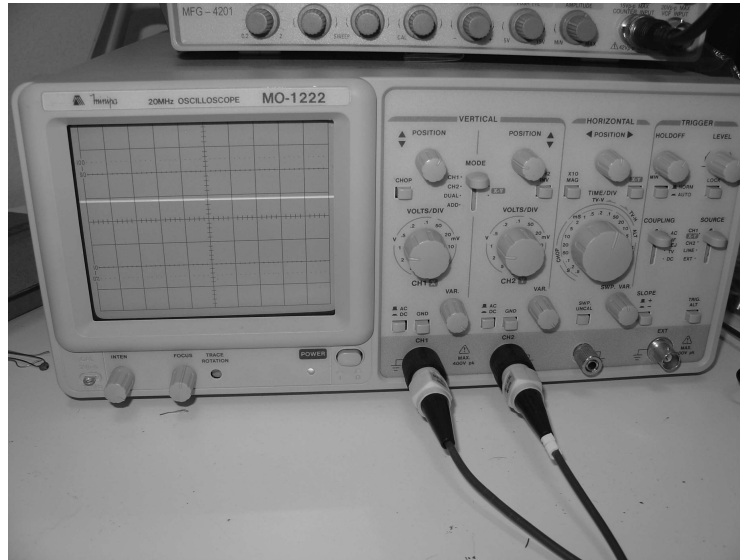


Figura 5.4: Osciloscópio de 20 MHz.



Figura 5.5: Gerador de funções de varredura

5.2 Desenvolvimento

O desenvolvimento foi baseado em algumas etapas:

1ª Etapa: Construção do protótipo do sensor em protoboard

No início da construção do circuito do sensor tentou-se usar o fotodiodo na recepção do IR (Infravermelho), mas não foi possível usá-lo por não ter variação na

condução da corrente, ou seja, ele conduz ou não conduz corrente. Por isso usou-se como receptor IR um fototransistor, pois ele conduz a corrente de acordo com a incidência de IR de forma gradativa.

O fototransistor usado foi o GP1UX da Sharp, configurado de fábrica para receber pulsos IR a 32 kHz, pois nesta frequência praticamente não há interferências. E ainda possui saída digital e analógica, onde foi usada a saída analógica para leitura do nível de poeira. E foi detectado no osciloscópio, *vide* figura 5.4, que essa saída analógica varia de acordo com a incidência de IR entre 1,4 e 2 V, porém no conversor analógico digital do *BASIC Step 1* o valor convertido varia de 0 a 1024 para uma variação de tensão de entrada de 0 a 5V. Então se usou no circuito receptor o transistor BC337 e o amplificador operacional CA3140 para obter uma saída analógica variando entre 0 e 5 volts.

Já na emissão do IR foi usado um fotodiodo, que a princípio foi ligado ao gerador de funções de varredura, que foi modulado para gerar os pulsos a 32 kHz e ainda regulava a intensidade do IR através da corrente usada. Depois foi construído o circuito com as mesmas propriedades configuradas no gerador de funções de varredura, usando um potenciômetro para regular a corrente de entrada, controlando assim a intensidade dos raios IR e usou-se também o CI temporizador LM555, que com as medições do frequencímetro foi possível regula-lo para gerar pulsos a 32 kHz.

2ª Etapa: Programação do microcontrolador *BASIC Step*

Por conseguinte o microcontrolador *BASIC Step 1* foi programado para capturar o sinal da saída analógica do sensor de poeira, convertê-lo para sinal digital e comparando-o com o nível de poeira máximo configurado pelo usuário, tomar a decisão de acionar ou não o sistema de irrigação. E como o *BASIC Step 1* trabalha com 5 VCC (volts em corrente contínua) e as válvulas de irrigação precisam de 24 VCA (volts em corrente alternada) e considerando ainda que os outros 12VCA estão ligados diretamente á válvula, usou-se um relé de 5VCC para fazer o chaveamento de 12VCA e ainda para obter a corrente necessária pra ativar o relé adicionou-se um transistor ao circuito. Portanto quando for necessário acionar o processo de irrigação o *BASIC Step 1* joga um sinal na base do transistor, que faz este conduzir, ativando o relé e o mantém acionado pelo tempo configurado de irrigação completando os 24V que ligará as válvulas.

3ª Etapa: Interface do sistema

Foi feita uma programação no próprio *BASIC Step 1* para a interface e configuração do sistema, onde através de botões e de um visor LCD conectados ao microcontrolador é possível: alterar e visualizar o valor do nível máximo de poeira, tempo que o sistema irá irrigar e visualizar o nível de poeira instantâneo medido pelo sensor.

4ª Etapa: Construção da fonte de alimentação do sistema

E para alimentação de todo o circuito construiu-se uma fonte (conforme figura 5.6), usando-se um transformador com duas saídas de 12 VCA de 500mA, para somar os 24 VCA para as válvulas de irrigação, e reguladores de tensão de 12 VCC, -12 VCC e 5 VCC, pois o amplificador operacional trabalha com 12 e -12 VCC, o *BASIC Step 1* foi alimentado com 12VCC e 5VCC para alimentação dos outros componentes e relé.

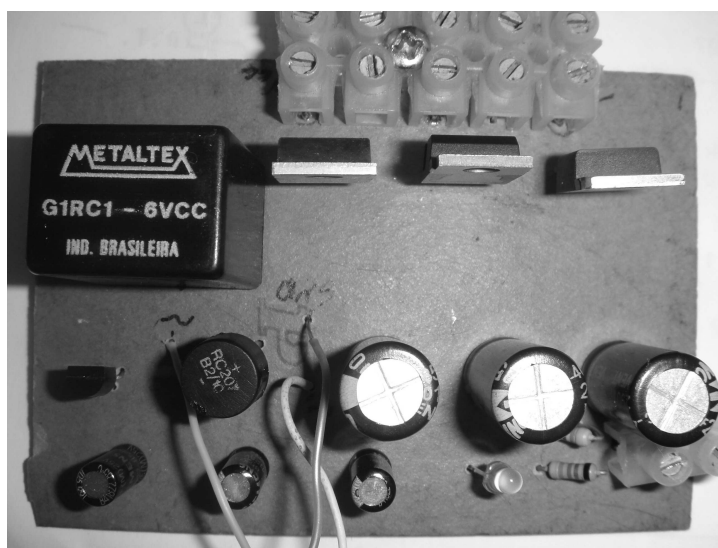


Figura 5.6: Fonte de Alimentação

5ª Etapa: Testes do sistema em laboratório

Foram realizados testes com pó de giz branco simulando a poeira. O sistema conseguiu executar bem a simulação do controle do nível de poeira, identificando o nível de poeira máximo, configurado no microcontrolador e ativando o relé que acionaria o sistema de irrigação.

6ª Etapa: Desenho, confecção e montagem da placa de circuito integrado

Desenhou-se a placa de circuito integrado em duas camadas, usando um programa específico, o software EAGLE na versão 4.13r1, que é um programa freeware na sua versão light. Depois imprimiu o desenho no papel *transfer*, que foi usado pra transferir o circuito desenhado para a placa de cobre. E então se corroeu a placa na solução de hipercloreto de ferro.

E após a limpeza da tinta impressa na placa deixando somente a trilhas de cobre, foi feita soldagem dos componentes na placa montando assim o sistema na placa de circuito integrado (figura 5.7).

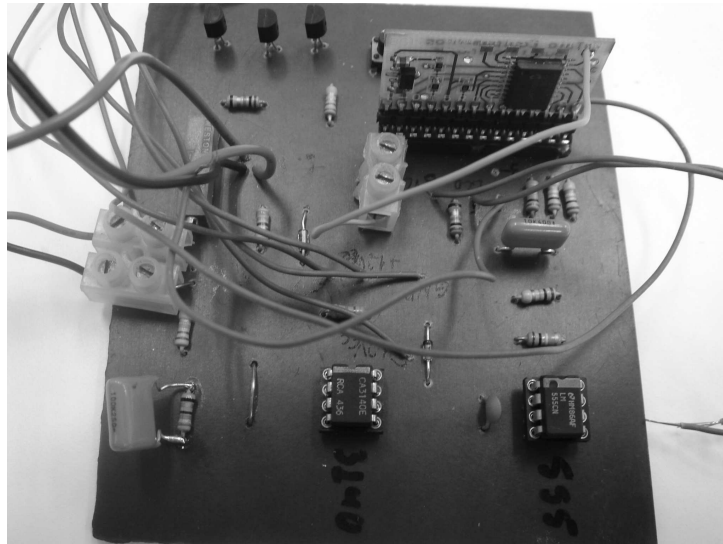


Figura 5.7: Placa de circuito integrado do sistema de controle automático de poeira

5.2.1 Funcionamento

O sensor IR, conforme figura 5.8, possui um circuito emissor que fica emitindo raios IR constantemente e possui um circuito receptor trabalha gerando um sinal analógico proporcional ao IR recebido. Conforme a poeira vai sendo depositada sobre o receptor, vai ocorrendo o bloqueio gradativo dos raios IR e quanto maior a quantidade de poeira depositada, maior será o bloqueio desses raios.

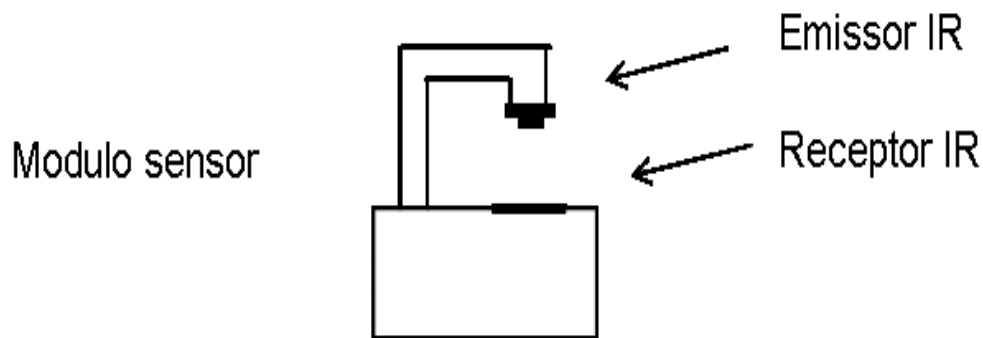


Figura 5.8: Diagrama do Sensor IR

O microcontrolador *BASIC Step 1* fica monitorando o sinal analógico do receptor IR, convertendo-o em sinal digital e comparando-o com o nível de máximo de poeira configurado pelo usuário no microcontrolador. E assim que o bloqueio dos raios IR atinge o nível configurado no microcontrolador, o mesmo aciona um processo de proteção para evitar possíveis erros, iniciando uma contagem de tempo pré-estabelecida. E se após esse tempo o sinal por algum motivo voltar a ser recebido pelo receptor, o microcontrolador retorna ao estado inicial de monitoramento. Esse processo foi implementado para evitar que, por exemplo, um inseto interrompa a emissão de infravermelho confundindo o sensor.

Entretanto se após a contagem de tempo pré-estabelecida for confirmado a obstrução do sinal, o processo de irrigação será iniciado. Ao passo que o microcontrolador emitirá um sinal ativando o relé, mostrado na figura 5.9, mantendo-o acionado pelo tempo de irrigação configurado no microcontrolador. E enquanto acionado, o relé estará fazendo o chaveamento da tensão necessária pra ligar as válvulas de irrigação, simulando o processo de irrigação.

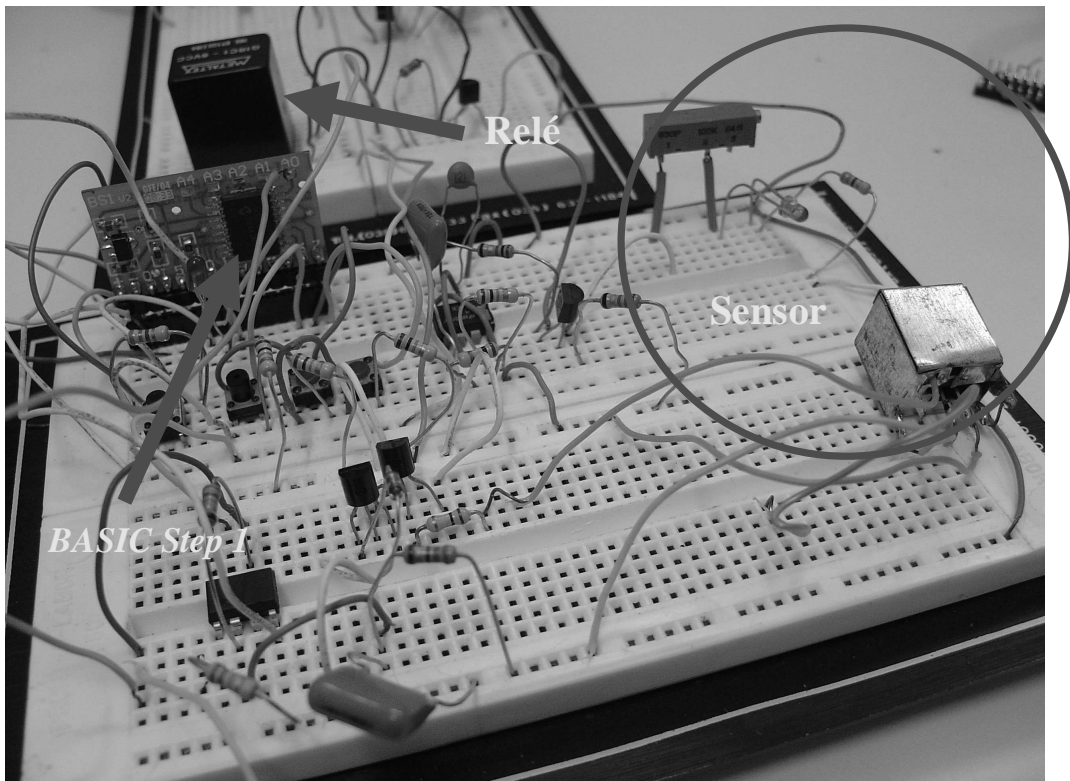


Figura 5.9: Protótipo do sistema de controle automático de poeira

O sistema ainda possui uma interface, onde através de botões e de um visor LCD (figura 5.10) conectados ao microcontrolador é possível: configurar e visualizar o valor mínimo para que o sistema identifique como sendo poeira (min), tempo de irrigação (t_{irrig}) e visualizar o valor do nível de poeira instantâneo identificado pelo sensor (p).



Figura 5.10: Interface do Sistema

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a montagem do circuito do sensor, os primeiros resultados obtidos em laboratório foram satisfatórios, pois através do ajuste da intensidade do IR emitido pelo fotodiodo, foi possível tornar o receptor bastante sensível ao bloqueio dos raios IR, ao ponto que simulando a poeira com pó de giz branco, conforme figura 6.1, o sensor emitiu sinais de bloqueio do IR que foram identificados no osciloscópio. E ao término da montagem do circuito e da programação do *BASIC Step 1*, foi possível confirmar a detecção do nível de poeira pelo microcontrolador que foi plenamente capaz de interpretar os sinais recebidos e enviar os sinais necessários para ativar o relé simulando o processo de irrigação.



Figura 6.1: Teste do sensor usando pó de giz branco

E apesar do *BASIC Step 1* ter atendido as necessidades do sistema ele possui algumas limitações, como pouca memória, considerando que sua atual programação está consumindo 209 dos 256 bytes disponíveis o que dificultaria uma possível expansão em linhas de código do sistema e possui poucas entradas e saídas comparando-se a outro microcontroladores. Então para a expansão do sistema é necessário um

microcontrolador com mais recursos, como por exemplo, mais memória e mais entradas e saídas.

E são sugeridos como trabalhos futuros:

- Ligar o microcontrolador ao computador, usando a ligação serial que o *BASIC Step 1* possui, para adiquirir os dados do funcionamento do sistema e utiliza-los estatisticamente, inclusive até para melhorar a performance do sistema.
- Sistema para controlar a poeira em suspensão no ar.
- Sistema para controlar a poeira dentro do silo no carregamento e descarregamento do seu conteúdo, a fim de se reduzir o risco de explosão (figura 6.2).



Figura 6.2: Explosão de silo

7 CONCLUSÃO

Após vários testes em laboratório, foi possível verificar a eficiência do sensor IR, onde a sensibilidade necessária para detecção de poeira foi alcançada. E o microcontrolador *BASIC Step 1* conseguiu atender todas as necessidades que foram objetivadas para o protótipo.

Conseguiu-se realizar, em laboratório e de forma simulada, o controle automático do nível de poeira. Ao passo que ao simular a poeira sedimentável com pó de giz branco, o sistema conseguiu identificá-lo e acionar com sucesso o relé, simulando assim o processo de ativação e controle do sistema de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ANGNES, 2003] ANGNES, D. L. *Introdução ao Microcontrolador BASIC Step*. Santa Cruz do Sul, RS: Basic Step, 2003.
- [BRAGA, 2003] BRAGA, N. C. Especificando Relés Corretamente. *Revista Saber Eletrônica*, São Paulo, 361, fev. 2003. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/tudosobrerelés/tudo1.asp>>. Acesso em: 28 de maio 2005.
- [FONSECA,2003] FONSECA, F. *Seminário: Os Efeitos da Mineração sobre o Meio Ambiente*. Geologia Ambiental. Ceará: UFC, 2003. Disponível em: <<http://www.geologiaambientalufc.hpg.ig.com.br/pag33.html>>. Acesso em: 19 de jun. 2004.
- [FRANKLIN, 1994] FRANKLIN, F.; POWELL J. D.; EMANI-NAENI A. *Feedback Control of Dynamic Systems*. 3. ed. Addison-Wesley, 1994.
- [HELFRICK, 1990] HELFRICK, A D.; COOPER, W.D. *Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques*. New Jersey: Prentice-Hall, 1990.
- [INTRATOR, 1983] INTRATOR, EDMOND; MELLO, HILTON A. *Dispositivos Semicondutores*. 5ta. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos S. A., 1983.
- [IRRICOM, 2004] IRRICOM - IRRIGAÇÃO E COMÉRCIO. *DOSSIÊ – Sistemas de Irrigação para Combate à Poeira em Mineração*. Belo Horizonte, 2004.
- [ISO, 2002] International Standards Organization. *Environmental Management: The ISO 14000 Family of International Standards*. ISO, 2002. Disponível em: <<http://www.iso.org/>>. Acesso em: 19 jun. 2004.
- [LUYBEN, 1990] LUYBEN, W.L. *Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1990.
- [MALVINO, 1986] MALVINO A.P. *Eletrônica*. . SP: ed. McGraw-Hill, 1986.
- [MALVINO, 1987] MALVINO A.P. *Eletrônica no Laboratório*. SP: ed. McGraw-Hill, 1987.
- [MANFRED, 2003] MANFRED W.; NORMAN J. *Segurança e Saúde em Minas de Superfície de Pequeno Porte*. OIT, 2003.
- [OGATA, 1996] OGATA, K. *Modern Control Engineering*. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- [SHINSKEY, 1994] SHINSKEY, F.G. *Process Control System: Application, Design, and Tuning*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1994.

[ZELENOVSKY, 2000] ZELENOVSKY, R. *Micro Controladores MCS-51*. Rio de Janeiro: IME, 2000. Apostila.

[ZUIM, 2000] ZUIM, E. *Transistor de Junção Bipolar I.* São Paulo: Centro Estadual de Educação Tecnológica Ete Albert Einstein, 2000. Disponível em: <<http://www.comp.ufla.br/~giacomini/COM145.html>>. Acesso em: 28 de maio. 2005.