

DANIEL CHRISTOVAM E SILVA

MARCELO HIROSHI SHIBA

**LONPADAS – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO REDE DE
CONTROLE BASEADA NA TECNOLOGIA LONWORKS**

São Paulo

2006

Daniel Christovam e Silva

Marcelo Hiroshi Shiba

**LONPADAS – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO REDE DE
CONTROLE BASEADA NA TECNOLOGIA LONWORKS**

**Trabalho formatura
apresentado à disciplina
PCS2502 – Projeto de
Formatura II, da Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo**

São Paulo

2006

Daniel Christovam e Silva

Marcelo Hiroshi Shiba

**LONPADAS – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO REDE DE
CONTROLE BASEADA NA TECNOLOGIA LONWORKS**

**Trabalho formatura
apresentado à disciplina
PCS2502 – Projeto de
Formatura II, da Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo**

**Área de concentração:
Engenharia da Computação**

**Orientador:
Professor Doutor
Carlos Eduardo Cugnasca**

**Co-Orientador:
Rafael de Aquino Cunha**

São Paulo

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Daniel Christovam e

Shiba, Marcelo Hiroshi

LONpadas - Sistema de iluminação utilizando rede de controle baseada na tecnologia LonWorks / Daniel Christovam e Silva; Marcelo Hiroshi Shiba. -- São Paulo, 2006.

1v.

**Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.**

**1. Engenharia 2. Engenharia da computação 3. Redes de controle com LonWorks
4.Curso de graduação I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.**

Dedicamos este trabalho aos nossos pais e amigos, por terem acreditado em nossa capacidade e por nos apoiarem ao longo das dificuldades.

AGRADECIMENTOS

À Daiana e à Evelyn, pela paciência e preciosa companhia durante a realização deste trabalho.

Ao amigo e orientador Professor Doutor. Carlos Eduardo Cugnasca pelas diretrizes seguras e permanente incentivo.

Ao nosso co-orientador Rafael de Aquino Cunha pelo auxílio e paciência que contribuíram para a realização deste projeto.

Às empresas Conceito Tecnologia, TAC Américas e Schneider Electric pelo fornecimento dos módulos e componentes utilizados neste trabalho e pelo suporte técnico prestado.

Ao companheiro politécnico Fernando Bertin pela atenção e prontidão em nos ajudar.

RESUMO

O projeto do sistema de iluminação tem como objetivo a especificação e implementação de um sistema de monitoração de variáveis ambientais para o projeto Biota. A proposta do sistema é automatizar o processo de coleta de dados referentes à intensidade luminosa, presente nas colméias do projeto, e controlar a iluminação do ambiente em torno da experiência. Esse sistema tornará possível acionar pontos de luz de acordo com a presença do usuário no ambiente e coletar os dados de luminosidade automaticamente, permitindo aos pesquisadores monitorar e controlar remotamente, através de páginas web interativas, as variáveis ambientais. Estas funcionalidades serão implementadas através do desenvolvimento de nós não-proprietários, formando uma rede de controle baseada na tecnologia LonWorks®. O sistema proposto deve agregar novas funções ao projeto e permitir melhorias no processo de coleta de dados.

ABSTRACT

The lighting system's project aims to specify and implement a monitor system of environment variables for Biota Project. The proposed system will automate the process of gathering data regarding to the lighting intensity present in beehives of the project and it will also control its environment illumination. This system will allow, according to the user presence, to set in point lighting. Besides, it will collect lighting data automatically, allowing the researchers to remotely monitor and control the environment variables through interactive webpages. These functionalities will be implemented by developing non-proprietary nodes, composing a LonWorks®-based control network. The proposed system should aggregate new functions to the project and allow improvements in the gathering data process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração da arquitetura geral do sistema	10
Figura 2 – Diagrama de Blocos de um nó LonWorks® com Neuron chip.....	14
Figura 3 – Diagrama de Blocos de um nó LonWorks® com aplicação sendo executada em um microcontrolador adicional	14
Figura 4 – Exemplo de código em Neuron C.....	15
Figura 5 – Exemplo de encapsulamento de dados	18
Figura 6 – Ilustração dos nós utilizados.....	24
Figura 7 –Interações entre a realidade e o pensamento e entre o problema e a solução	27
Figura 8 –Atividades de um projeto de engenharia	28
Figura 9 –Aspectos evolucionários de um projeto de engenharia.....	29
Figura 10 –Diagrama do modelo Espiral	31
Figura 11 – Sistema de interruptor e lâmpada	38
Figura 12 – Tela com informação da luminosidade e de presença na sala.	43
Figura 13 – Esquema elétrico para ajuste da tensão de referência.....	47
Figura 14 – Cronograma do Projeto.....	51
Figura 15 - Cronograma Detalhado 1º Semestre.....	51
Figura 16 - Cronograma Detalhado 2º Semestre.....	52
Figura 17 – Intensidade luminosa obtida pelo luxímetro versus valor de <i>look-up-table</i> para TSL2550.....	59
Figura 18 – Esquema de experimento para obtenção do fator de correção.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos transceivers.....	20
Tabela 2 – Custos envolvidos no projeto	49
Tabela 3 - Valores obtidos experimentalmente por método de <i>look-up-table</i> de TSL2550 para determinar fator de correção	57
Tabela 4 – Valores obtidos experimentalmente por método de <i>look-up-table</i> de TSL2550 com fator de correção.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	American National Standards Institute
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
IB	Instituto de Biociênci da Universidade de São Paulo
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
kbps	1000 bits por segundo
LAA	Laboratório de Automação Agrícola da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
LAN	Local Area Network
LDR	Light Dependent Resistor
LNS	LonWorks Network Services
Mbps	1.000.000 bits por Segundo
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time to Repair
NV	Network Variables
OSI	Open System Interconnection
PC	Personal Computer
SNVT	Standard Network Variable Type
TCP	Transmission Control Protocol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	DESCRIÇÃO DO DOCUMENTO	5
2	OBJETIVO DO PROJETO DE FORMATURA	7
3	JUSTIFICATIVA	8
4	ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	9
4.1	ARQUITETURA GERAL	9
4.2	REDE DE CONTROLE.....	10
4.2.1	Plataforma LonWorks®	11
4.2.2	Nós LonWorks	13
4.2.3	Neuron C	15
4.2.4	Protocolo LonTalk	16
4.2.5	Canais de comunicação.....	19
4.2.6	Acesso ao meio de transmissão	20
4.2.7	Endereçamento	21
4.3	SENSORES DE PRESENÇA	21
4.4	SENSORES DE INTENSIDADE LUMINOSA	22
4.5	NEURON CHIP	23
4.6	PÁGINAS WEB	24
5	METODOLOGIA.....	24
6	ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS.....	32
6.1	REQUISITOS FUNCIONAIS:.....	32
6.1.1	Amostragem periódica da intensidade luminosa	32
6.1.2	Disponibilização de dados da intensidade luminosa.....	32
6.1.3	Acionamento e desligamento automático das LONpadas	
32		
6.1.4	Verificação remota de presença no laboratório	33

6.2 REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS:	33
6.2.1 Disponibilidade	33
6.2.2 Transparência	33
6.2.3 Modularidade	34
6.2.4 Flexibilidade	34
6.2.5 Manutenabilidade	34
6.2.6 Expansibilidade	34
6.2.7 Escalabilidade	34
7 ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO	35
7.1 ETAPAS GERAIS	35
7.2 LEVANTAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	36
7.3 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA	37
7.4 DESENVOLVIMENTO DAS FUNCIONALIDADES	37
7.4.1 Prova de conceito: interruptor e lâmpada	37
7.4.2 Detecção de presença de movimento	38
7.4.3 Medição do nível de intensidade luminosa	39
7.5 INTEGRAÇÃO PARCIAL	42
7.6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA NO LABORATÓRIO DAS ABELHAS	42
7.7 INTEGRAÇÃO FINAL	42
8 TESTES PARA ACEITAÇÃO E RESULTADOS	44
8.1 TESTES PARA ACEITAÇÃO DE FUNCIONALIDADES	44
8.1.1 Acurácia da intensidade luminosa amostrada	44
8.1.2 Amostragem periódica da intensidade luminosa	44

8.1.3	Disponibilização de dados da intensidade luminosa.....	44
8.1.4	Acionamento e desligamento automático das LONpadas	
	44	
8.1.5	Verificação remota de presença no laboratório	45
8.2	RESULTADOS DOS TESTES DE FUNCIONALIDADES	
	45	
8.2.1	Acurácia da intensidade luminosa amostrada	45
8.2.2	Amostragem periódica da intesidade luminosa	45
8.2.3	Disponibilização de dados da intensidade luminosa.....	46
8.2.4	Acionamento e desligamento automático das LONpadas	
	46	
8.2.5	Verificação remota de presença no laboratório	46
8.3	TESTES GERAIS	46
8.3.1	Teste do sensor detector de presença de movimento	46
8.3.2	Teste do conversor analógico-digital ADC0802	47
9	RECURSOS E INFRA-ESTRUTURA REQUERIDOS.....	48
10	CRONOGRAMA	51
11	CONCLUSÕES.....	53
12	ANEXO A	57
13	REFERÊNCIAS.....	63
14	APÊNDICE I.....	65

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual da agricultura, a necessidade de otimizar o uso dos recursos naturais, obter produtos com máxima qualidade e melhores níveis de produtividade encorajam inúmeras pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novas técnicas de produção agrícola. È nesse contexto que desponta o projeto temático “Biodiversidade e uso sustentável dos polinizadores, com ênfase em abelhas”, um estudo sobre abelhas como agentes polinizadores de modo a obter uma forma eficiente de promover a sustentabilidade da agricultura, a segurança alimentar e a conservação de plantas. Este estudo faz parte de um dos inúmeros projetos desenvolvidos pelo Programa Biota/Fapesp, um Instituto Virtual da Biodiversidade, com a finalidade de sistematizar a coleta, organizar e disseminar informações sobre a biodiversidade do Estado de São Paulo. Trata-se de um projeto multidisciplinar, que envolve, entre outros, o Laboratório de Abelhas do Instituto de Biociência da Universidade de São Paulo (IB) IBUSP e o Laboratório de Automação Agrícola da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LAA). [16]

No que concerne a participação do LAA, objetiva-se desenvolver ferramentas de tecnologia da informação para o auxílio de pesquisas em abelhas e para o compartilhamento e a divulgação do conhecimento entre a comunidade científica e com toda a sociedade. Os objetivos principais são:

- Desenvolver sistemas de instrumentação para uso em experimentos no campo e em laboratório, baseados em diversas tecnologias adequadas a cada situação;
- Desenvolver um sistema de informação para armazenar e organizar os dados coletados por cada grupo localmente;

- Integrar esses sistemas distribuídos em um portal único onde os dados podem ser compartilhados entre os pesquisadores em uma rede de pesquisa;

O uso de sistemas de instrumentação eletrônicos nos experimentos pode suprir a necessidade de métodos e ferramentas com maior acurácia, automatizados e padronizados que auxiliem os pesquisadores a coletar mais e melhores dados com menor esforço. Ao mesmo tempo eles permitem que os pesquisadores se concentrem no desenho dos experimentos de campo, e na análise dos dados coletados, ou seja, na transformação dos dados em informação e conhecimento.

Assim foi desenvolvido um sistema de instrumentalização para controle das variáveis ambientais como temperatura, umidade relativa, concentração de dióxido de carbono e outras. É neste ponto que o sistema de iluminação pode contribuir para o projeto Biota, agregando novas funções como monitoração da intensidade luminosa presente nas colméias.

1.1 DESCRIÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento apresenta o projeto de sistema de iluminação utilizando rede de controle baseada na tecnologia Lonworks®, descrevendo seu escopo e todo o seu processo de especificação, desenvolvimento e implantação. O documento é dividido basicamente em quatro partes, as quais podem ser identificadas por Definição do Escopo do Projeto, Especificação do Sistema, Processo de Desenvolvimento e Implatação e Conclusões.

A definição de escopo do projeto contém os capítulos 2, 3, 4 e 5. O capítulo 2 esclarece o objetivo do projeto de formatura, ressaltando as suas principais características. No terceiro capítulo, Justificativa, são abordadas as motivações que impulsionaram o projeto. O capítulo seguinte, Sistema de Iluminação, traz um maior detalhamento da

arquitetura do sistema e apresenta os seus componentes. Em seguida, no capítulo 5, Metodologia, explica a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto. No capítulo 6, Especificação dos Requisitos, são levados em considerações os requisitos funcionais e não-funcionais que compreendem a definição do sistema.

Os capítulos 7 e 8 representam a parte referente ao processo de desenvolvimento do sistema e testes de aceitação. Os capítulos 9 e 10 discutem, respectivamente, os recursos e infra-estrutura requeridos pelo sistema e o cronograma seguido no processo de desenvolvimento.

O último capítulo apresenta as considerações finais do grupo e os principais resultados adquiridos no desenvolvimento do projeto.

2 OBJETIVO DO PROJETO DE FORMATURA

O objetivo deste Projeto de Formatura é especificar e implementar um sistema de monitoração de variáveis ambientais através do uso de rede de controle baseada na tecnologia LonWorks®. A proposta é automatizar o processo de coleta de dados referentes à intensidade luminosa, presente nas colméias do projeto Biota, e controlar a iluminação do ambiente em torno da experiência. Esse sistema tornará possível acionar pontos de luz de acordo com a presença do usuário no ambiente e coletar os dados de luminosidade automaticamente. Para isso serão desenvolvidos nós não-proprietários que implementem as funcionalidades exigidas pelo Projeto de Formatura.

O projeto foi desenvolvido seguindo os padrões utilizados para o uso da tecnologia LonWorks®. Isso permite a construção de um sistema descentralizado e escalável que, facilmente, pode ser integrado e adaptado a novas que venham a ser implementadas no projeto Biota.

Nota: Conforme pode ser apurado mediante comparação com documentos anteriores, este projeto de formatura sofreu uma mudança de escopo, deixando-se de aplicar o sistema de iluminação para a automação de uma residência, para empregá-lo, na monitoração de variáveis ambientais do Laboratório das Abelhas do projeto Biota. Esta mudança foi sugerida pelo co-orientador, aprovada pelo orientador e teve a anuênciia do Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa, professor do comitê gestor da disciplina PCS – 2502 Projeto de Formatura II.

3 JUSTIFICATIVA

O sistema de iluminação proposto visa automatizar um processo importante de coleta de dados que até então era realizado manualmente por um observador, responsável por anotar em planilhas os níveis de intensidade luminosa para que, posteriormente, tais dados sejam analisados e relacionados com o comportamento das abelhas. Em segundo plano, tem-se o uso de sensores de presença para controlar a iluminação ao redor da experiência, com a função de acender as luzes somente enquanto houver alguém dentro do recinto, o que proporciona uma economia de energia elétrica. Ambas as funcionalidades poderão ser controladas remotamente através de qualquer terminal com acesso a rede internet.

A adoção da tecnologia LonWorks® se deve ao fato das funções já implementadas no projeto Biota constituírem uma rede de controle LonWorks®. Ademais, o uso dessa tecnologia permite que sejam alcançados os requisitos do sistema de iluminação proposto.

4 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Esse capítulo dedica-se a especificação detalhada dos componentes do sistema e a sua implementação.

4.1 ARQUITETURA GERAL

A principal tecnologia empregada nesse sistema é a LonWorks®, uma tecnologia desenvolvida pela Echelon [7] para a implementação de redes de controle baseadas em um protocolo aberto, chamado LonTalk, com a finalidade de criar soluções para automação predial, industrial e veicular. Até a algum tempo as soluções de controle eram baseadas em sistemas proprietários, onde o cliente ficava vinculado à empresa que projetou e instalou o sistema. Um sistema baseado em LonWorks® permite que equipamentos compatíveis de diferentes fabricações possam ser intercambiados, de forma que o cliente não dependa de um único fabricante durante a vida útil do sistema.

Aqui a tecnologia foi empregada na constituição da rede de controle, interligando atuadores e sensores, conforme pode ser visto na Figura 1, a qual ilustra a arquitetura do sistema de iluminação integrado com a arquitetura já implementada no projeto Biota.

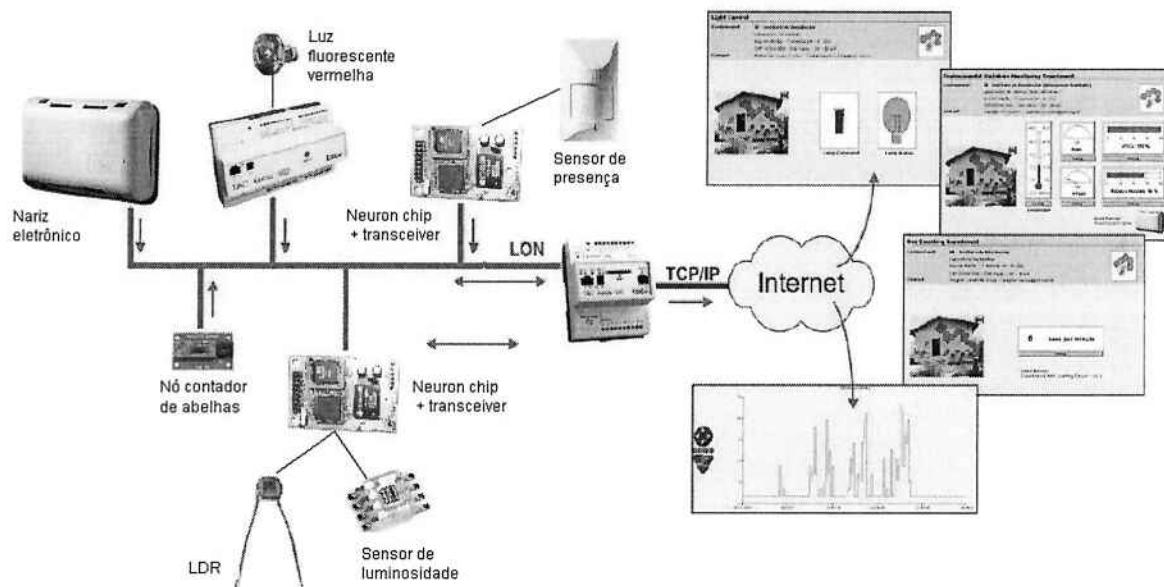


Figura 1 – Ilustração da arquitetura geral do sistema

Os seguintes componentes compõem o sistema de iluminação:

- Rede de controle;
- Sensor de intensidade luminosa;
- Sensores de presença;
- Neuron chip;
- Interface através de páginas web interativas.

Os próximos tópicos procuram detalhar melhor cada um desses componentes.

4.2 REDE DE CONTROLE

Existe uma certa semelhança entre rede LonWorks® e uma rede de dados do tipo LAN. Redes de dados são formadas por computadores, conectados a várias formas de mídia, interligados por roteadores que se comunicam entre si usando um protocolo comum como o TCP/IP. Redes de dados são otimizadas para o tráfego de grandes quantidades de dados e

o formato dos dados do protocolo de rede pressupõe que atrasos na entrega e devolução dos dados são aceitáveis. Redes de controle possuem aspectos similares otimizados para atender os requisitos de custo, desempenho e tamanho. [5]

As redes de controle tradicionais podiam ser consideradas como ilhas de controle ligadas a gateways proprietários. Esses gateways são difíceis de instalar, manter e vinculam o usuário a uma arquitetura sem interoperabilidade. O alto custo desse tipo de abordagem tem limitado o mercado para os sistemas de controle. O sistema LonWorks® vai além das capacidades dos sistemas centralizados provendo interoperabilidade, tecnologia robusta, rápido desenvolvimento e economia de escala.

Distribuindo os processos pela rede e permitindo o acesso livre por qualquer dispositivo, diminui-se o custo do ciclo de vida geral, aumenta-se a confiabilidade ao minimizar os pontos de falhas e provê-se a flexibilidade de adaptar o sistema a uma ampla variedade de aplicações.

A empresa Echelon fabrica diversos produtos LonWorks® de forma a auxiliar desenvolvedores, integradores de sistemas e usuários finais a implementar as redes LonWorks®. Esses produtos fornecem soluções LonWorks® completas, incluindo ferramentas de desenvolvimento, software para gerenciamento de rede, transceivers, módulo de controle, suporte técnico e treinamento.

4.2.1 Plataforma LonWorks®

Dispositivos em uma rede de controle LonWorks® se comunicam entre si através de um protocolo LonWorks®. Isso provê um conjunto de serviços que permite aos programas de aplicação dos dispositivos trocar mensagens entre si, não sendo necessário conhecer a topologia ou o nome dos outros dispositivos, endereço ou função específica. [5]

O protocolo LonWorks®, opcionalmente, pode prover reconhecimento de mensagens fim-a-fim, autenticação de mensagens e definir prioridade de entrega de mensagens. Suporte para serviço de

gerenciamento de rede permite que uma ferramenta de serviço de gerenciamento de rede possa atuar sobre os dispositivos na rede, e isso permite:

- Reconfigurar endereços e parâmetros de rede;
- Carregar programas aplicativos;
- Reportar problemas de rede;
- Iniciar, parar e reiniciar programas aplicativos nos dispositivos

O protocolo LonWorks® e, então, uma rede de controle LonWorks®, pode ser implementado sobre praticamente qualquer meio, incluindo linhas de energia elétrica, par trançado, rádio freqüência, infra vermelho, cabo coaxial e fibra ótica.

Os seguintes elementos estão disponíveis sobre LonWorks®:

- **Protocolo de comunicação.** Esse protocolo forma a base da tecnologia da rede de controle LonWorks®.
- **Microprocessador dedicado.** Criado pela Echelon, esse processador, também conhecido por Neuron chip, é altamente otimizado para dispositivos sobre uma rede de controle. Neuron chips possuem três processadores de oito bits: dois deles são dedicados para o protocolo de comunicação e o último processador é utilizado para aplicações gerais.
- **Transceiver.** Esses componentes transmitem as mensagens sobre um meio específico, tal como par-trançado ou rádio freqüência.
- **Banco de dados da rede.** Conhecido como LNS Network Operating System, esse banco de dados é um componente de software requerido por sistemas de controle abertos. Essa banco garante um ambiente aberto para extensão, manutenção e gerenciamento de sistemas baseado em LonWorks®.

- **Conectividade com a internet.** Aplicações padronizadas e os tipos de variáveis padrão de rede, SNVTs, podem ser transmitidas pela internet fazendo-se uso de Webservices.
- **Interoperabilidade.** Interoperabilidade significa que dispositivos criados por diferentes fabricantes podem trabalhar juntos sem a necessidade de utilização de um gateway para a tradução de dados de um dispositivo para outro. Interoperabilidade em LonWorks® é gerida por LonMark International Group, o qual mantém um guia de interoperabilidade, cria e testa padrões de aplicações e certifica produtos.

4.2.2 Nós LonWorks

Os nós LonWorks são componentes eletrônicos compostos basicamente por 4 elementos: [6]

- Microprocessador que implementa o protocolo de comunicação LonTalk: Este microprocessador é responsável por implementar a inteligência que possibilita a comunicação do nó através da rede de controle. Opcionalmente o microprocessador pode executar a aplicação que implementa a funcionalidade no nó.
- Transceiver: O transceiver é responsável por ligar o nó ao canal físico. Existem vários tipos de transceivers e a maioria deles é desenvolvida para ser acoplada a um Neuron chip. Dentre os transceivers disponíveis temos para par trançado, fibra óptica, rádio freqüência e para rede elétrica.
- Eletrônica de Suporte: São sensores, atuadores, displays, teclados, e outros dispositivos do gênero, que podem ser acoplados ao nó, para que o mesmo possa interagir com o meio,

em que se encontra. No caso desse projeto, foram acoplados os sensores de presença e de intensidade luminosa.

- Microcontrolador Adicional (opcional): Caso o desenvolvedor não esteja interessado em executar a aplicação, que dá funcionalidade ao nó, no microprocessador que implementa o protocolo LonTalk, o mesmo pode executá-la em um microprocessador adicional.

Na Figura 2 e na Figura 3 existem dois diagramas de blocos da implementação de um nó LonWorks:

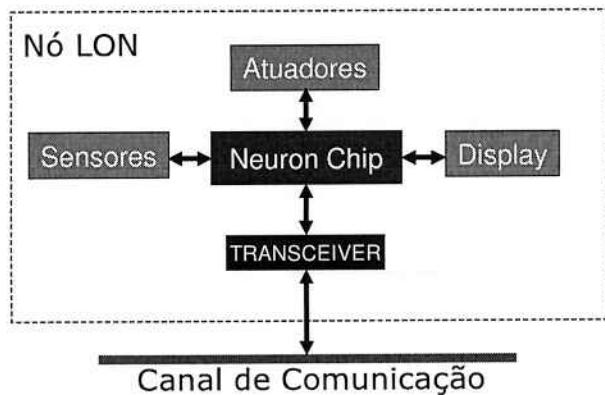


Figura 2 – Diagrama de Blocos de um nó LonWorks® com Neuron chip

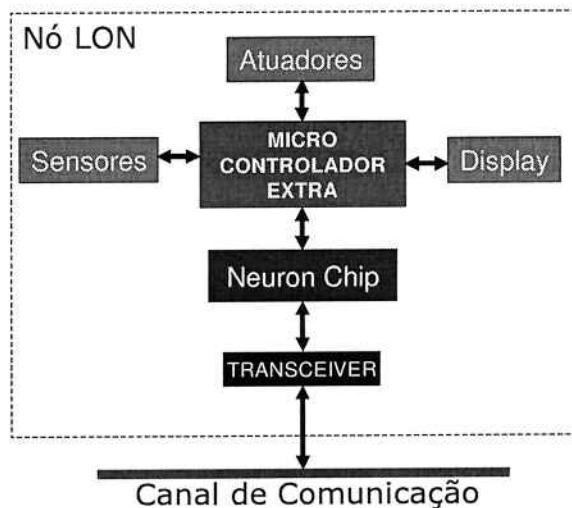


Figura 3 – Diagrama de Blocos de um nó LonWorks® com aplicação sendo executada em um microcontrolador adicional

4.2.3 Neuron C

As aplicações executadas nos Neuron chips dos nós podem ser escritas em uma linguagem de programação denominada Neuron C. Ela se baseia na linguagem ANSI C com algumas importantes extensões: [2] [3] [8]

- Um novo tipo de declaração *when*, que introduz o conceito de eventos e define a ordem de execução de tarefas;
- 37 tipos de dados adicionais, 35 objetos de E/S e 2 objetos de temporização (*timer*), para simplificar e padronizar o controle dos dispositivos;
- Mecanismos integrados de passagem de mensagens para variáveis de rede e outros tipos de mensagens (mais detalhes na seção 4.1.2).

A maior diferença entre o Neuron C e o ANSI C é que o Neuron C é uma linguagem orientada a eventos. Isso implica que os programas escritos em Neuron C não possuem uma chamada principal, possuindo, de fato, um conjunto de tarefas. [6]

```

when ( evento1_ocorrer ) {
    tome_ação_necessária1
}

when ( evento2_ocorrer ) {
    tome_ação_necessária2
}

when ( evento3_ocorrer ) {
    tome_ação_necessária3
}
...

```

Figura 4 – Exemplo de código em Neuron C

Nesse modelo de programação, as aplicações dos nós são desenvolvidas com base na ocorrência de determinados eventos em certos

pontos da rede ou em outros dispositivos. Durante o funcionamento da rede, cada aplicação recebe a notificação desses eventos automaticamente. Isso reduz significativamente o tráfego de dados pela rede, melhorando o desempenho do sistema como um todo.

4.2.4 Protocolo LonTalk

A tecnologia LonWorks® possibilita o desenvolvimento de dispositivos interoperáveis através da implementação do protocolo ANSI/EIA 709.1, também conhecido como LonTalk, e da atuação do órgão normalizador LonMark [17]. [8]

A tecnologia LonWorks® foi desenvolvida em uma arquitetura de camadas, baseada na transmissão de pacotes e em uma arquitetura de comunicação que segue o modelo peer-to-peer. Nesse modelo não existe um dispositivo mestre que estabelece a comunicação entre dois dispositivos. Ao invés disso, os dispositivos de controle são livres para se comunicar diretamente entre si. Isso reduz gargalos e previne erros no sistema que poderiam ocorrer em caso de falha do dispositivo mestre.

Essas características tornam o LonTalk escalável, robusto e facilmente adaptável para qualquer implementação e aplicação complexa, independente do meio físico.

As camadas do protocolo LonTalk seguem o padrão de referência da ISO, ou seja, o modelo OSI. A seguir estão descritas as sete camadas desse modelo e os serviços disponíveis em cada uma delas, de acordo com [1].

- Camada Física: Responsável pela transmissão dos bits através do canal de comunicação. Essa camada define os padrões de transmissão, tais como: nível de voltagem, a codificação de linha utilizada, etc.
- Camada de Enlace: Essa camada define os métodos para acesso ao meio de transmissão, quando esse acesso é

compartilhado, e a codificação dos dados, de forma a garantir o uso eficiente do canal de transmissão. Através da camada de enlace, os bits são separados em conjuntos, denominados frames. Nesse nível também é definida uma forma de prioridade para a transmissão.

- Camada de Rede: Essa camada se responsabiliza pelo roteamento de uma mensagem, da origem para o seu destino. O destino pode ser um, ou vários nós em uma rede. A camada de rede define o endereçamento lógico dos elementos na rede e através desses endereços o roteamento das mensagens é realizado por ela.
- Camada de Transporte: A função básica da camada de transporte é assegurar que uma mensagem enviada será recebida pelo seu destino, ou seja, essa camada garante o transporte fim a fim das mensagens de forma confiável.
- Camada de Sessão: A camada de sessão é responsável por estabelecer sessões entre dois ou mais usuários, em diferentes máquinas, garantindo a sincronização e o controle do diálogo entre os usuários. Ela adiciona controle de troca de dados às camadas mais inferiores, fornecendo suporte a ações remotas, como a requisição de cliente a um servidor.
- Camada de Apresentação: A camada de apresentação reconhece a estrutura e o formato dos dados recebidos e encaminhados para as camadas inferiores. No caso do protocolo ION, as mensagens podem conter dados como variáveis da rede e aplicações. A camada de apresentação é responsável por especificar devidamente esses dados, de acordo com a definição das SNVTs.
- Camada de Aplicação: Essa camada define os serviços de rede para os processos das aplicações, ou seja, a camada de aplicação

adiciona a compatibilidade dos dados transferidos pelas camadas inferiores com as aplicações definidas.

Dentro do protocolo LonTalk, a comunicação entre dois ou mais elementos na rede é realizada através da transmissão de um ou mais pacotes entre eles. Como no modelo OSI, ao passar por cada camada, é acrescentado um cabeçalho ao corpo da mensagem e os dados são encapsulados dentro de um pacote. Este procedimento está na Figura 5.

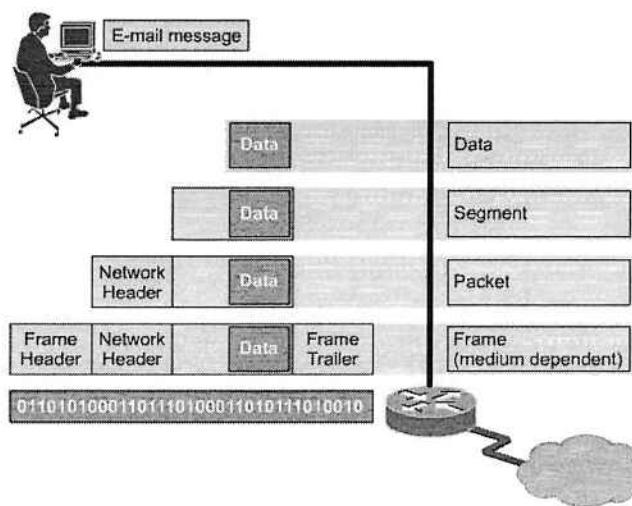


Figura 5 – Exemplo de encapsulamento de dados

Pode-se dizer que um dos pontos fundamentais do protocolo LonTalk é a implementação do conceito inovador de variáveis de rede, que são responsáveis pela disseminação dos dados através da rede LonWorks®. As variáveis de rede (*network variables* ou NVs) representam as informações que a aplicação de um dispositivo espera receber de outros nós (variáveis de entrada), a fim de executar suas funções, ou que ela deseja fornecer para os demais nós da rede (variáveis de saída). Estas variáveis de rede recebem o nome de standard network variables ou SNVTs, quando seguem uma estrutura padrão já definida na linguagem Neuron C.

Através da associação de variáveis de entrada de um nó com variáveis de saída de outro, as informações são trocadas entre os

dispositivos. Esta associação é realizada através de um processo denominado *binding*, que pode ser traduzido como conexão, entre as variáveis de rede, e da atuação do protocolo LonTalk presente em cada Neuron chip. O processo de *binding* cria ligações lógicas entre uma variável de saída de um dispositivo e a variável de entrada de outro.

A abstração alcançada com as conexões lógicas entre as variáveis de rede proporciona uma visão de alto nível sobre o sistema, eliminando a necessidade de conhecer detalhes de seu funcionamento interno como endereçamentos, topologias de rede e roteamento. O sistema pode ainda ser facilmente alterado através da modificação destas conexões, sem a necessidade de alteração do programa dos dispositivos. Para tanto, basta se refazer os *bindings* entre suas variáveis de rede.

É interessante notar também que cada variável de rede possui um tipo que define as unidades, a escala e a sua estrutura de dados. Variáveis de entrada só podem ser conectadas a variáveis de saída do mesmo tipo. Isso previne a ocorrência de erros como ligar variáveis que representam dados diferentes.

4.2.5 Canais de comunicação

Dentro do padrão LonWorks®, um canal é um específico meio de comunicação que contém elementos da rede. O principal tipo de canal utilizado para a comunicação é o par trançado. Como o protocolo LonTalk não depende do meio de comunicação, em uma mesma rede pode-se utilizar diversos canais diferentes, desde que a interligação dos canais seja efetuada adequadamente.

Cada tipo de canal de comunicação possui diferentes características, as principais especificações desses canais estão listadas na tabela abaixo:

Tabela 1 – Características dos transceivers

Tipo do Canal	Meio	Taxa de Transmissão	Transceivers Compatíveis	Nº máximo de elementos por canal	Distância máxima
TP/FT-10	Par-Trançado	78kbps	FTT-10, FTT-10A, LPT-10	64-128	500m
TP/XF-1250	Par-Trançado	1,25Mbps	TPT/XF-1250	64	125 m
PL-20	Rede Elétrica	5,4kbps	PLT-20,PLT-21, PLT-22	Varia conforme o ambiente	Varia conforme o ambiente
IP-10	LonWorks over IP	Determinado Pela Rede IP	Determinado pela Rede IP	Determinado pela Rede IP	Determinado pela Rede IP

4.2.6 Acesso ao meio de transmissão

A maioria dos protocolos de rede implementa um protocolo específico para o controle de acesso ao meio de transmissão, este protocolo é de grande importância, principalmente para meios de transmissão compartilhados com mais de dois elementos.

O protocolo de controle de acesso ao meio é quem indica em qual instante o elemento deve colocar o dado na linha de transmissão e o que fazer em caso de colisões, ou seja, no caso em que dois ou mais elementos pretendem transmitir dados no mesmo instante. Esses protocolos devem ser projetados para evitar ao máximo o número de colisões e fornecer um consumo eficiente dos meios de transmissão, mesmo quando o meio está carregado.

Para o protocolo LonWorks foi especificado o algoritmo predictive p-persistent CSMA [20], esse algoritmo foi escolhido por apresentar os requisitos necessários para a implementação de redes de controle, diferentemente de algoritmos utilizados em redes Ethernet, esse tipo de controle garante um bom desempenho do sistema, mesmo em situações em que a rede está sobrecarregada, minimizando sempre o número de colisões em um determinado canal.

4.2.7 Endereçamento

Os pacotes na rede podem ser endereçados de três maneiras diferentes. Esses pacotes podem ser endereçados para um único dispositivo, para um grupo de dispositivos, ou para todos os dispositivos na rede. Abaixo segue uma descrição detalhada de cada tipo de endereço.

Single Address: Quando o pacote recebe esse tipo de endereço de destino, ele é endereçado a um único dispositivo na rede. O seu endereçamento é direto ao seu destinatário.

Group Address: Um grupo é uma coleção lógica de dispositivos dentro de um domínio. Quando o pacote recebe esse tipo de endereço de destino, ele é endereçado a todos os elementos de um determinado grupo. Podem existir 64 dispositivos em um grupo e um total de 255 grupos dentro de um domínio.

Broadcast Address: Um endereço de broadcast é utilizado para endereçar todos os dispositivos de uma subrede, ou até mesmo de um domínio.

4.3 SENsoRES DE PRESENÇA

Os sensores de presença utilizados foram os sensores DCI-300, um tipo de sensor infravermelho passivo com dector piroelétrico. Possui regulagem da faixa de detecção: longa de 4 a 15 metros, média de 3 a 10 metros e curta de 2 a 8 metros. Este tipo de sensor capta a variação de movimentos de corpos que emitem infravermelho. Maiores detalhes podem ser obtidos no Apêndice I.

4.4 SENsoRES DE INTENSIDADE LUMINOSA

Para aferição dos níveis de intensidade luminosa empregou-se o sensor TSL2550 e, também, um LDR, visando atingir um nível de acurácia condizente com a luminosidade real do ambiente.

O sensor TSL2550 mede a intensidade luminosa através da combinação de dois fotodiodos. Um deles é sensível principalmente a radiações na faixa do espectro da luz visível e infravermelha, enquanto o outro é sensível, principalmente, às radiações do espectro infravermelho. O processo para medição da luminosidade incidente consiste em usar o valor aferido por esse último fotodiôdo para compensar o efeito do componente infravermelho da radiação ambiente sobre o valor medido pelo primeiro fotodiôdo, de modo que seja obtido um valor que se aproxima da resposta percebida por um olho humano. Essa valor obtido possui como unidade de medida o lux.

O LDR tem como característica a variação de sua resistência elétrica de acordo com a luminosidade incidente. Sua resistência diminui quando a luminosidade é alta, e aumenta quando a luminosidade é baixa.

Estes são os resultados típicos para um LDR padrão de 5 mm:

- Escuridão: resistência elevada, da ordem de dezena de $M\Omega$.
- Claridade: resistência baixa, da ordem de centenas de Ω .

O LDR adquirido para esse projeto possui um diâmetro um pouco menor, de aproximadamente 5mm. O LDR é muito freqüentemente utilizado nas chamadas fotocélulas que controlam o acendimento de poste de iluminação e luzes em residências.

Para maiores detalhes sobre os dois sensores ver seus datasheets no Apêndice I.

4.5 NEURON CHIP

O Neuron chip é um microcontrolador desenvolvido pela Echelon que visa facilitar a criação de nós para rede LonWorks®. Os Neuron chips trabalham internamente com 3 processadores (acesso ao meio, rede e aplicação). O processador de acesso ao meio é responsável por receber e enviar mensagens e verificar se as mesmas estão chegando ao destino correto.

O processador de rede tem a função de implementar as camadas centrais do protocolo LonTalk, realizando as atividades relacionadas, tais como as atividades de endereçamento, verificação de envio fim-a-fim e detecção de mensagens duplicadas.

O processador de aplicação executa o aplicativo programado pelo desenvolvedor do nó. Este aplicativo dá vida ao nó fazendo com que o mesmo execute procedimentos e funções para interagir com o meio em que o nó se encontra instalado.

Há várias razões para justificar a arquitetura do Neuron chip utilizando três processadores. A principal delas é separar o processamento de rede e de aplicação. Com processadores separados, se a aplicação estiver sobrecarregada, os serviços de recepção e transmissão de mensagens não serão comprometidos. Por outro lado, se a comunicação estiver ocupada, o processador da aplicação pode continuar processando o algoritmo de controle local.

Para a implementação do sistema de iluminação foram utilizados dois Neuron chips fornecidos pela empresa Conceito Tecnologia [9]. A Figura 6 ilustra esses Neuron chips já interligados aos seus transceiver e aos seus respectivos sensores e à rede, na qual já existem outros Neuron chips, por exemplo, para controlar o acinamento da lâmpada.

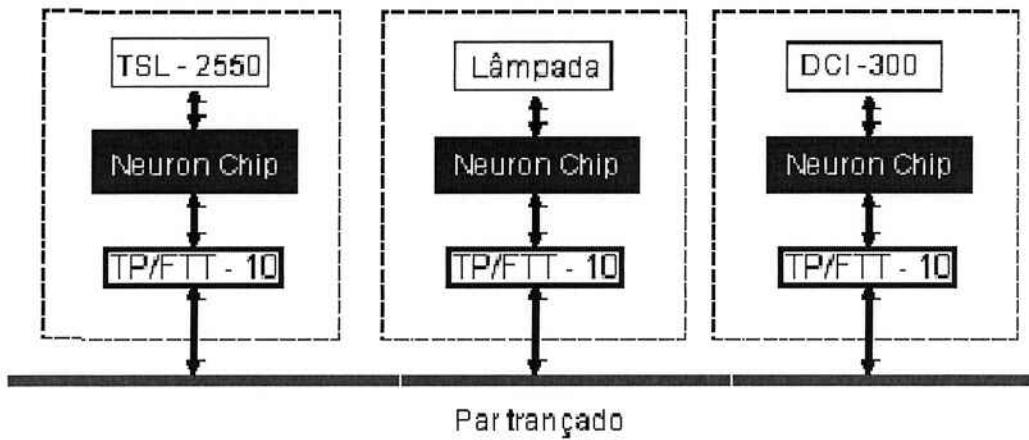


Figura 6 – Ilustração dos nós utilizados

4.6 PÁGINAS WEB

As páginas web constituem a forma como é realizada a interface entre o sistema de iluminação e o usuário, permitindo a monitoração dos níveis de intensidade luminosa, bem como o acesso aos dados coletados e armazenados no banco de dados, além do controle do acionamento das lâmpadas no ambiente da experiência e a verificação de presença de pessoas no laboratório. Essas páginas foram desenvolvidas através do módulo TAC XENTA 511 [23] [24], este módulo permite que seja feita a comunicação de uma rede ethernet TCP/IP com a rede de controle LonWorks®. Assim, através de um PC pode-se programar os módulos da rede LonWorks®. Além disso, esse módulo é um web server, o que permite a criação de um site de operação e monitoramento da rede de controle. Para a configuração da rede e programação dos nós foram usadas as ferramentas do pacote VISTA da empresa TAC. [21] [22]

5 METODOLOGIA

No desenvolvimento do projeto em questão, foi importante o empreendimento de uma abordagem estruturada do problema, através do

uso de metodologias de projeto, que podem ser vistas como um estudo dos princípios e procedimentos para a criação de projetos. Através delas pôde-se deduzir a estrutura e os elementos constitutivos do sistema, de modo a satisfazer as especificações dadas. [15]

Duas metodologias clássicas de projeto são sempre apresentadas em qualquer literatura do gênero:

- Bottom-up: as partes ou módulos do sistema são inicialmente projetados e testados separadamente, antes de serem combinados para constituir um sistema maior. Nesta abordagem, o projetista vai do nível mais detalhado para o mais abstrato, expandindo e modificando os componentes, de modo a atender aos requisitos do sistema.
- Top-down: é o método mais popular utilizado pelos engenheiros para o projeto de quase todos os tipos de sistemas. É utilizado o processo de decomposição e refinamento sucessivo para que o objetivo final seja atingido. Tenta-se identificar todas as funções do sistema, que são particionadas em subfunções menos complexas, cada uma desempenhando uma tarefa específica. Sucessivamente as subfunções também são subdivididas em tarefas menos complexas, até que se atinja subfunções de baixa complexidade e, portanto, de fácil implementação e teste. Assim, pode-se reduzir a complexidade do software e do hardware de um sistema a proporções gerenciáveis.

Os especialistas consideram a metodologia top-down mais lógica e sistemática do que a bottom-up. A cada subdivisão das funções, maior quantidade de detalhe é acrescentada. Parte-se de um nível conceitual, observando-se a estrutura global e ampla do sistema, antes do acréscimo de mais detalhes. Essa metodologia favorece também a manutenção de um nível de qualidade constante, através de pontos de avaliação ao longo

de todo o projeto. Trata-se de uma metodologia fundamental para o projeto de software e de sistemas como um todo.

O processo de desenvolvimento desses sistemas visa obedecer a uma dada especificação a custos e performance competitivos. Isso requer a organização das diversas partes do sistema de forma coerente e eficiente. Para tal, é necessária a tradução das especificações do sistema a ser implementado em uma arquitetura constituída por unidades funcionais de tecnologia eletrônica.

O elevado estágio de qualidade e sofisticação das tecnologias de hardware e de software atualmente não é, por si só, garantia de satisfação tanto dos usuários dos sistemas, que desejam confiabilidade e funcionalidade, como dos que os desenvolvem e os fornecem, que enfrentam longos processos de depuração, a altos custos. O aproveitamento efetivo das potencialidades da tecnologia, e também dos recursos humanos, é muito dependente da metodologia de desenvolvimento selecionada.

A seguir, é apresentado um modelo de desenvolvimento de sistemas, com fácil aplicabilidade à área de supervisão e de controle de processos. A metodologia proposta é sustentada por dois fundamentos:

- A interação entre a realidade e o pensamento;
- A interação entre o problema e a solução.

Dois planos fundamentais são caracterizados, como mostra a Figura 7:

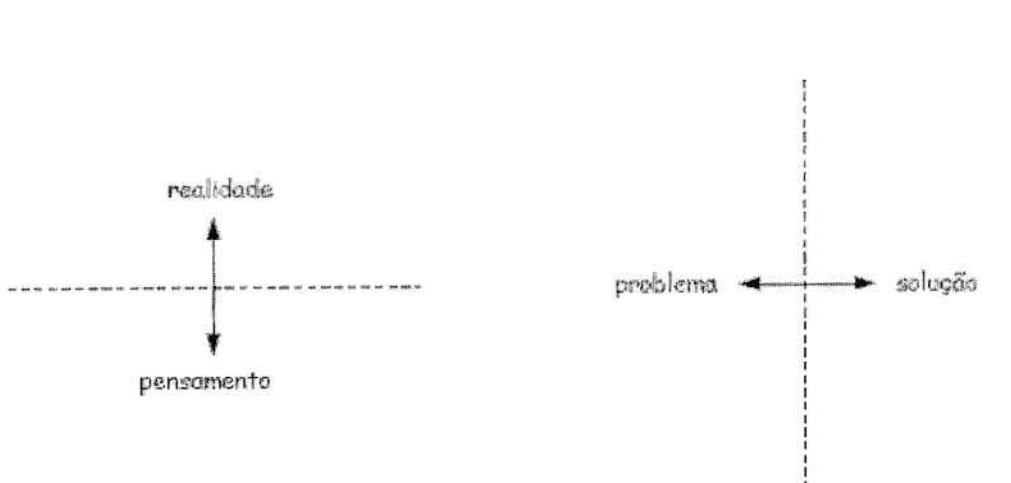


Figura 7 –Interações entre a realidade e o pensamento e entre o problema e a solução

- O plano da realidade, correspondendo ao mundo físico, constituído por entidades não transformáveis pela intervenção do homem, como o espaço e o tempo, e por entidades que podem ser transformadas pela intervenção do homem, como os objetos e as ações;
- O plano do pensamento, correspondendo ao mundo abstrato, constituído por noções de espaço e de tempo, e por ações e objetos abstratos.

Nesses planos, têm-se dois conceitos associados:

- O problema, correspondendo à impossibilidade de uma ação desejada pelo homem, ou à sua pouca eficiência;
- A solução, associada à superação de impossibilidades ou melhorias na realidade existente através de uma ação.

A metodologia de desenvolvimento de sistemas em questão corresponde a interações entre o problema e a solução, nos planos da realidade e do pensamento.

Definem-se quatro tipos de ações entre os elementos do modelo (Figura 8):

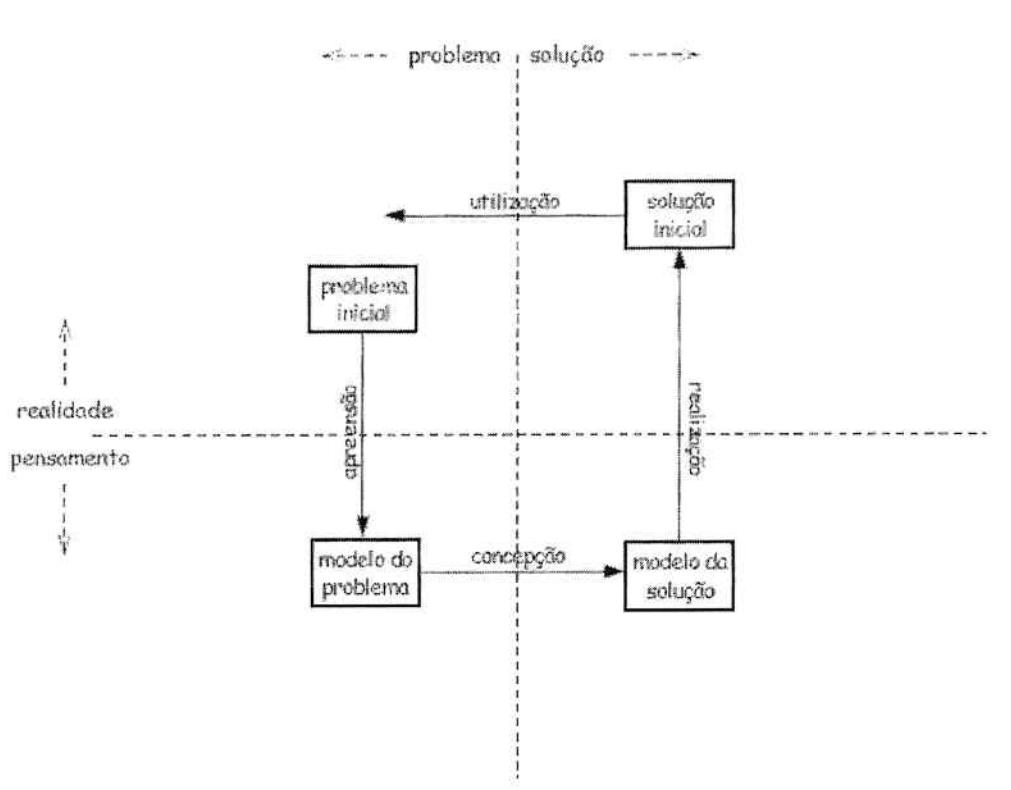


Figura 8 –Atividades de um projeto de engenharia

- A apreensão, ou forma de construção de uma representação abstrata para um problema real;
- A concepção, ou criação da solução para um problema no plano do pensamento;
- A realização, ou a construção de uma solução no plano da realidade;
- A utilização, ou a instauração da solução no ambiente do problema.

O exercício dessas ações como procedimento de resolução de um problema inicial, também denominado de demanda inicial, poderá acarretar transformações na realidade, dando origem a novas

transformações, a partir de uma redefinição do problema. Tem-se, pois, uma espiral evolucionária, que contribui com sucessivos aprimoramentos na solução, até que esta atinja um índice de qualidade satisfatório (Figura 9).

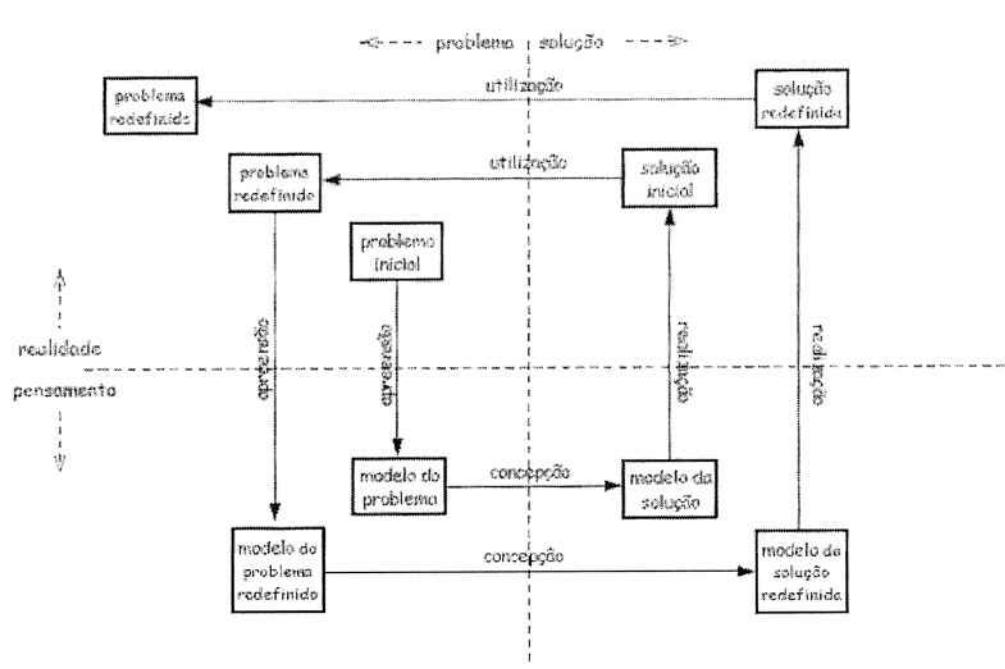


Figura 9 –Aspectos evolucionários de um projeto de engenharia

Na aplicação da metodologia apresentada, para o desenvolvimento de um sistema de supervisão e de controle, podem ser identificados basicamente duas grandes fases: a sua especificação e a sua implementação.

A especificação de um sistema se caracteriza pela obtenção de uma solução para o usuário, com auxílio da metodologia em questão. Contudo, ela também corresponde a um problema inicial para quem vai desenvolver ou fornecer o sistema, devendo o mesmo ser tratado como sugere a metodologia.

Outro aspecto comum de ser identificado na fase de implementação é a decomposição do problema original em problemas menores, e, portanto, menos complexos, e individualmente de maior

simplicidade de implementação. Pode-se, assim, proporcionar sucessivas divisões do sistema a ser implementado em termos de subsistemas, até a obtenção de modelos de maior facilidade de implementação.

O projeto foi desenvolvido utilizando-se a metodologia top-down, segundo a qual parte-se de definições abrangentes e vai-se detalhando as tarefas até chegar na menor unidade possível de atividade, denominada pacote de trabalho.

Além da metodologia top-down, a metodologia do projeto envolveu o uso da metodologia do modelo espiral para o desenvolvimento da parte de software do projeto.

Esse modelo espiral é baseado no princípio do desenvolvimento incremental, onde novas funções são adicionadas a cada iteração. A cada repetição de um ciclo, gera-se uma nova versão do software, obtendo um produto mais próximo do proposto como meta. As seguintes fases compõem um ciclo: [18]

- Especificação de Requisitos: tradução da necessidade ou requisito operacional para uma descrição da funcionalidade a ser executada.
- Projeto de Sistema: tradução destes requisitos em uma descrição de todos os componentes necessários para codificar o sistema.
- Implementação: produção do código que controla o sistema e realiza a computação e lógica envolvida.
- Verificação e Validação: verificação da satisfação dos requisitos iniciais e validação do produto produzido.

Percorre-se a espiral do centro para fora, atingindo como resultado na sua saída o produto final almejado. Veja a seguir uma ilustração Figura 10) de um modelo de desenvolvimento de software em espiral.

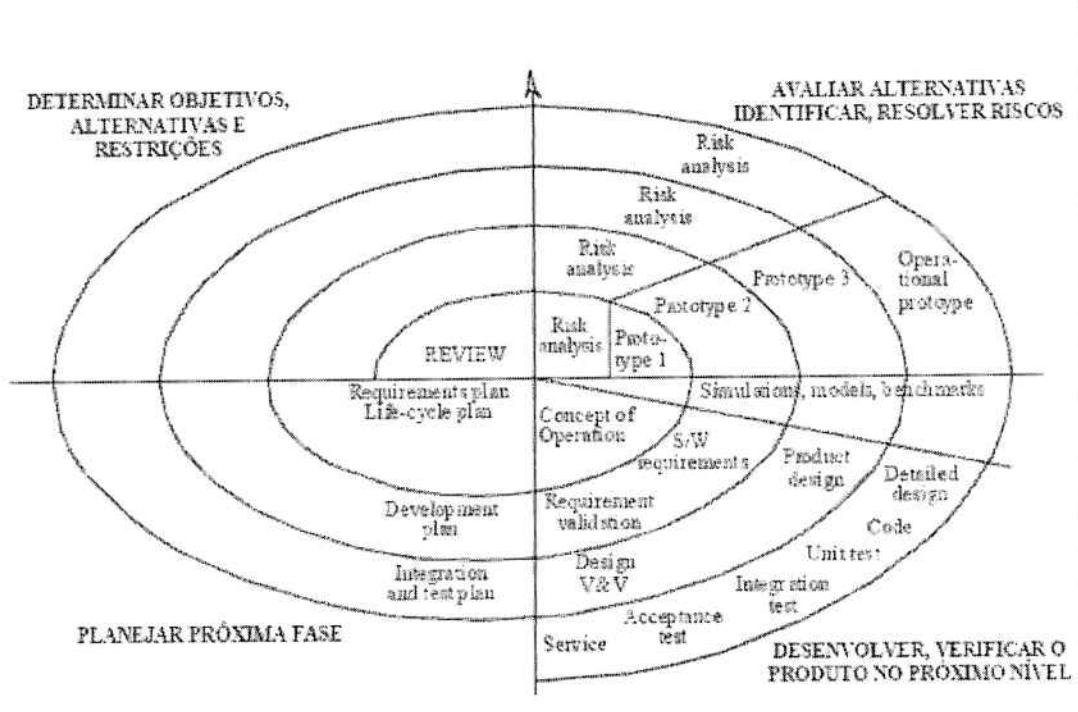


Figura 10 –Diagrama do modelo Espiral

As vantagens deste modelo são:

- Permite que ao longo de cada iteração se obtenham versões do sistema cada vez mais completas, recorrendo à prototipagem para reduzir os riscos de interpretações equivocadas.
- Permite acompanhar o refinamento do projeto, refletindo, de uma forma bastante realística, o processo de desenvolvimento.

6 ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS

Como descrito anteriormente, o sistema proposto implementa uma forma de monitoramento e controle de variáveis ambientais. Para garantir uma implementação eficiente e eficaz do sistema proposto é de extrema importância que o sistema atenda os requisitos descritos abaixo.

6.1 REQUISITOS FUNCIONAIS:

6.1.1 Amostragem periódica da intensidade luminosa

O sistema deve ser capaz de amostrar e armazenar os níveis de intensidade luminosa, com um intervalo de 30 segundos. Esse intervalo foi definido aleatoriamente, não sendo considerado nenhum aspecto meteorológico para sua escolha. O instante de captura da amostra também deve ser armazenado.

6.1.2 Disponibilização de dados da intensidade luminosa

O sistema deve exibir ao usuário a intensidade luminosa instantânea, cujo delay pode ser de no máximo 2 minutos, e também um histórico das intensidades luminosas amostradas. O período do histórico desejado será determinado pelo usuário.

O horário de captura da amostra de intensidade luminosa deve ser amostrado juntamente com a intensidade.

6.1.3 Acionamento e desligamento automático das LONpadas

Ao se detectar a presença de um usuário no laboratório, o sistema deve acionar automaticamente a iluminação do local.

Ao se detectar que nenhum usuário se encontra mais no laboratório, o sistema deve desligar automaticamente a iluminação do local.

6.1.4 Verificação remota de presença no laboratório

Um usuário pode verificar remotamente se algum outro usuário se encontra no laboratório.

6.2 REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS:

6.2.1 Disponibilidade

O sistema de iluminação por se tratar de um item de relativa importância para o experimento deve ser projetado para ter uma alta disponibilidade. Baseado nos dados dos componentes eletrônicos do sistema que será desenvolvido, tem-se:

$$\text{MTTR} = 20 \text{ horas}$$

$$\text{MTBF} = 10.000 \text{ horas}$$

Isto implica em uma disponibilidade do servidor de 99,8 %.

Outro fator importante na garantia da disponibilidade é o fato de redes baseadas na tecnologia LonWorks® possuírem nós independentes, ou seja, a falha de um nó não prejudicará a comunicação entre os outros elementos da rede.

6.2.2 Transparência

O sistema será transparente aos usuários, e isto é bastante importante, pois o público que manipulará o sistema pertence em sua maioria à área biológica, não possuindo responsabilidade de compreender detalhes técnicos do sistema.

6.2.3 Modularidade

A rede deve ser modular. Esse requisito é muito importante para o caso de futuras expansões e até mesmo para facilitar a detecção e isolar os problemas causados na rede.

6.2.4 Flexibilidade

A arquitetura física da rede deve ser flexível, de forma a fornecer sempre a melhor solução para a sua implementação. A flexibilidade proposta deve garantir a implementação de diferentes meios de transmissão, optando-se sempre pela melhor relação custo-benefício.

6.2.5 Manutenabilidade

Os requisitos de manutenabilidade são importantes para o projeto da arquitetura, sendo esses essenciais para a operação da rede em questão. A implementação física da rede deve levar em consideração a manutenabilidade do sistema em operação, ou seja, o planejamento deve levar em consideração que a manutenção, ou a substituição, dos equipamentos da rede não deve realizar grandes alterações na experiência, diminuindo o impacto causado por tal manutenção.

6.2.6 Expansibilidade

O sistema deve ser expansível, pois assim permitirá que a instalação de novas funções seja feita sem detimento do sistema.

6.2.7 Escalabilidade

A escalabilidade do sistema deve ser possível para que se possa aumentar a quantidade de sensores e atuadores dentro da mesma rede sem prejudicar seu desempenho perante os demais requisitos.

7 ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO

7.1 ETAPAS GERAIS

O projeto foi implementado através das seguintes etapas gerais:

- Levantamento e especificação de requisitos;
- Especificação de requisitos;
- Levantamento das características da tecnologia;
- Desenvolvimento das funcionalidades;
- Integração parcial;
- Implementação do sistema no Laboratório das Abelhas;
- Integração final.

Cada uma dessas etapas será detalhada nos itens seguintes desse capítulo.

A divisão de tarefas entre os integrantes do grupo pode ser vista no Capítulo 10 -

Cronograma.

7.2 LEVANTAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

Nessa etapa, foi realizada uma busca de informações sobre as principais aplicações do uso de automações em um ambiente, visitando sites de empresas especializadas e de universidades onde está em desenvolvimento a aplicação da tecnologia LonWorks® para novas funcionalidades.

Através de conversas com o professor orientador e de *brainstorm* entre os integrantes do grupo, optou-se por projetar um sistema de iluminação. Inicialmente, o sistema de iluminação estava focado em aplicações residenciais para aumento do conforto do usuário e economia de energia.

Partiu-se então para a especificação de requisitos, o qual formaliza e concretizava as funcionalidades a serem atendidas pelo sistema de iluminação.

Contudo, no início do mês de novembro, o sistema de monitoração de variáveis do Laboratório das Abelhas foi inaugurado, e o co-orientador sugeriu que o sistema de iluminação sofresse algumas alterações para que fosse implementado no Laboratório das Abelhas. Como as alterações necessárias possuem impacto relativamente pequeno sobre o que fora inicialmente projeto, a sugestão foi aceita e foram definidas as funcionalidades já descritas no capítulo 5.

7.3 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA

Nessa etapa foi realizado um aprofundamento no estudo da tecnologia disponível para a construção do produto a ser projetado, para aumentar o conhecimento de suas capacidades e limitações, permitindo um melhor uso dos recursos disponibilizados.

Além de buscas de implementações da tecnologia e do aprofundamento técnico através de literatura e páginas da web, o fundamental para que essa etapa fosse realizada com sucesso foi a criação, pelo LAA, do grupo de estudos sobre a tecnologia LonWorks®.

As atividades do grupo ficaram mais concentradas nos meses do meio do ano, de maio a agosto, e foram baseadas principalmente em palestras com explicação teórica e demonstração prática de profissionais da empresa Conceito Tecnologia.

7.4 DESENVOLVIMENTO DAS FUNCIONALIDADES

Definidas as funcionalidades a serem atendidas pelo sistema e de posse de conhecimento da tecnologia LonWorks®, iniciou-se o processo de desenvolvimento do sistema.

7.4.1 Prova de conceito: interruptor e lâmpada

Para a realização dessa prova de conceito foram utilizados os softwares LonMaker for Windows e Microsoft Visio acoplado a um plug-in fornecido pela Echelon.

Essa etapa foi realizada com a finalidade de se comprovar e consolidar os conhecimentos adquiridos. Realizou-se a montagem de um sistema simples que consistia na montagem de uma rede de controle

LonWorks® consituída por dois nós, sendo que um possui um botão, e o outro, uma lâmpada. Através desse sistema, os conceitos de variáveis de rede, blocos funcionais e as características da linguagem Neuron C puderam ser provadas e consolidadas.

Um esquema do sistema de interruptor e lâmpada pode ser visto na Figura 11.

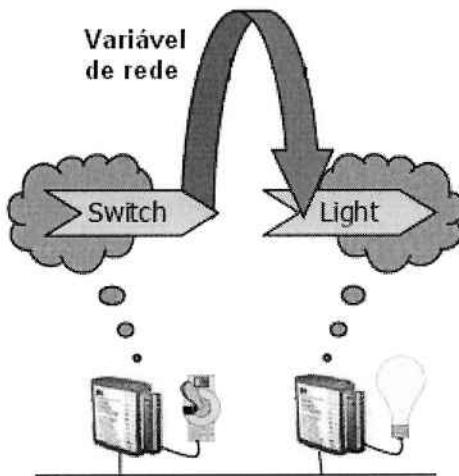


Figura 11 – Sistema de interruptor e lâmpada

7.4.2 Detecção de presença de movimento

Como essa etapa envolvia a programação de Neuron chips, foi necessário a utilização dos softwares LonMaker for Windows e Microsoft Visio acoplado a um plug-in fornecido pela Echelon.

A escolha do sensor DCI-300 foi feita devido a sua disponibilidade, visto que o mesmo encontrava-se disponível para uso no laboratório de projeto de formatura. Ademais, as suas características são semelhantes às de outros sensores existentes no mercado. Vale ressaltar que o DCI-300 não detecta a presença de um usuário, mas, sim, a presença de movimento no ambiente.

Pesquisas em lojas de materiais elétricos e em catálogos on-line foram realizadas, todavia, não foi possível encontrar um sensor capaz de

detectar presença no ambiente. Assim, surge a questão de como contornar a situação em que o usuário não se mexe, permanecendo por um período imóvel. Tal problema foi resolvido fazendo uso de um timer interno do Neuron chip, que a cada detecção de presença de movimento é zerado. Caso o timer atinja o seu valor máximo, que foi estimado em 5 minutos, a iluminação do ambiente é apagada.

7.4.3 Medição do nível de intensidade luminosa

Como essa etapa envolvia a programação de Neuron chips, foi necessário a utilização dos softwares LonMaker for Windows e Microsoft Visio acoplado a um plug-in fornecido pela Echelon.

O sensor escolhido para se fazer a detecção do nível de intensidade luminosa foi o componente TSL2550. Essa escolha foi feita pelo fato de o sensor ser projetado principalmente para uso em aplicações nas quais a medida da luz ambiente é usada para controlar algum atuador.

Um pedido de novos sensores foi feito no início do mês de outubro. A importadora alegou que não possuía tal componente em estoque e que seria necessário realizar a importação do mesmo. Segundo a importador, o processo de importação dura cerca 2 meses, afetando diretamente o planejamento e o prazo do projeto.

Devido a esse problema, o grupo optou por pedir um compartilhamento de um único TSL2550 que o LAA já possuía e que estava em uso de um aluno de iniciação científica. Contudo, tal aluno ainda não tinha efetivamente utilizado o sensor, e, por isso, não sabia como se dava o seu uso e funcionamento e se o sensor realmente funcionava.

O componente TSL2550 é capaz de se comunicar fazendo uso do protocolo SMBus [10] enquanto o Neuron chip é capaz de se comunicar fazendo uso do protocolo I²C [14] [13]. Através de pesquisas [10] foi descoberto que o protocolo SMBus foi derivado do I²C e que, dependendo dos parâmetros utilizados, tais protocolos são semelhantes [11] [12].

Então, utilizando as funções pertinentes do Neuron chip, não é preciso desenvolver rotinas para a comunicação com o TSL2550.

Após estudar como e quais rotinas devem ser chamadas para que essa comunicação foi realizada, partiu-se para a implementação. Todavia, as tentativas foram fracassadas e resultados positivos não eram obtidos. Gastou-se, então, mais uma semana na tentativa de se estabelecer tal comunicação, sem obter sucesso em nenhuma delas. Concluiu-se, então, que, por algum motivo, o componente TSL2550 estava queimado, já que a mensagem enviada pelo Neuron chip, monitorada com uso de um osciloscópio digital, estava correta e que o TSL2550 não estava enviando as mensagens de confirmação esperadas.

Com o prazo de entrega diminuindo, o grupo optou por substituir a medição feita com o TSL2550 por uma medição feita com um LDR.

O LDR foi ligado em série com um resistor, formando um divisor de tensão. Assim, é possível determinar o nível de intensidade luminosa devido às variações sofridas pelo LDR. Um conversor analógico-digital, o componente ADC0802 (datasheet no anexo I), foi utilizado para se fazer a conversão da tensão presente no resistor em uma saída digital de 8 bits que pode ser lida pelo Neuron chip. O próximo passo é fazer um mapeamento entre os níveis de tensão apresentados com os níveis de intensidade luminosa.

Quando se iria iniciar a etapa de mapeamento de níveis de tensão do divisor resistivo, no qual foi utilizado o LDR, com níveis de intensidade luminosa, o grupo ficou sabendo que no ano anterior um grupo de formandos da ênfase sistemas eletrônicos utilizou componentes TSL2550. Assim, esses ex-alunos foram procurados e, gentilmente, cederam o componente para que o presente projeto de sistema de iluminação pudesse ser desenvolvido utilizando tal componente.

Com um TSL2550 novo, a comunicação entre o Neuron chip funcionou corretamente. O próximo passo é calcular o nível de

intensidade luminosa captado pelo TSL2550 de acordo com os valores presentes nos registradores correspondentes ao canal 0 e ao canal 1.

O cálculo que melhor aproxima os valores dos registradores em lux envolve cálculos com pontos flutuantes. Contudo, o Neuron chip não apresenta um bom suporte para cálculos que envolvem ponto flutuante. Para contornar tal adversidade, foi utilizado um método de *look-up-table* [25] para se encontrar o valor de lux correspondente.

A fim de verificar a acurácia do cálculo por *look-up-table* para intensidade luminosa solar, realizou-se um experimento medindo a intensidade luminosa solar de um ambiente captado pelo componente TSL2550 e um luxímetro, modelo LX-101. Comparando-se os resultados, que se encontram no Anexo A, constatou-se a necessidade de se utilizar um fator de correção, para melhorar a precisão do valor de lux obtido. Esse experimento também serviu para comprovar que um circuito resistivo contendo o LDR como um de seus resistores, não apresenta uma resposta que pode ser facilmente mapeada para valores de luminosidade. Sendo assim, o projeto de se construir um sensor de luminosidade com o LDR foi abandonado.

O desenvolvimento da interface com o usuário foi feito de modo a manter compatibilidade com a interface já existente no Laboratório das Abelhas. Para tal atividade, o auxílio e suporte do co-orientador foi de fundamental importância. Nessa etapa, foram utilizados os softwares TAC Vista e TAC XBuilder.

Para essa tarefa, o auxílio do co-orientador foi de fundamental e extrema importância, visto que esse é um dos responsáveis pela rede de controle LonWorks® que se encontra instalada no Laboratório Abelhas.

7.5 INTEGRAÇÃO PARCIAL

Na etapa anterior, as funcionalidades foram desenvolvidas isoladamente, visto que dessa forma problemas podem ser mais facilmente detectados e sanados.

Nessa etapa, foi realizada uma integração entre esses módulos de modo a conferir que os módulos são conectáveis e que o funcionamento de um não degrada o funcionamento dos demais.

7.6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA NO LABORATÓRIO DAS ABELHAS

Uma vez que, em laboratório, o sistema já foi passado para placas de cobre com solda permanente, essa etapa constitui em transportá-las para o Laboratório das Abelhas e encontrar um local adequado para a sua montagem.

As condições do ambiente foram analisadas para que o grupo pudesse determinar as posições de alojamento dos sensores e das placas com os circuitos dos Neuron chips.

Com o sistema montado em seu ambiente permanente, novos testes devem ser realizados.

7.7 INTEGRAÇÃO FINAL

Nessa etapa os novos nós LonWorks® não-proprietários foram integrados à rede LonWork® já existente no Laboratório das Abelhas. Testes foram realizadas para comprovar que a adição do novo sistema na rede de controle não afetou o funcionamento do sistema já existente anteriormente.

Na Figura 12 , tem-se uma tela resultado de todo o desenvolvimento e integração:

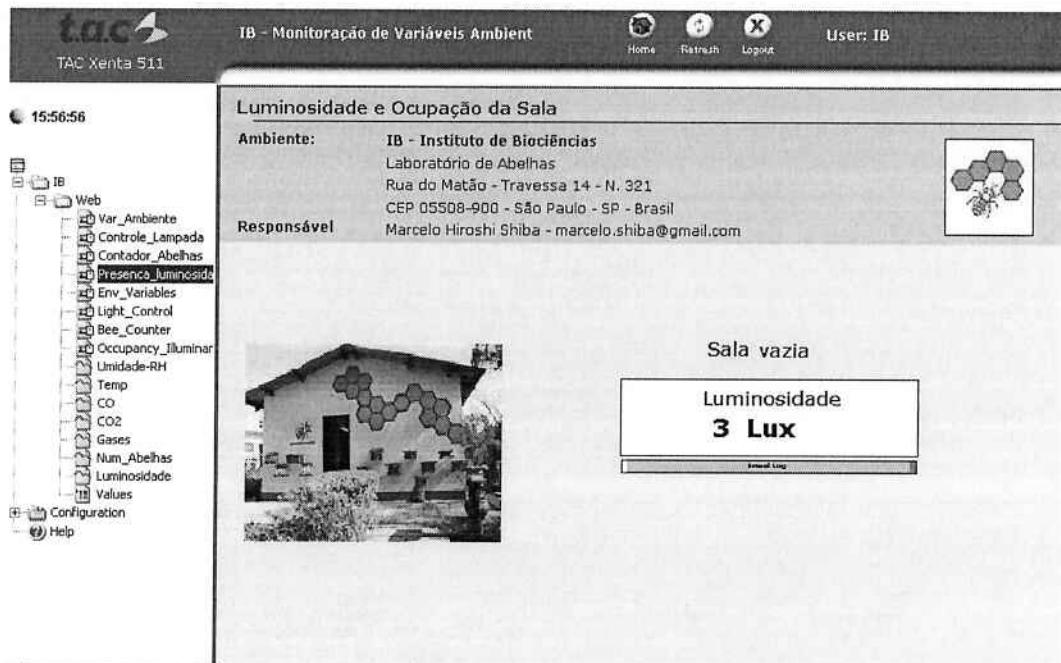


Figura 12 – Tela com informação da luminosidade e de presença na sala.

8 TESTES PARA ACEITAÇÃO E RESULTADOS

8.1 TESTES PARA ACEITAÇÃO DE FUNCIONALIDADES

8.1.1 Acurácia da intensidade luminosa amostrada

Verificar que o sistema amostra corretamente o nível de intensidade luminosa, tolerando uma variação de até 15%.

8.1.2 Amostragem periódica da intensidade luminosa

Com o uso de um cronômetro e de um luxímetro, deve-se fazer a medição periódica definida pelo requisito a fim de confrontar com os resultados apresentados pelo sistema.

8.1.3 Disponibilização de dados da intensidade luminosa

Verificar que o usuário pode acessar remotamente a intensidade luminosa instantânea.

Verificar que o usuário pode acessar remotamente um histórico da intensidade luminosa, escolhendo o período desejado.

8.1.4 Acionamento e desligamento automático das LONpadas

Verificar que o sistema é capaz de acionar automaticamente a iluminação do laboratório quando o usuário adentra ao ambiente.

Verificar que o sistema desliga automaticamente a iluminação do laboratório após o usuário ficar mais de 5 minutos consecutivos fora do ambiente.

8.1.5 Verificação remota de presença no laboratório

Verificar que o sistema exibe corretamente a informação de presença no laboratório.

8.2 RESULTADOS DOS TESTES DE FUNCIONALIDADES

Os resultados dos testes estão descritos nos itens abaixo:

8.2.1 Acurácia da intensidade luminosa amostrada

Os valores obtidos pelo componente TSL2550 encontram-se dentro de uma precisão satisfatória.

Sua montagem, baseada em 2 canais, a torna muito sensível para variações de radiações na faixa do infravermelho, e isso provoca uma perda de acurácia quando as radiações na faixa do infravermelho são dominantes em relação às radiações do espectro visível ao olho humano.

O valor de saturação do sensor é rapidamente atingido, saturando no valor de 1846 lux. Esse valor pode ser considerado baixo em caso de incidência direta de luz solar sobre o sensor.

8.2.2 Amostragem periódica da intensidade luminosa

Verificou-se através do teste de inspeção que os dados obtidos através da interface do sistema refletia, dentro de uma faixa de precisão aceitável, em torno de 15%, o que foi medido pelo luxímetro modelo LX-101.

A taxa de amostragem respeitou a taxa definida pelo requisito.

8.2.3 Disponibilização de dados da intensidade luminosa

Os dados amostrados periodicamente foram exibidos corretamente para o usuário.

O usuário pode escolher o intervalo de exibição de histórico desejado.

Não há a possibilidade de se escolher a escala de tempo, sendo essa determinada pelo sistema.

8.2.4 Acionamento e desligamento automático das LONpadas

Essa funcionalidade só pôde ser testada parcialmente, visto que não existia, no Laboratório das Abelhas, um sistema físico de iluminação. Sendo assim, o que foi testado foi a capacidade do nó desenvolvido de detectar a presença através do sensor e atualizar corretamente a variável de rede equivalente.

8.2.5 Verificação remota de presença no laboratório

O sistema exibe para o usuário corretamente a informação da presença ou não de uma pessoa no laboratório.

8.3 TESTES GERAIS

Alguns testes gerais foram executados ao longo do desenvolvimento do projeto para a comprovação de que os vários submódulos estão funcionando corretamente.

8.3.1 Teste do sensor detector de presença de movimento

O sensor DCI-300 foi testado com a utilização de um osciloscópio.

Pelo sinal apresentado no osciloscópio, comprovamos que o sensor fecha o rele quando detecta presença de movimento.

8.3.2 Teste do conversor analógico-digital ADC0802

Para o teste do ADC0802 foi montado em uma placa *protoboard* um circuito elétrico, o esquema está representado na Figura 13, para verificar o seu correto funcionamento. O circuito elétrico montado é necessário para o ajuste das tensões de referência utilizadas pelo ADC0802.

Em um primeiro instante, a variação de tensão foi fornecida por uma fonte de tensão regulável.

Em um segundo instante, a variação de tensão foi fornecida por um divisor de tensão formado um LDR e um resistor com resistência nominal de 10 kilohms.

Os resultados obtidos em ambos experimentos foram satisfatório, e a precisão ficou em 2 bits.

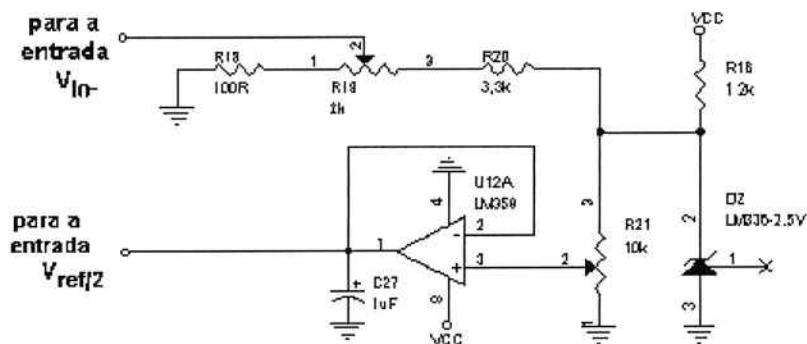


Figura 13 – Esquema elétrico para ajuste da tensão de referência

9 RECURSOS E INFRA-ESTRUTURA REQUERIDOS

A maioria dos recursos utilizada pôde ser disponibilizada pelo departamento do PCS da Escola Politécnica e pela empresa Conceito Tecnologia, visto que é comum a criação de parceria entre o LAA e a referida empresa. Esses recursos são formados principalmente por componentes de infra-estrutura, tais como placa *protoboard* e ferramentas necessárias para a confecção da placa de circuito impresso. Esse também foi o caso dos dois nós LonWorks utilizados no sistema de iluminação e das ferramentas de software empregadas, “LonMaker for Windows” [4] e “NodeBuilder Development Tool” [19], no seu desenvolvimento. Além disso, para o desenvolvimento de páginas web, armazenamento de histórico e para a integração com a rede de controle já existente no Laboratório das Abelhas também foram utilizados os softwares TAC Vista [26] e TAC XBuilder [27].

Para pesquisas via internet foram utilizados os computadores pessoais dos membros do grupo e os computadores presentes na sala C1-13 do prédio de Engenharia Elétrica. Tais computadores já estão disponíveis, e, portanto, não se faz necessário gasto para sua aquisição.

Para o desenvolvimento de nós LonWorks, será utilizado o SDK NodeBuilder Development Tool. O NodeBuilder é um SDK de ferramentas e hardware e software para desenvolvimento de nós. O SDK permite criar e depurar aplicativos e, posteriormente, programar um Neuron Chip com a aplicação desenvolvida.

O LAA possui o *kit* na versão 1.50. Os principais componentes do *kit* são o software NodeBuilder, o módulo LTM 10 e a placa Motorola Gizmo 3.

Foram necessários, ainda, os componentes e a infra-estrutura para a montagem, como placas de cobre, sensores de presença DCI-300 e

sensores de intensidade TSL2550, resistores, circuitos integrados e soquetes.

De modo geral, os componentes não possuem valor de aquisição elevado e foram facilmente encontrados em lojas do ramo de eletrônica e informática, e, portanto, puderam ser adquiridos pelos próprios membros do grupo. O valor monetário está explicitado na Tabela 2:

Tabela 2 – Custos envolvidos no projeto

Material	Qtde	Custo (R\$)	
		Unitário	Total
Soquetes	10	2,30	23,00
Sensor de movimento	2	23,00	46,00
Sensor de intensidade	1	15,00	15,00
Componentes eletrônicos	1	200,00	200,00
Fios (metros)	20	2,00	40,00
Impressão – capa mole	3	7,00	21,00
Impressão - capa dura	1	26,00	26,00
		Total	371,00

Um dos recursos envolvidos em todos os projetos, mas que em geral não é computado em projetos de formatura é a quantidade de mão de obra empregada para obter os resultados propostos. Esse projeto consumiu 500 horas-homem para ser completado. Essa estimativa foi feita considerando a rotina do grupo de se reunir uma vez por semana, durante 6 horas contínuas de dedicação ao projeto, ao longo de 9 meses de desenvolvimento. Nesse tempo além do desenvolvimento foi realizada a documentação de cada etapa. Uma melhor idéia das atividades desenvolvidas pode ser tida após a contemplação do cronograma encontrado no Capítulo 10.

Cronograma.

10 CRONOGRAMA

As atividades para o desenvolvimento do projeto de formatura obedecem ao cronograma da Figura 14. Neste cronograma estão todas as macro-atividades desempenhadas pela equipe, desde o início até a conclusão do projeto em questão.

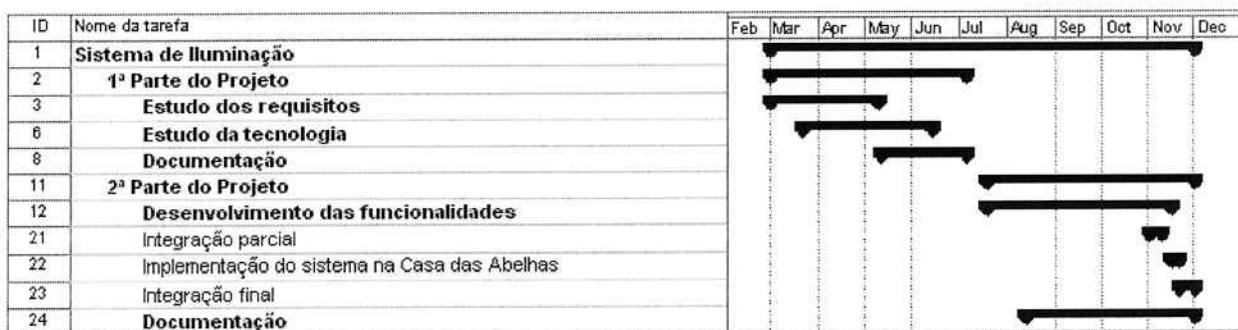


Figura 14 – Cronograma do Projeto

No primeiro semestre do ano, a equipe procurou basicamente definir, de forma completa, a especificação do sistema. As atividades desempenhadas durante o decorrer do 1º semestre podem ser observadas na Figura 15.

O primeiro semestre foi caracterizado pelo estudo das tecnologias envolvidas no projeto, contribuindo, em grande parte, os encontros promovidos pelo grupo de estudos de LonWorks® do LAA.

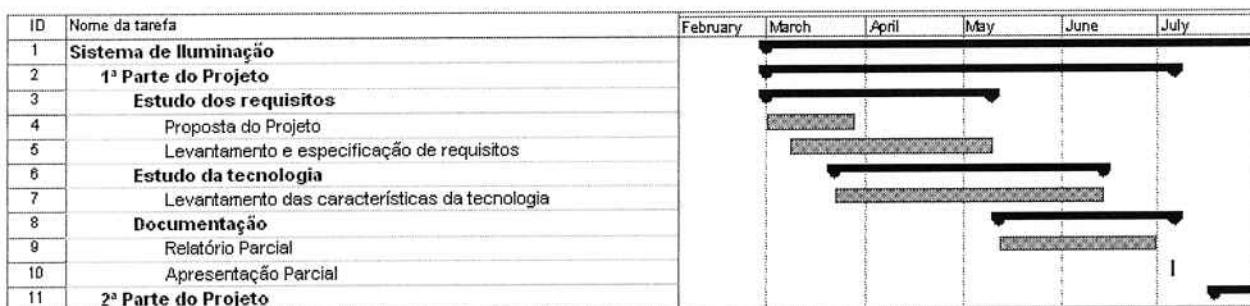


Figura 15 - Cronograma Detalhado 1º Semestre

O levantamento detalhado das atividades da equipe para o segundo semestre pode ser observado na Figura 16. Essa figura apresenta, em detalhes, o conjunto das atividades desempenhadas pelos membros da equipe para o segundo semestre.

Essas atividades são necessárias para o cumprimento do projeto e incluem toda a implementação do sistema de iluminação. Para essa etapa do desenvolvimento, o grupo optou por dividir a implementação nas duas funções já citadas. Posteriormente a essa implementação foi realizada a integração dos módulos, sendo executados os testes de aceitação do sistema.

A documentação do projeto veio sendo realizada paralelamente às demais atividades, como pode ser observado no cronograma. Dessa forma a equipe pode revisar a documentação, e complementá-la no decorrer do processo.

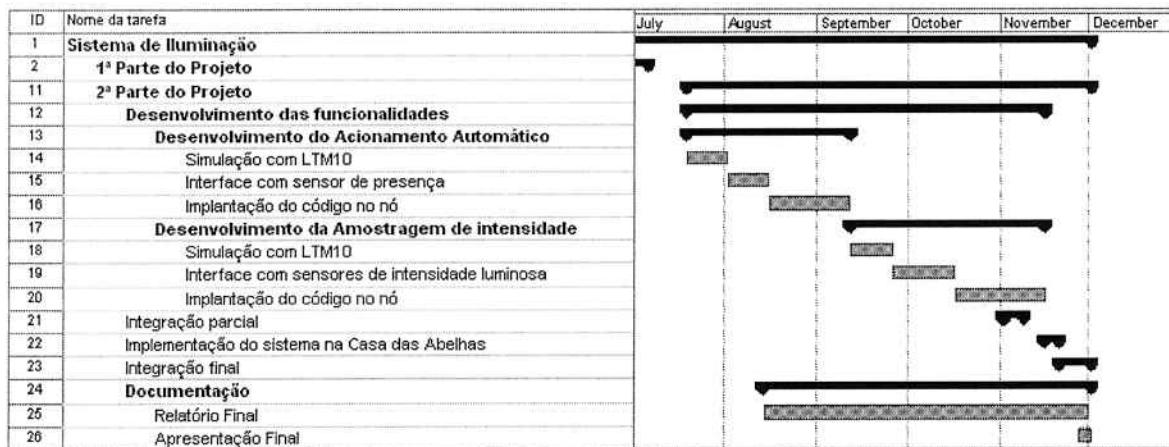


Figura 16 - Cronograma Detalhado 2º Semestre

Apesar de no decorrer do projeto, terem ocorrido atrasos em algumas atividades definidas no cronograma, o grupo conseguiu completar todo o conjunto de tarefas antes do encerramento do prazo final.

11 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento o grupo procurou manter o acompanhamento do projeto bastante homogêneo e próximo de todos os membros. O projeto acrescentou mais conhecimento ao adquirido durante os anos da graduação, tratando aspectos como busca de requisitos, planejamento de atividades, projeto de um sistema completo e implementação, aprendendo como superar as dificuldades que possam surgir ao longo do processo de desenvolvimento. No que diz respeito à consolidação do aprendizado pode-se dizer que esse projeto, em particular, apresenta-se como uma eficiente forma de relembrar e sedimentar, através da aplicação da teoria na prática, uma vasta quantidade de matérias vistas na graduação. Uma vez que para a elaboração desse sistema foram necessários conceito de:

- Engenharia de Software: desenvolvimento, depuração, documentação e noções de qualidade de software
- Arquiteturas de redes: modelo OSI, endereçamento de rede, sniffer.
- Sistemas digitais: montagem de sistemas digitais e manuseio de hardware;
- Eletrônica: uso de componentes elétricos-eletrônicos para a confecção de circuitos;
- Amostragem de dados: realização de experimentos para a obtenção de dados que comprovem o funcionamento de um componente e/ou sistema.

Além dessa revisão, novos conhecimentos foram agregados, tais como o aprendizado sobre redes de controle baseada em LonWorks®, linguagem Neuron C, protocolo de comunicação I²C e SMBus.

A solução proposta pela equipe se mostrou satisfatório tecnicamente, sendo incorporada em um dos projetos do programa Biota, agregando novos valores ao atual projeto de monitoração de variáveis no Laboratório das Abelhas.

A mudança de contexto de aplicação do sistema que passou de residencial para acadêmico, com uso imediato no Laboratório das Abelhas serviu de uma motivação extra para o grupo, uma vez que o projeto deixa de ser apenas um protótipo utilizado em maquete para ser utilizado prontamente por uma aplicação acadêmica. Ademais, essa mudança de contexto acrescentou a possibilidade de mostrar interoperabilidade, interligando um nó não-proprietário em uma rede de controle com nós proprietários e nós não-proprietários. Outras inclusões do projeto foram a criação de páginas web e uso de banco de dados para a visualização e armazenamento de dados históricos.

Vale ressaltar o impacto econômico gerado pela solução. Como o uso da tecnologia LonWorks® ainda não foi largamente difundido no país, o custo dos seus módulos são elevados para os padrões nacionais. Porém, com o desenvolvimento e o aprimoramento da tecnologia, o que já vêm ocorrendo fortemente na Europa, esse custo deverá ser diminuído em breve, viabilizando dessa forma a aplicação da ferramenta, em larga escala em ambientes nacionais.

A principal dificuldade encontrada durante o projeto foi a aprendizagem sobre a tecnologia LonWorks®, a qual, justamente por ter a finalidade de atender a maior gama possível de aplicações, apresenta uma complexidade de detalhes elevada, resultante em grande tempo dispendido para seu aprendizado. Essa questão foi amenizada, principalmente, através de materiais disponibilizados pelo professor orientador e através do grupo de estudos, criado sobre a tecnologia LonWorks®. Tal complexidade de detalhes existe para que a tecnologia LonWorks® possa oferecer uma padronização adequada de forma a garantir a interoperabilidade de dispositivos e sistemas.

Outra crítica cabível à tecnologia LonWorks® diz respeito à qualidade do compilador existente no kit de desenvolvimento de software Echelon NodeBuilder 3.0, que apresenta algumas limitações não existentes na linguagem ANSI C, como a obrigação de se declarar todas as variáveis utilizadas por uma determinada função no início de seu código, e também o não reconhecimento de inicialização de variáveis na declaração.

Durante todo o projeto a equipe se manteve bastante coesa, mostrando uma dedicação uniforme e equilibrada, participando conjuntamente das reuniões com o orientador e com o grupo de estudos criado sobre a tecnologia LonWorks®, e procurando seguir as atividades previstas no cronograma elaborado. Dessa forma a maioria das metas para o projeto foram atingidas, podendo-se dizer que 80% do previsto, para esse projeto de formatura, foi atingido, sendo desenvolvido e implementado um sistema de monitoração de variáveis ambientais através do uso de rede de controle baseada na tecnologia LonWorks®. Os 20 % faltantes dizem respeito ao desenvolvimento de um melhor método para a supressão dos efeitos que a radiação no espectro do infravermelho provoca na leitura de valores de sensor, além da realização de uma nova pesquisa de sensores de luminosidade existentes.

Melhorias no projeto podem ser feitas focando principalmente no aspecto de se aumentar a precisão da intensidade luminosa medida, seja através de correções via software ou através da aquisição de um sensor menos vulnerável a essas influências.

O grupo pode sugerir o estudo e uso do sensor SFH5711, fabricado pela empresa OSRAM. O grupo não o usou, pois a descoberta e comprovação dos efeitos das radiações de espectro infravermelho se deu no fim do prazo de entrega do produto e não havia tempo hábil para a aquisição do novo sensor, que por ser importado demoraria cerca de 2 meses para a entrega.

Ademais, pode-se estudar a possibilidade da montagem de outros esquemas elétricos com uso do LDR que gerem respostas mais adequadas, tal como uma resposta linear, para a medição de intensidade luminosa.

Por fim, pode-se acrescentar como ganho obtido com esse projeto, a experiência adquirida no ramo de gerenciamento de um projeto, visto que foi necessário a elaboração de um planejamento de tarefas, com controle de tempo e gastos financeiros e também foram enfrentadas dificuldades e adversidades inesperadas que provocam atrasos e que poderiam prejudicar o prazo de entrega do produto. Todavia, com um gerenciamento adequado, o que propicia tomadas de decisões acertadas, planos alternativos foram traçados de forma a garantir a entrega do produto no prazo estipulado.

12 ANEXO A

Na Tabela 3 estão expostos valores obtidos experimentalmente para determinar o fator de ajuste do resultado calculado pelo método de *look-up-table*.

Tabela 3 - Valores obtidos experimentalmente por método de *look-up-table* de TSL2550 para determinar fator de correção

Leitura			<i>Look-up-table</i>	Luxímetro (lux)
Canal 1	Canal 0	LDR		
201	236	540	198	349
195	233	501	208	290
179	194	51	102	35
179	195	51	118	35
178	195	54	102	35
182	210	153	136	102
182	209	141	152	102
191	227	351	171	232
197	228	369	189	246
176	192	42	112	29
192	225	327	183	213
193	226	345	188	228
194	226	339	170	226
193	224	294	179	203
210	241	642	214	380
206	238	552	213	363
203	236	528	198	380
208	240	603	217	434
211	242	678	219	465
213	243	705	220	500
214	244	741	221	515
211	242	654	217	445
196	226	315	166	226
197	226	325	184	235
192	221	260	190	184
192	220	240	260	175
153	165	10	165	8
164	181	30	181	22
167	185	35	97	28
194	224	280	179	204
178	209	145	151	104
178	208	140	135	96
179	208	135	148	102
171	199	95	152	71

168	195	75	125	55
163	190	60	120	44
163	189	55	115	42
160	187	55	110	39
158	184	50	104	34
157	183	45	116	33
154	180	40	112	29
162	189	60	115	44
160	187	55	124	39
152	178	35	91	26
151	177	30	70	23
149	174	25	95	20
146	170	25	75	19
145	166	20	65	15
144	165	15	81	15
144	166	20	83	15
144	165	15	82	15
141	163	15	60	12
139	161	15	55	11
138	160	10	39	11
137	157	10	49	7
136	154	10	43	7
136	153	5	57	6
135	152	5	55	6
134	151	5	37	5
134	150	5	51	5
133	147	5	13	4
133	145	0	9	3
132	144	0	21	3
219	251	1030	209	723
217	250	1005	209	695
214	248	940	208	640
214	247	890	207	625
213	247	905	206	616
215	248	930	206	621
213	247	905	207	592
214	247	890	222	607
213	246	865	222	599
213	246	855	223	606
229	255	1846	199	1263
227	255	1846	199	1194
229	255	1846	200	1230
203	223	195	186	154
227	255	1846	216	1131
209	241	655	214	452
209	240	605	200	449
209	241	655	200	452
212	243	715	205	525
210	241	640	215	488
208	240	605	199	445

208	241	635	216	436
228	255	1846	200	988
228	255	1846	202	995
228	255	1846	216	973
230	255	1846	202	1104
216	250	1015	193	734
216	250	1015	210	724
214	249	990	208	690
214	248	940	207	664
228	255	1846	200	964
233	255	1846	200	1105
219	248	823	222	650
225	254	1085	193	786
222	253	1060	205	774
213	243	705	201	549
224	252	1010	192	740
235	252	985	193	750
196	214	130	152	98
208	240	585	198	400
209	240	605	214	413
207	240	595	214	426
207	238	535	212	395
196	230	410	191	309
203	237	510	210	383
203	235	495	209	385

Partindo desses resultados, foi contruído um gráfico do valor obtido pelo luxímetro em função do valor resultante do método de *look-up-table*, conforme pode ser visto na figura abaixo.

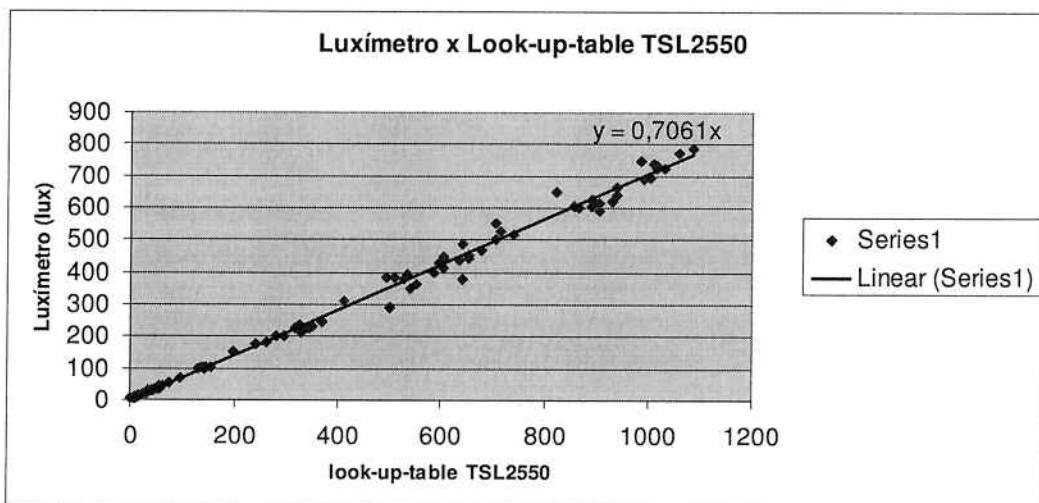


Figura 17 – Intensidade luminosa obtida pelo luxímetro versus valor de *look-up-table* para TSL2550

Em virtude da linha de tendência se aproximar de uma reta, pode-se concluir que se trata de uma relação linear. Sendo assim, o fator de correção utilizado para a obtenção da intensidade luminosa foi de 0,7 sobre o valor obtido pelo método de *look-up-table*.

Utilizando essa nova correção, os novos valores obtidos podem ser observados na . Nessa tabela, também se encontram os erros relativos de cada medida.

Tabela 4 – Valores obtidos experimentalmente por método de *look-up-table* de TSL2550 com fator de correção

Look-up-table * 0,7	Luxímetro (lux)	Erro relativo
378	349	0,083095
350	290	0,206897
35	35	0
35	35	0
37	35	0,057143
107	102	0,04902
98	102	-0,03922
245	232	0,056034
258	246	0,04878
29	29	0
228	213	0,070423
241	228	0,057018
237	226	0,048673
205	203	0,009852
449	380	0,181579
386	363	0,063361
369	380	-0,02895
422	434	-0,02765
474	465	0,019355
493	500	-0,014
518	515	0,005825
457	445	0,026966
220	226	-0,02655
227	235	-0,03404
182	184	-0,01087
168	175	-0,04
7	8	-0,125
21	22	-0,04545
24	28	-0,14286
196	204	-0,03922
101	104	-0,02885
98	96	0,020833
94	102	-0,07843

66	71	-0,07042
52	55	-0,05455
42	44	-0,04545
38	42	-0,09524
38	39	-0,02564
35	34	0,029412
31	33	-0,06061
28	29	-0,03448
42	44	-0,04545
38	39	-0,02564
24	26	-0,07692
21	23	-0,08696
17	20	-0,15
17	19	-0,10526
14	15	-0,06667
10	15	-0,33333
14	15	-0,06667
10	15	-0,33333
10	12	-0,16667
10	11	-0,09091
7	11	-0,36364
7	7	0
7	7	0
3	6	-0,5
3	6	-0,5
3	5	-0,4
3	5	-0,4
3	4	-0,25
0	3	-1
0	3	-1
721	723	-0,00277
703	695	0,011511
658	640	0,028125
623	625	-0,0032
633	616	0,027597
651	621	0,048309
633	592	0,069257
623	607	0,026359
605	599	0,010017
598	606	-0,0132
136	154	-0,11688
458	452	0,013274
423	449	-0,05791
458	452	0,013274
500	525	-0,04762
448	488	-0,08197
423	445	-0,04944
444	436	0,018349
710	734	-0,0327
710	724	-0,01934

693	690	0,004348
658	664	-0,00904
576	650	-0,11385
759	786	-0,03435
742	774	-0,04134
493	549	-0,102
707	740	-0,04459
689	750	-0,08133
91	98	-0,07143
409	400	0,0225
423	413	0,024213
416	426	-0,02347
374	395	-0,05316
287	309	-0,0712
357	383	-0,06789
346	385	-0,1013

Na Figura 18, está representado um esquema do experimento utilizado para a construção da tabela acima:

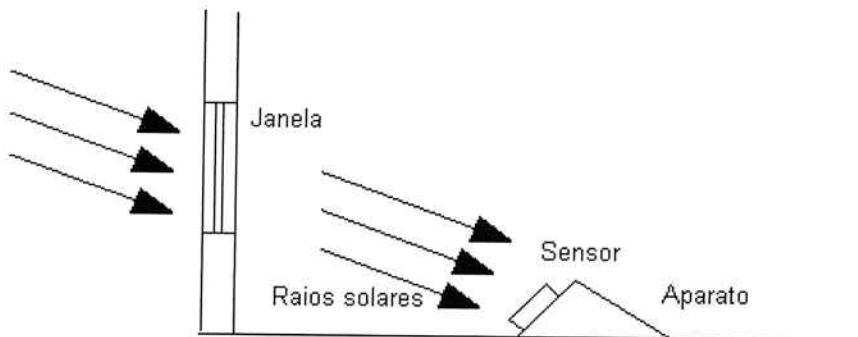


Figura 18 – Esquema de experimento para obtenção do fator de correção.

13 REFERÊNCIAS

- [1] Tanenbaum, A. S. **Computer Networks**. 3rd Edition. Prentice-Hall PTR. 1996.
- [2] _____. Neuron C programmer's guide. Palo Alto: Echelon, 1995. (Relatório 078-0002-02G).
- [3] _____. Neuron C reference guide. Palo Alto: Echelon, 1995. (Relatório 078-0140-02E).
- [4] _____. LonMaker user's guide. Palo Alto, Echelon, 2003. (Relatório 078-0168-02G).
- [5] _____. Introduction to the LonWorks system. Palo Alto: Echelon, 1999. (Relatório 078-0183-01A).
- [6] BURDELIS, M.J.P. Desenvolvimento de sistema de instrumentação inteligente aplicado a estufas utilizando rede LonWorks®. São Paulo: Laboratório de Automação Agrícola da EPUSP, 2005. (Documento interno).
- [7] ECHELON. Echelon Corporation Site. Disponível em: <<http://www.echelon.com/>>. Acesso em: 15 mar. 2006.
- [8] TANI, F.K. Proposta de desenvolvimento de transdutores inteligentes baseados na norma IEEE 1451.2 aplicados a redes LonWorks. 2006. 151p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- [9] CONCEITO Tecnologia. Site. Disponível em: <<http://www.conceitotecnologia.com.br/>>. Acesso em: 30 out. 2006.
- [10] SMBus. System Management Bus Site. Disponível em: <<http://www.smbus.org/>>. Acesso em: 01 nov. 2006.
- [11] Comparing the I²C Bus to the SMBus. Disponível em: <http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/476>. Acesso em: 01 nov. 2006. (material sobre diferenças entre protocolo I²C e SMBus).
- [12] Differences between I²C and SMBus. Disponível em: <<http://www.totalphase.com/support/articles/article06/>>. Acesso em: 01 nov. 2006. (material sobre diferenças entre protocolo I²C e SMBus).
- [13] I²C. Disponível em: <<http://www.standardics.nxp.com/i2c/>>. Acesso em: 01 nov. 2006.

- [14] _____. Philips Semiconductors I2C Handbook. Disponível em: <<http://www.standardics.nxp.com/literature/other/i2c/pdf/i2c.logic.handbook.pdf>>. Acesso em 01 nov. 2006.
- [15] CUGNASCA, C.E. Técnicas de desenvolvimento de projetos baseados em microprocessadores. São Paulo: Laboratório de Automação Agrícola da EPUSP, 2005. (Documento interno).
- [16] Biodiversidade e uso sustentável dos polinizadores, com ênfase em abelhas, LAA - documento interno
- [17] LONMARK. Site. Disponível em: <<http://www.lonmark.org/>>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- [18] SANCHES, R. Modelos de Processo de Software. São Carlos:ICMS-USP, 2003. Disponível em: < <http://coweb.icmc.usp.br/coweb/upload//127/Aula01 - Modelos de Processo de Software.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2006.
- [19] _____. NodeBuilder user's guide. Palo Alto, Echelon, 2003. (Relatório 078-0141-01E).
- [20] _____. Determinism in Industrial ComputerControl Network Applications. <<http://www.echelon.com/Support/documentation/bulletin/005-0060-01A.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2006.
- [21] TAC. Site. Disponível em: <<http://www.tac.com/>>. Acesso em: 16 mar. 2005
- [22] _____. TAC Vista. North Andover: TAC, 2001. (0-006-1161-3).
- [23] _____. TAC XBuilder® programming tool for TAC Xenta 511. North Andover: TAC, 2003. (0-003-2308-2).
- [24] _____. Xenta 511 – operating dataSheet. North Andover: TAC, 2003. (0-003-1956-4).
- [25] _____. Simplified TSL2550 Lux Calculation for Embedded and Micro Controllers. TAOS, 2005. Disponível em: <http://www.taosinc.com/downloads/pdf/dn9b_ts12550_Lux_Calculation.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2006.
- [26] _____. TAC Vista. North Andover: TAC, 2001. (0-006-1161-3).
- [27] _____. TAC XBuilder® programming tool for TAC Xenta 511. North Andover:TAC, 2003. (0-003-2308-2).

14 APÊNDICE I

Foi gravado um CD, PCS2502-10-CD-2006, descrevendo os diretórios presentes neste documento e o conteúdo de cada um. Um dos diretórios contém a própria documentação final. Os datasheets dos componentes utilizados se encontram, juntamente, neste CD.