



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE/PRODEMA/SE



**AUTOMAÇÃO COMO SUPORTE AO MANEJO SUSTENTADO DA IRRIGAÇÃO
NA CULTURA DA ALFACE NO MUNICÍPIO DE ITABAIANA - SE**

Autor: Waldiney Giacomelli

Orientador: Dsc. Gregório Guirado Faccioli

Co-orientadora: Dsc. Ana Alexandrina Gama da Silva

MARÇO - 2011
São Cristóvão – Sergipe
Brasil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE/PRODEMA/SE



AUTOMAÇÃO COMO SUPORTE AO MANEJO SUSTENTADO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE NO MUNICÍPIO DE ITABAIANA - SE

Dissertação de mestrado apresentado ao Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Autor: Waldiney Giacomelli

Orientador: Dsc. Gregório Guirado Faccioli

Co-orientadora: Dsc. Ana Alexandrina Gama da Silva

MARÇO - 2011
São Cristóvão – Sergipe
Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Giacomelli, Waldiney

G429a Automação como suporte ao manejo sustentado da irrigação na cultura da alface no no município de Itabaiana - SE / Waldiney Giacomelli. – São Cristóvão, 2011.

83 f.: il

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2011.

Orientador: Dr. Gregório Guirado Faccioli

1- Agricultura – Automação – Itabaiana – Sergipe. 2. Alface – Cultura. 3. Irrigação. i. Título

CDU 631.171.(813.7 Itabaiana-SE)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE/PRODEMA/SE



AUTOMAÇÃO COMO SUPORTE AO MANEJO SUSTENTADO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE NO ESTADO DE SERGIPE

Dissertação de Mestrado defendida por Waldiney Giacomelli e aprovada em 31 de março de 2011 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

Dr. Gregório Guirado Faccioli – Orientador
Universidade Federal de Sergipe

Dr. Everardo Chartuni Mantovani
Universidade Federal de Viçosa – MG
Examinador

Dr. Antenor de Aguiar Netto
Universidade Federal de Sergipe
Examinador

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Dr. Gregório Guirado Faccioli – Orientador
Universidade Federal de Sergipe

É concedida ao Núcleo responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe permissão para disponibilizar, reproduzir cópias desta dissertação, emprestar ou vender tais cópias.

Waldiney Giacomelli – Autor
Universidade Federal de Sergipe

Dr. Gregório Guirado Faccioli – Orientador
Universidade Federal de Sergipe

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Orieta pelo apoio e paciência em todos os momentos.

Ao meu amigo Gregório Faccioli, verdadeiro orientador, por demonstrar como deve ser uma pessoa humilde e por todo o incentivo. Amigo, conte sempre comigo!

À Coordenadora do PRODEMA, professora Maria José que não mede esforços para obter a excelência do programa.

Aos professores do PRODEMA que mudaram significativamente minha percepção de mundo. Provocações, discussões (muitas...), debates técnicos, orientações e muita dedicação foi sua valiosa contribuição ao meu crescimento.

A todos os meus novos amigos da turma 2009 do mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Sinto verdadeiro orgulho de ter participado de uma turma tão ativa e inspiradora e, pelas realizações que conquistamos.

A todos, meu eterno agradecimento.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental do projeto “Pequeno Produtor Grande Empreendedor” que é uma área de produção de hortaliças. Fica localizada no município de Itabaiana no estado de Sergipe. O objetivo foi projetar e criar um controle automatizado de um sistema de irrigação por gotejamento, verificando os aspectos produtivos relacionados com os indicadores de sustentabilidade. O cálculo para a reposição de água no solo foi baseado na estimativa da evapotranspiração a partir da leitura das grandezas climatológicas realizadas pela estação agro-meteorológica instalada no local do experimento. Utilizou-se a equação de Penman-Montheith, considerada padrão desde 1998 e recomendada pela Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Conhecida a evapotranspiração estimada, o sistema de controle realizou os demais cálculos para estabelecer o tempo necessário para a reposição da lâmina de água necessária. A comparação final entre o experimento e a produção normal utilizada pelo produtor aponta um ganho significativo no consumo de água e de energia elétrica. O controle microcontrolado além de contribuir para a diminuição do consumo dos recursos hídricos e energia elétrica, também proporcionou uma economia na manutenção dos equipamentos instalados. Com isso, chega-se a apresentar uma possibilidade de ganho econômico maior contribuindo para a melhoria de vida dos pequenos produtores familiares melhorando seus indicadores sócio-econômicos.

Palavras-chave: Evapotranspiração; Economia de água; Economia de energia elétrica; Controle automatizado da irrigação; Automação com microcontroladores.

ABSTRACT

The present work was developed in the experimental area of the project "Pequeno Produtor, Grande Empreendedor" that it is an area of vegetables production. It is located in the municipal district of Itabaiana in the state of Sergipe. The objective was to project and to create an automatized control of an irrigation system by leak, verifying the productive aspects related to the sustainability indicators. The calculation for water replacement in the soil was based on the estimate of the evapotranspiration starting from the reading of the climatological greatness accomplished by the agriculture-meteorological station installed at the experiment place. The equation of Penman-Montheith was used, recommended by the Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Once the estimated evapotranspiration was known, the control system did the other calculations to establish the time for the replacement of the necessary water sheet. The final comparison between the experiment and the normal production used by the producer points to a significant profit in the consumption of water and electric power. The microcontrolled control besides contributing for the decrease of the consumption of water supplies and electric power also provided an economy in the maintenance of the installed equipments. Doing so, a possibility of a higher economical profit is presented, contributing for life improvement of the small family producers, making their social and economic indicators better.

Keywords: Evapotranspiration; water saving; electric power saving; automatized control of the irrigation; automation with microcontrollers.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Desenvolvimento Sustentável	10
2.2	Recursos hídricos	13
2.3	Evapotranspiração	15
2.5	Irrigação	19
2.4	Cultura da alface	21
2.6	Sistema automatizado com a utilização de microcontroladores	22
3	METODOLOGIA	25
3.1	Localização	25
3.2	Preparação Inicial	25
3.3	Características da água e do solo	27
3.4	Cálculos da demanda hídrica e reposição da lâmina de água	29
3.5	Controle Automático	32
3.6	Medidas e controles	35
3.7	Comparações agronômicas	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	Caracterização sócio-econômica	41
4.2	Caracterização climática	42
4.3	Controle da Irrigação a partir dos dados climáticos e estimativa de ETo	45
4.4	Consumo de água e energia	57
4.5	Sistema de controle de automação	59
4.6	Caracterização da agronomia da cultura	62
5	CONCLUSÃO	68
	Referências Bibliográficas	69
	Anexos	72

ANEXOS

Nº	Título	Página
1	Esquema elétrico	72
2	Lista de componentes	73
3	Layout das placas de circuito impresso	74
4	Código de funcionamento em linguagem C	75
5	Relatório de ensaio do solo da área de plantio	80
6	Relatório de ensaio da água usada na irrigação	81
7	Levantamento de custos para equipamento de controle	82

1. INTRODUÇÃO

Um dos importantes desafios da agricultura atual é o aumento da competitividade e qualidade dos produtos, associada à conservação do meio ambiente, permitindo benefícios sustentáveis nas explorações agrícolas. Neste contexto é importante avaliar e adequar cada um dos fatores que compõem o sistema de produção, incluindo a eficiência e o manejo da água de irrigação que se traduz por sustentabilidade.

O desenvolvimento agrícola exige novas estratégias, no sentido de potencializar a produtividade e minimizar os riscos na produção. Com o aumento da população mundial, a produção de alimentos com base apenas na estação chuvosa se torna insustentável. Um dos importantes desafios da agricultura atual é o aumento da competitividade e qualidade dos produtos, associado à preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente, permitindo benefícios sustentáveis nas explorações agrícolas. Neste contexto, é importante avaliar e adequar cada um dos fatores que compõem o sistema de produção, incluindo a eficiência e o manejo da água de irrigação.

O manejo adequado da água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro do contexto de um sistema integrado.

Em meados da década dos anos 80 houve uma grande mudança no perfil da agricultura brasileira, com grande expansão da produção agrícola nas áreas irrigadas com implementação de programas de incentivo como os programas governamentais. O resultado da safra 1986 / 87 serve para avaliar essa importância neste ano agrícola: 4 % da área plantada foi irrigada, proporcionando 16 % do total produzido e 25 % da renda econômica gerada. Esses números são expressivos para demonstrar a importância da irrigação na agricultura moderna, que possibilita maior produtividade, melhor qualidade do produto e normalmente trabalha com produtos com maior valor de mercado, proporcionando que 25 % da renda seja obtida em apenas 4 % da área.

Por outro lado a agricultura irrigada representa o maior consumidor de água dentre os diversos usuários finais deste recurso natural, chegando em muitos países a totalizar 80 % do consumo. No Brasil, estima-se que quase metade da água consumida ocorra na agricultura irrigada. Esses números indicam que qualquer política ou trabalho relacionado ao manejo dos recursos hídricos deve considerar a irrigação como um componente fundamental. A lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos apresenta como objetivos: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidades adequados aos respectivos usos e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos.

O estado de Sergipe conta com 8 perímetros irrigados que correspondem a uma área irrigável superior a 13 mil hectares, dos quais três (Betume, Cotinguiba-Pindoba e Propriá) implantados pelo governo federal, através da Companhia de Desenvolvimento da Vale do Rio São Francisco (Codevasf). Os demais, implantados pelo governo estadual, geralmente com a participação de recursos federais e internacionais. À exceção do Platô de Neópolis, dividido em lotes empresariais, os demais são subdivididos em lotes parcelares de exploração familiar.

Uma das principais metodologias para a determinação das necessidades hídricas de uma cultura é a estimativa da evapotranspiração. A condição ideal seria a medida direta dessa grandeza, porém, esse procedimento é economicamente inviável aos pequenos produtores. Para superar essa dificuldade, parte-se das medidas das condições climáticas envolvidas na área de plantio e, através de cálculos empíricos referenciados e indicados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), em seu relatório FAO 56, chega-se aos valores aceitos para a evapotranspiração de referência (ET_o).

Agregando-se as características de cada cultura e o tipo de irrigação a ser utilizada é possível estabelecer um sistema de controle para a reposição de água evapotranspirada no dia anterior, mantendo desta forma a lâmina d'água necessária em nível ideal para o melhor desenvolvimento da cultura.

Com o constante desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos de controle, ocorreu uma maior oferta ao mercado provocando uma queda em seus valores de aquisição e proporcionando uma oferta de novos produtos e equipamentos úteis aos processos de produção agrícola, que de forma geral, é relegado à sua própria sorte, ou seja, a atividade agrícola não é entendida da mesma forma como uma indústria de processamento de alimentos, onde em inúmeros processos existem os mesmos dispositivos de controle.

Diante desse quadro, o desafio foi projetar e criar um equipamento para sistematização de controle automatizado baseado nas condições climatológicas, incorporando essa nova tecnologia visando ao atendimento de otimizar os recursos naturais envolvidos bem como de melhorar a produção, pois desta forma pode-se oferecer aos pequenos produtores do “cinturão de hortaliças” de Itabaiana, uma maior competitividade comercial associado a um maior ganho econômico. Além disso, sob o aspecto social, há benefícios indiretos não quantificados, mas que facilitam a permanência do homem no campo com melhora em sua qualidade de vida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Desenvolvimento sustentável

Se por um lado se necessita de um desenvolvimento includente, sustentável e sustentado intitulado por Sachs (2008), por outro é fato que um dos caminhos para se chegar a essa condição está na agricultura familiar, ou mesmo de pequenos produtores, que geram empregos e distribuem a renda também contribuindo para a contenção do êxodo rural aos grandes centros urbanos. A relação do homem com a produção de alimentos tem registros arqueológicos que datam de dez mil anos. Desde então a humanidade tem pesquisado formas de produção de alimentos em quantidade cada vez maior no intuito de abastecer um mercado consumidor crescente.

“Calcula-se que mais pessoas nasceram no século XX do que em todo o resto da história da humanidade” (CAMARGO, 2003, p. 34). De fato, nos séculos XIX e XX observou-se um crescimento populacional jamais registrado fruto do crescimento e disseminação de novos conhecimentos científicos, que trouxeram como consequência imediata o prolongamento da vida, o tratamento de doenças, e a criação de métodos de construção de habitações e trabalho nos centros urbanos.

Embora tenha havido benefícios, alguns prejuízos não podem passar despercebidos como a agressão ao meio ambiente, a destruição de ecossistemas para acomodação humana quer seja em processos produtivos ou mesmo para seu lazer. Porém um dos principais riscos percebidos atualmente é o esgotamento dos recursos naturais. Camargo (2003, p. 30) afirma que:

Convivemos atualmente com problemas ambientais de diferentes características e magnitudes, tais como: poluição das águas, poluição da atmosfera, degradação de florestas, danos à camada de ozônio, aquecimento global, erosão dos solos, desertificação, deterioração dos habitats das espécies, perda da biodiversidade, acúmulo de lixo tóxico, entre outros problemas.

Além disso, segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 2,8 bilhões de pessoas viverão em regiões de seca crônica nos

próximos 25 anos. A ONU qualifica a água como “o petróleo do século XXI” (CAMARGO 2003, p.32)

Até o início do século XX, acreditava-se que os recursos naturais eram ilimitados. O pensamento de recursos ilimitados aliado à maximização do lucro estabeleceu um modelo de desenvolvimento polarizado pelo lado econômico que acabou por trazer benefícios e prejuízos. Camargo (2003, p. 74) citando o relatório Nosso Futuro Comum (1991, p. 4):

Percebemos que era necessário um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o planeta e até um futuro longínquo.

Veiga (2005) traz uma consistente reflexão sobre o que possa ser entendido por desenvolvimento indo da idéia de desenvolvimento econômico, considerando o desenvolvimento como mito chegando a sua conceituação mais elaborada e ampla sobre o que deve ser entendido por desenvolvimento. Sua contribuição é muito valiosa, pois constrói seus pensamentos fundamentados a partir de sua formação em agronomia, passando a incorporar conhecimentos de economia e da escola socialista.

O debate que contrapôs capitalismo e socialismo como pólos opostos mutuamente excludentes tende a revelar-se tão sem importância para o terceiro milênio quanto mostrou ser nos séculos XVIII e XIX o debate entre católicos e os vários reformadores nos séculos XVI e XVII sobre o que constituía o verdadeiro cristianismo.

Cada vez mais, um provável futuro não-capitalista deixa de ser identificado como utopia socialista. Nesse contexto, o “desenvolvimento sustentável”, com todas as ambiguidades e insuficiências inerentes à expressão, certamente anuncia a utopia que tomará o lugar do socialismo (VEIGA, 2005).

Ao contrário de tomar a ideia de desenvolvimento sustentável como um conceito, Veiga considera a ideia como um enigma que pode ser dissecado, mesmo que ainda não resolvido. Quando se admite que o desenvolvimento não se resume ao aumento da renda per capita, é muito comum que imediatamente surja a ideia de

que o problema fundamental, então, é o da distribuição de renda. Isto é, que o desenvolvimento poderia ser facilmente definido pela combinação do crescimento com a distribuição de renda (VEIGA, 2005. p. 42).

Porém, Veiga busca em Celso Furtado a melhor fórmula sintética para dizer o que é desenvolvimento:

(...) o crescimento econômico, tal qual o conhecemos, vem se fundando na preservação dos privilégios das elites que satisfazem seu afã de modernização; já o desenvolvimento se caracteriza pelo seu projeto social subjacente. Dispor de recursos para investir está longe de ser condição suficiente para preparar um melhor futuro para a massa da população. Mas quando o projeto social prioriza a efetiva melhoria das condições de vida dessa população, o crescimento se metamorfoseia em desenvolvimento (FURTADO, 2004, p. 484).

Ainda Veiga (2005, p. 79) afirma que dos autores que mais se dedicaram ao assunto ao longo das últimas décadas, desde o início da controvérsia internacional sobre a distinção entre desenvolvimento e crescimento, um dos que melhor conseguiram evitar simultaneamente as tentações enganosas do otimismo ingênuo e do pessimismo estéril é Ignacy Sachs.

Sachs considera que a abordagem fundamentada na harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos (...), não se alterou substancialmente nos últimos vinte anos que separam as conferências de Estocolmo e do Rio. E acredita que permanece válida, na recomendação de objetivos específicos para oito das dimensões: social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômica, política nacional e política internacional.

No que se referem às dimensões ecológicas e ambientais, os objetivos de sustentabilidade formam um verdadeiro tripé:

- 1) preservação do potencial da natureza para a produção de recursos renováveis;
- 2) limitação do uso de recursos não renováveis; e,
- 3) respeito e realce para a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais. (VEIGA, 2005, p. 171).

Ignacy Sachs em Desenvolvimento incluyente, sustentável, sustentado (2008) aborda o aspecto ético do desenvolvimento destacando a ruptura de sua

relação ocorrida apontando ser necessária uma reaproximação entre economia e ética, sem esquecer-se da política.

Com relação ao desenvolvimento includente, Sachs (2008, p. 38) aponta que a maneira natural de definir o desenvolvimento includente é por oposição ao padrão de crescimento perverso, conhecido (...) como “excludente” (do mercado e de consumo) e “concentrador” (de renda e riqueza).

Sachs (2008, p. 39) também expressa sua opinião sobre a educação como sendo essencial para o desenvolvimento, pelo seu valor intrínseco, na medida em que contribui para o despertar cultural, a conscientização, a compreensão dos direitos humanos, aumentando a adaptabilidade e o sentido de autonomia, bem como a autoconfiança e a auto-estima.

Sob a ideia de inclusão social pelo trabalho decente, Sachs (2008, p. 123) afirma que o maior potencial de empregos e auto-empregos decentes reside no mundo rural, em que pese a alta taxa de redução de postos de trabalho observada atualmente no setor agropecuário. Ainda (p. 124) comenta que a agricultura familiar é, hoje, responsável por 77% da ocupação no meio rural e responde por 37 % da produção agrícola brasileira. Cerca de 84 % dos 5 milhões de estabelecimentos agropecuários são de agricultores familiares.

2.2. Recursos hídricos

Considerando todos os fatores necessários para produção agrícola a água merece maior destaque, pois seu uso é dividido entre o consumo humano, consumo industrial e principalmente a produção agrícola segundo a Agência Nacional das Águas (ANA). Se por um lado esse recurso é fundamental para a vida humana, por outro está cada vez mais difícil obter a água doce adequada ao consumo. Problemas de poluição e não tratamento de esgotos se caracterizam como mais relevantes complicadores para os recursos hídricos (ANA, 2006).

Os estudos dirigidos da ANA (2006) mostram que hoje existem grandes aquíferos, porém essas águas têm que ser consideradas como reserva, uma vez

que sua condição é devida a milhares de anos de acúmulo. Sua utilização não deve se constituir como fonte primária de abastecimento ou mesmo como insumo de produção. O uso indiscriminado dessa fonte de água doce tem trazido efeitos colaterais como o observado na cidade de Recife onde alguns prédios afundaram e outros até ruíram em função do afundamento de terras que antes eram suportadas pela água contida nos lençóis freáticos.

De forma geral, 90 % do esgoto é lançado sem nenhum tratamento nos rios que acabam por contaminar os mares e oceanos. Se não bastasse esse despejo de esgotos, é estimado que dois bilhões de toneladas de resíduos sólidos são despejados em rios, lagos e riachos, todos os dias (ANA, 2006).

Ainda de acordo com a ANA (2006), é estimado que das águas utilizadas ocorra um desperdício tanto urbano quanto rural chegando a valores como 40 % da água tratada e distribuída para consumo humano urbano e chegando a 60 % de desperdício na utilização da água de irrigação.

O Serviço Geológico do Brasil, ou simplesmente CPRM, nome de fantasia advindo da razão social Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, apresenta os dados que permitem editar o quadro abaixo onde do total de água disponível em nosso planeta, 97 % é de água salgada, 2 % são geleiras e somente 1 % de todo o volume é de água doce (SRH-SE, 2009).

O consumo dos recursos hídricos está distribuído, segundo a ANA (2006), em abastecimento humano, dessedentação animal, uso ou abastecimento industrial e irrigação. Em qualquer cenário possível, presente ou futuro o uso da água para irrigação é o maior fator de impacto ambiental.

Ainda segundo os dados apresentados pela ANA (2006), focalizando o estudo sob a divisão oferecidas pelas bacias hidrográficas, o estado de Sergipe está inserido em duas delas: Região Hidrográfica do São Francisco e Região Hidrográfica Atlântico Norte.

A área de estudo, ou seja, o município de Itabaiana se insere na Região Hidrográfica Atlântico Norte e, em específico na bacia hidrográfica do Rio Sergipe.

De acordo com a ANA (2006, p. 27) o estado de Sergipe conta com 4 reservatórios de água, sendo o de Xingó com capacidade acima de 1.000 milhões de m³ (compartilha com o estado de Alagoas o reservatório da hidrelétrica de Xingó com capacidade de 3.800 milhões de m³), e os demais com capacidade variando de 100 a 1.000 milhões de m³.

Com relação às águas subterrâneas, o sistema aquífero com maior potencialidade está no Domínio Poroso onde está incluída a bacia sedimentar Costeira abrangente em toda a região costeira do estado de Sergipe. Já a caracterização da área de estudo se concentra o tipo de aquífero de rochas fracionadas (ANA, 2006).

2.3. Evapotranspiração

A taxa de evapotranspiração das superfícies de referência, que ocorre sem restrições de água, é conhecido como evapotranspiração de cultura, e a referência é chamado ETo. A superfície de referência corresponde a um hipotético cultivo de pastagens com características específicas. (ALLEN et al. 1998, p. 7)

O conceito de evapotranspiração de referencia (ETo) serve para o estudo da demanda de evapotranspiração da atmosfera, independente do tipo e do desenvolvimento da cultura, como também das práticas de manejo. Ao assumir sem restrições de água, os fatores relacionados ao solo não têm nenhum efeito sobre a evapotranspiração. (ALLEN et al. 1998, p. 7)

Ainda segundo Allen et al. (1998), os fatores que afetam a ETo são os parâmetros climáticos e, portanto, podem ser calculados a partir dos dados meteorológicos. Para a estimativa de ETo, a FAO recomenda o método de Penman-Monteith como sendo o único a ser utilizado a partir dos parâmetros climáticos.

A evapotranspiração pode ser estimada ou medida. Os lisímetros são equipamentos de medida real do balanço hídrico de uma cultura considerando que deve ser instalado no local de produção. Dessa forma é realizada a medição direta do balanço hídrico. São recipientes grandes encerrando uma massa de solo, colocados no campo para representar suas condições naturais, utilizados para determinar a evapotranspiração de uma cultura em crescimento, de acordo com Pinto e Aguiar Netto (2008, p. 105).

Devido às dificuldades de se obter medidas precisas de campo, a evapotranspiração é normalmente calculada a partir de dados meteorológicos. Nesse ponto há de se tomar muito cuidado com o método de cálculo a ser utilizado, pois existem vários em que alguns são somente válidos para condições climáticas e agronômicas específicas e não podem ser aplicadas sob condições diferentes daquelas em que foram originalmente estudadas. A FAO, após consultar, em maio de 1990, vários especialistas obteve como resultado que o método FAO Penman-Monteith é recomendado como o método padrão para a definição e cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o). Este modelo foi adotado por apresentar resultados relativamente exatos e consistentes tanto em climas áridos como em climas úmidos Allen et al. (1998, p. 18).

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), consideram o método de Penman-Monteith como referência para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) a partir de dados meteorológicos Allen et al. (1998, p. 18).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (3.1)$$

Onde:

ET_o = Evapotranspiração de referência, mm.dia⁻¹

Δ = inclinação da curva de pressão de vapor de saturação, kPa.°C⁻¹

R_n = saldo de radiação na superfície, MJ.m².dia⁻¹

G = fluxo de calor no solo, $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$

γ = constante psicométrica, $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$

T = temperatura do ar medida a dois metros de altura, $^\circ\text{C}$

U_2 = velocidade do vento medida a dois metros de altura, m.s^{-1}

e_s = pressão de saturação do vapor d'água, kPa

e_a = pressão do vapor d'água atual, kPa

A equação acima utiliza dados climáticos de radiação solar, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento. Esses dados para serem validados têm que seguir um padrão de medida, ou seja, que esteja a 2 m de altura sobre uma grande superfície de pasto verde, com cobertura completa e o solo não deve ter limitações de água.

Segundo Allen (1998, p. 25) a equação FAO Penman-Monteith (3.1) é uma representação clara, precisa e simples dos fatores físicos e fisiológicos que governam o processo da evapotranspiração.

O sistema de produção agrícola, dentro de uma visão holística, é composto do vegetal, solo, clima (fatores físicos) e o homem (aspectos sócio-econômicos), que se interligam e interagem formando o tetraedro ecológico (PINTO e AGUIAR NETTO, 2008, p. 25).

Para Pinto e Aguiar Netto (2008, p. 25) o Clima expressa a capacidade do ambiente externo em fornecer luz, dióxido de carbono, oxigênio, energia (calor) e água para o solo e vegetal.

Pereira et al. (2002, p. 24) afirma que das atividades econômicas, a agricultura é – sem dúvida – aquela com maior dependência das condições do tempo e do clima. As condições atmosféricas afetam as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para semeadura até a colheita, o transporte, o preparo, e o armazenamento dos produtos. As consequências de situações meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais, e a enormes prejuízos econômicos, muitas vezes difíceis de serem quantificados.

Segundo Pinto e Aguiar Netto (2008, p. 27) a agrometeorologia (...) se firma cada vez mais no cenário técnico-científico e, como área integradora de conhecimento, precisa manter muito boas relações com outras áreas científicas, tanto básicas como aplicadas.

O processo de evapotranspiração é determinado pela quantidade de energia disponível para evaporar a água. A radiação solar é a mais importante fonte de energia no planeta e pode converter grandes quantidades de água líquida em vapor. A radiação solar é diferente para cada latitude e para as estações do ano Allen et al. (1998).

Para Allen et al. (1998, p. 29), deve-se considerar que nem toda a energia disponível é utilizada para evaporar a água. Parte da energia solar também é utilizada para aquecer a atmosfera e o solo.

A temperatura do ar é consequência da absorção da radiação solar na atmosfera e pelo calor emitido pela terra que recebe a radiação solar de alta frequência e emite radiação de baixa frequência para a atmosfera Allen (1998).

O conceito de umidade relativa do ar não é intuitivo, pois traduz a capacidade de absorção do vapor pela atmosfera, ou seja, o quanto a atmosfera pode ainda receber de vapor de água. Uma atmosfera com 100% de umidade relativa é considerada totalmente saturada e, portanto, incapaz de receber mais vapor. Quanto maior for a umidade do ar menor será sua capacidade de absorver vapor de água Allen et al. (1998).

Ainda segundo Allen et al. (idem, p. 29):

Com a evaporação da água, o ar sobre a superfície evaporante é saturada gradualmente com vapor. Se este ar não é substituído continuamente por ar mais seco, fica diminuída a capacidade de remoção de vapor de água e a taxa de evapotranspiração diminui.

2.4. Irrigação

Irigar é fornecer água de forma a suprir as necessidades hídricas das culturas e a possibilitar o seu desenvolvimento de forma otimizada, uma vez que também promove o transporte de nutrientes essenciais. Outro objetivo da irrigação é promover a lixiviação e diluição do excesso de sais em áreas de solos salinos, comuns no semi-árido nordestino, tornando-as agricultáveis (BERNARDO et al., 2009).

Segundo Mantovani et al. (2009) a irrigação, no foco do agronegócio, insere-se em um conceito mais amplo de agricultura irrigada, sendo uma estratégia para aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola de forma sustentável, preservando o meio ambiente e criando condições para manutenção do homem no campo, através da geração de empregos permanentes e estáveis.

Para Mantovani et al. (2009) a irrigação não deve ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura com adequados manejos dos recursos naturais. Portanto, devem ser levados em conta os aspectos de sistemas de plantio, de possibilidades de rotação de culturas, de proteção dos solos, de fertilidade do solo, de manejo integrado de pragas e doenças, mecanização etc. perseguindo-se a produção integrada e a melhor inserção dos mercados.

Com relação ao significado da agricultura irrigada:

É importante ter em mente o significado real da agricultura irrigada, que possibilita maior produção (mais que um plantio por ano) e produtividade (otimização no uso de áreas), bem como a geração de empregos permanentes, com os menores níveis de investimento, em comparação com outros setores da economia. Isso promove o aumento de renda e diminuição do êxodo rural, melhorando sensivelmente as condições de vida dos produtores e suas famílias (MANTOVANI et al., 2009).

Segundo Bernardo (2009), o manejo racional de qualquer sistema de irrigação deve considerar os aspectos sociais e ecológicos da região, maximizando a produtividade e a eficiência no uso da água, minimizando os custos, quer de mão de

obra, quer de capital, mantendo as condições de umidade do solo e de fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada. Deve também melhorar ou, no mínimo, manter as condições físicas, químicas e biológicas do solo, pois isto afetará a vida útil do sistema.

Bernardo (2009) cita cinco métodos mais usuais para a determinação da época de irrigação, os quais podem ser estabelecidos, em função da planta, do solo, ou da evapotranspiração: medição da deficiência de água na planta, medição do teor de umidade de água no solo, medição da tensão de água no solo e determinação da evapotranspiração (ET). Dentre esses métodos, a determinação da ET é a que mais se destaca e tem sido o método mais recomendado para o manejo e a programação da irrigação em nível de produtor.

Jensen (1983) define o manejo da irrigação, como a atividade de planejamento e tomada de decisão que o agricultor irrigante deve assumir durante o desenvolvimento da cultura.

Mantovani et al. (2009) definem o termo “manejo da irrigação” como complexo, e que em seu sentido mais amplo pode definir as etapas posteriores à implementação de um sistema de irrigação, de tal forma que permitam aplicação eficiente da água, visando manter o sistema funcionando em condições adequadas.

Para Saad (1991) inúmeros fatores têm contribuído para o agravamento na queda de produção de algumas culturas. Afirma ainda que com certeza, um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores irrigantes está associado ao manejo da irrigação, isto é, na aplicação de uma quantidade correta de água à cultura, no momento adequado.

Saad (1991) comenta que, a classificação das técnicas de manejo da irrigação pode ser feita da seguinte maneira: com base nos atributos físicos e hídricos do solo, com base na fisiologia das plantas, computando o balanço de água na zona radicular e com ajuda de modelos climáticos.

O monitoramento automático para manejo da irrigação é ainda incipiente no Brasil. Com o uso de técnicas de microprocessamento, da microeletrônica e de sensores é possível reverter este quadro e buscar alternativas de instrumentação visando o controle, a aquisição, a transferência e o armazenamento de dados envolvidos nas medições. A automação é uma ferramenta de tomada de decisão da programação das irrigações em condições de campo, permitindo um controle mais preciso de aplicação de quantidades reais de água para as plantas e uma maior eficiência do uso de água, assegurando a sustentabilidade do sistema agrícola irrigado e a preservação do meio ambiente (FARIA, 1998).

As observações meteorológicas de superfície são de suma importância na determinação da evapotranspiração. Neste processo de transferência de vapor d'água, os elementos climáticos controlam a demanda hídrica da atmosfera, atuando, no contínuo solo-planta-atmosfera, como dreno. O registro dessas medições, em tempo real, facilita a obtenção da evapotranspiração e, conseqüentemente, permite estabelecer estratégias de manejo de irrigação, determinar o volume de água necessário aos sistemas agrícolas e dimensionar sistemas de distribuição e de armazenamento de água (FARIA, 1998).

Para fins de manejo de irrigação, uma configuração típica deveria envolver medições das seguintes variáveis meteorológicas: temperatura e umidade relativa do ar, irradiância solar global e saldo de radiação, velocidade e direção de vento, precipitação, albedo e temperatura do solo. Tanner (1990) fornece detalhes de características de operação, funcionamento, resolução, precisão, sensibilidade, estabilidade, tipo de sinal gerado de vários sensores usados em estações automáticas.

2.5. Cultura da Alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, pertencente à família das Cichoriaceas de acordo com Sonnenberg (1985). Hortaliça típica de saladas, considerada como uma planta de propriedades tranquilizantes e que, devido ao fato de ser consumida crua, conserva todas as suas propriedades nutritivas. Segundo Camargo (1984) é uma excelente fonte de vitamina A, possuindo ainda as vitaminas

B1, B2, B5 e C, além dos minerais Ca, Fe, Mg, P, K e Na, cujos teores variam de acordo com a cultivar.

A cultura da alface no Brasil, em nível econômico, ocupa o décimo lugar entre as hortaliças Camargo (1984), e se destaca por ser a folhosa de maior aceitação pelos consumidores. Seu cultivo comercial permite retorno rápido de capital investido, principalmente pelo ciclo vegetativo curto e de poder ser cultivada o ano todo. É boa fonte de vitamina (principalmente A) e sais minerais e possui baixa caloria. Por ser um vegetal de folhas tenras, a alface deve ser cultivada próximo aos centros consumidores, para facilitar o transporte e a comercialização.

Conforme Filgueira (1982), a alface é uma das hortaliças mais exigentes em água. Experimentos com irrigação controlada demonstram que o peso da planta e a produtividade aumentam, linearmente com a quantidade de água aplicada.

Para Andrade Junior et al. (1992), por ser uma hortaliça exigente em água, ao encontrar condições ideais de umidade, ela aumentará a produtividade, bem como a qualidade produzindo folhas tenras e suculentas.

Reis (1991), estudando o efeito de quatro profundidades freáticas sobre o uso consultivo e o crescimento da alface, concluíram que o consumo de água foi maior para a menor profundidade freática utilizada (25 cm).

2.6. Sistema automatizado com a utilização de microcontroladores

O microcontrolador, de acordo com Tocci et al. (2007) é um tipo mais especializado de microcomputador projetado para ser um microcomputador dedicado ou um controlador interno que ajuda a monitorar e controlar as operações de uma máquina, uma parte de um equipamento ou um processo.

O microcomputador é o menor tipo de computador que consiste de um chip de microprocessador, chips de memória e chips de interface entrada/saída em conjunto com dispositivos de entrada/saída. Os microcomputadores foram

desenvolvidos como resultado de um enorme avanço na tecnologia de fabricação de circuitos integrados, que tornou possível encapsular mais e mais circuitos digitais em um pequeno chip (TOCCI et al., 2007).

Segundo Tocci et al. (2007), os microcontroladores são microcomputadores porque usam um chip de microprocessador como a CPU, porém são muito menores que os computadores de propósito geral porque seus dispositivos de entrada / saída são muito menores. Alguns dos dispositivos de entrada / saída, assim como a memória, são implementados no mesmo chip do microprocessador. Os microcontroladores são empregados em diversas aplicações de controle de aparelhos, máquinas de atendimento automático, fotocopiadoras, instrumentação médica e outros.

Gimenez (2005, p. 4) define microcontrolador como um “dispositivo semicondutor em forma de Circuito Integrado (CI), que integra todas as partes básicas de um microcomputador – microprocessador (CPU), memórias não-voláteis (...), memórias voláteis (...), porta de entrada e saída (portas de comunicação paralela, portas de comunicação serial, conversores analógicos / digitais, conversores digitais / analógicos etc.). Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória, principalmente no que diz respeito à memória de dados, e é utilizado em aplicações específicas, ou seja, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como em automação residencial (...), em automação predial (...), em automação industrial (...) e na automação embarcada (...).”

Sica (2006) faz uma apresentação dos usos dos microcontroladores. Os microcontroladores estão sendo cada vez mais utilizados no controle de máquinas que muitas vezes são chamados de inteligentes, tais como: coletores de dados, fornos de microondas, máquinas de lavar roupas, cofres, alarmes, câmeras fotográficas, filmadoras, automóveis entre outros.

Ainda sobre a utilização dos microcontroladores em sistemas de automação tem-se:

Para acompanhar as solicitações de produtos cada vez mais avançados, a indústria vem incorporando microcontroladores em seus produtos de modo a aumentar a inteligência e velocidade de seus aplicativos. De acordo com a publicação IC Insights, o mercado global de microcontroladores, em 2005, atingiu um volume aproximado de 13 bilhões de dólares. SOUSA (2006, p.11).

Sobre a importância da linguagem C na elaboração de programas para microcontroladores Nicolosi e Bronzeri (2005 p.13) afirmam que esta importância está relacionada ao fato de podermos gerar códigos de forma mais simples e eficientes.

No prefácio de Microcontroladores 8051 de Gimenez (2002) encontra-se uma visão mais abrangente sobre a utilização dos microcontroladores:

(...) integra a maioria dos equipamentos residenciais, comerciais, automotivos e industriais e são, em grande parte, implementados com microcontroladores. Isso ocorre principalmente por serem baratos e por reunirem características de hardware e software dedicados a aplicações simples de automação. (GIMENEZ, 2002)

E ainda, relaciona as aplicações dos microcontroladores em sistemas automatizados nas mais diversas áreas como uso pessoal, residencial, industrial, automotivo (eletrônica embarcada) e de uso geral. Relaciona ainda os vários produtos que trazem os microcontroladores embutidos: relógios de pulso digitais, agendas eletrônicas, pagers, telefones celulares, portões automáticos, alarmes residenciais, televisores, equipamentos de áudio, vídeo e DVD, Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), equipamentos digitais de medições, injeção eletrônica de automóveis e caminhões, controle de freios ABS, catracas eletrônicas de ônibus urbanos, impressoras, teclados de computadores, computadores pessoais etc. (GIMENEZ, 2002).

3. METODOLOGIA

3.1. Localização

Mapa da localização.



Figura 1. Mapa de Sergipe.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/itabaiana> (editado)

Este trabalho foi desenvolvido na Fazenda Modelo onde se desenvolve o Projeto Pequeno Produtor - Grande Empreendedor em Itabaiana - SE, envolvendo a empresa G. Barbosa através de seu Instituto e a Universidade Federal de Sergipe.

3.2. Preparação inicial

As mudas foram preparadas em casa de vegetação sendo semeadas em bandejas de polietileno expandido (isopor) com 128 cavidades (16 x 8), tendo 680 mm de comprimento, 343 mm de largura e 60 mm de altura. A semeadura se deu em 05 / 12 de 2010 contendo substrato agrícola Hortimix constituído por casca de pinus bioestabilizada e compostada, vermiculita, NPK e micronutrientes.

Dentro da área destinada ao cultivo de teste foram organizadas as fileiras de cultivo dispoendo cada planta com espaçamento de 30 x 30 cm. As fileiras foram dimensionadas com 30 cm entre elas para uso de manejo com capacidade para plantio de 6 plantas por metro quadrado. Usaram-se 7 fileiras sendo 3 de testemunha (as externas) e 4 usadas para o teste de controle automático de irrigação usando apenas a irrigação por gotejamento.

Na figura abaixo é possível visualizar o posicionamento da área de teste bem como das áreas de testemunha.

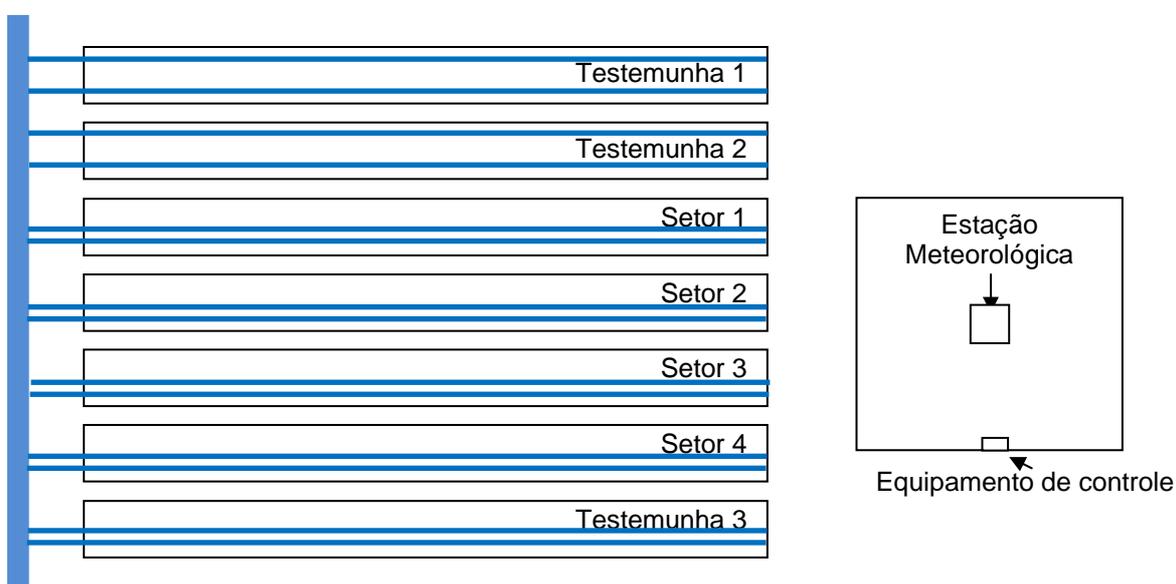


Figura 2. Distribuição da área de teste (setores 1 a 4) e de testemunha, com a distribuição das mangueiras de gotejamento. Posicionamento relativo do equipamento de controle em relação à estação meteorológica da UFS.

As mangueiras de gotejamento foram dispostas ao longo dos canteiros, sendo utilizadas 2 por toda a extensão de cada canteiro. O abastecimento de água às mangueiras de gotejamento foi feito através de tubulação de plástico rígido.

O conjunto de bomba-filtro e demais equipamentos necessários já se encontravam instalados na casa de bombas existente. Das características principais do conjunto motor bomba tem-se que a potência do motor é de 2 CV e sua tensão de trabalho é 220 V.

A distribuição da energia elétrica para o funcionamento do controlador foi feita através da instalação de um cabo de força com 150 metros de extensão e mais

as metragens necessárias para levar a energia elétrica do ponto de controle até cada eletroválvula com comprimento médio de 15 metros.

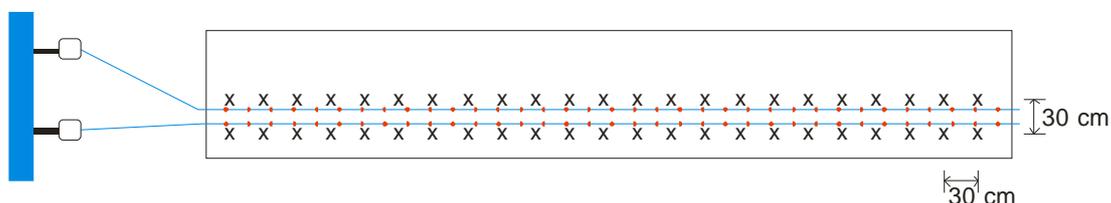


Figura 3. Detalhamento da distribuição teórica das mangueiras de gotejamento na área de controle (setores 1 a 4).

3.3. Características da água e do solo

Para que se tenha um manejo adequado e eficaz da irrigação, é necessário que se conheçam algumas definições e conceitos fundamentais relacionados à água, ao solo e à cultura. Para tanto foram colhidas amostras de solo e da água para análise e foram encaminhadas ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS).

A água, que recebe o foco principal dessa pesquisa, foi analisada e através de análise específica para irrigação obteve-se os seguintes resultados (o original se encontra no anexo 6):

Tabela 1. Relatório de Ensaio da água nº 0062/11.

<i>Ensaio</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidade</i>
pH	9,24	-
Condutividade elétrica	1509,7	$\mu\text{S.cm}^{-1}$
RAS – Relação de Absorção de Sódio	4,66	-
Carbonatos	1,099	$\text{meq CO}_3.\text{l}^{-1}$
Bicarbonatos	4,147	$\text{meq HCO}_3.\text{l}^{-1}$
Sulfatos	0,05412	meq.LSO_4
Cloretos (RBLE)	9,142	$\text{meq Cl}.\text{l}^{-1}$
Cálcio	0,995	$\text{meq Ca}.\text{l}^{-1}$
Magnésio	4,984	$\text{meq}.\text{l}^{-1}$

Sódio	8,065	meq Na.l ⁻¹
Potássio (K)	0,3076	meq K.l ⁻¹

Fonte: ITPS (2011) [editado]

Ainda como informações do relatório acima são fornecidas as seguintes classificações:

- a) **Classificação quanto ao perigo de salinidade:** Tipo C3 (Água com salinidade alta. Não pode ser usada em solos com deficiência de drenagem, requer práticas especiais para o controle da salinidade, e só se aplica na irrigação de plantas tolerantes aos sais).
- b) **Classificação quanto ao perigo de alcalinidade:** Tipo S1 (água com baixa concentração de Sódio. Pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável, embora as plantas sensíveis, como algumas fruteiras, possam acumular quantidades prejudiciais do íon).

O solo da área de teste foi analisado apresentando os resultados conforme mostrados na tabela 2 (o original se encontra no anexo 5).

Anexo ao Relatório de Ensaio ITPS Nº 3153/10, foram disponibilizadas as tabelas das “faixas para interpretação” dos resultados onde destacam-se os seguintes valores:

Tabela 2: Relatório de Ensaio da terra nº 31532/10.

<i>Ensaio</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidade</i>	<i>Interpretação</i>
pH em Água (RBLE)	7,66		Alto
Matéria Orgânica	6,59	g.dm ⁻³	Alto
Cálcio (RBLE)	1,83	cmol _c .dm ⁻³	Médio
Magnésio	1,78	cmol _c .dm ⁻³	Alto
Alumínio (RBLE)	<0,08	cmol _c .dm ⁻³	Baixo
Potássio	78,0	mg.dm ⁻³	Alto
CTC (pH 7,0)	3,87	cmol _c .dm ⁻³	Baixo
V- Índice de Saturação de Bases	100,0	%	Alto
PST	1,45	%	-
V – Índice de Saturação de Bases	100,0	%	-

Fonte: ITPS (2010) [editado]

3.4. Cálculos da demanda hídrica e reposição da lâmina de água.

Sob o ponto de vista das características do solo é possível se chegar à Irrigação Total Necessária. A água disponível para as plantas é a retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. A capacidade de campo (Cc) se dá quando o solo está encharcado, ou ainda quando a tensão da água no solo é mínima, e o outro ponto fundamental para se saber é o Ponto de Murcha (Pm) que ocorre quando o solo está seco ou a tensão da água é a máxima.

Com esses valores obtidos em laboratório a partir de amostras da área de plantio, é possível determinar a Disponibilidade Total de Água do solo (DTA) através da expressão:

$$DTA = \frac{(Cc - Pm)}{10} \times Da \quad (3.1)$$

Em que:

DTA = Disponibilidade total de água do solo, em mm.cm⁻¹.

Cc = Capacidade de campo, % em peso.

Pm = Ponto de murcha permanente, % em peso.

Da = Densidade aparente do solo, em g.cm⁻³.

Com isso se chega à Capacidade Real de Água no solo (CRA), considerando o tipo de cultura em particular. Para Barreto et al. (2004, p. 54) é dimensionada por:

$$CRA = \frac{(Cc - Pm)}{10} \times Da \times Z \times f \quad \text{ou} \quad CRA = DTA \times Z \times f \quad (3.2)$$

Em que:

CRA = Capacidade real de água do solo em mm.

DTA = Disponibilidade total de água do solo mm.cm⁻¹.

Z = Profundidade efetiva do sistema radicular (típico de cada cultura), em cm.

f = Fator de disponibilidade hídrica, sempre menor que 1.

Barreto et al. (2004, p. 55) propõe que a partir desses valores é possível dimensionar a Irrigação Total Necessária (ITN) como sendo:

$$ITN \leq \frac{CRA}{Ea} \quad (3.3)$$

Em que:

ITN = Irrigação Total Necessária em mm.

CRA = Capacidade real de água do solo em mm.

Ea = Eficiência de aplicação, em %.

A eficiência de aplicação deve contemplar todas as perdas no processo de aplicação da água pelo sistema de irrigação: perdas por evaporação, arraste e erros de distribuição (uniformidade).

$$Ea = \frac{\text{Lâmina que chega ao solo}}{\text{Lâmina aplicada}} \times 100 \quad (3.4)$$

Por outro lado, também é possível se chegar ao valor da lâmina de água a ser repostada através dos valores climáticos. O volume de água (V_a), em litros, aplicada por planta, com base em um dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, foi obtido pela relação (BERNARDO, 2009):

$$V_a = \frac{ET_0 \cdot K_c \cdot A_p \cdot TR \cdot P}{E_f \cdot 100} \quad (3.5)$$

em que:

ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm/dia),

K_c é o coeficiente de cultura,

A_p é a área máxima ocupada pela planta (m^2),

TR é o turno de rega (dias),

P é a percentagem de área molhada (%) e

E_f é a eficiência do sistema de irrigação.

Para este estudo, adotou-se os seguintes valores: $K_c = 1$ (característico para o período de desenvolvimento da alface), $TR = 1$, pois a irrigação se dará diariamente, $P = 1$ ou 100% uma vez que toda a área da planta será molhada e E_f será adotada como sendo 0,95 por se tratar de irrigação por gotejamento de acordo com Faccioli (2006).

Dessa forma a expressão (4.5) passou a ser utilizada como:

$$V_a = \frac{ET_0 \cdot A_p}{0,95} \quad (3.6)$$

A lâmina de irrigação diária (mm) pode ser obtida pela relação entre o volume de água aplicado por planta e a área de molhamento provocado pelo sistema de irrigação, ou seja:

$$LA = \frac{V_a}{Am} \quad (3.7)$$

em que:

LA é a lâmina de irrigação (mm),

V_a é o volume de água aplicado à planta (litros), de acordo com o método de estimativa da evapotranspiração, e

Am é a área de molhamento (m^2).

O tempo necessário para aplicar cada lâmina de irrigação será determinado da seguinte forma:

$$Ti = \frac{V_a}{n \cdot q} \quad (3.8)$$

em que:

Ti é o tempo de irrigação (hora),

V_a é o volume de água aplicado à cultura (litros),

n é o número de gotejadores, e

q é a vazão dos gotejadores (litros por hora).

3.5. Controle automático

O controle automático proposto como base para este estudo consistiu em uma central de processamento baseado no microcontrolador PIC16F877A, com inserção de dados através de botões push-button e leitura através de display de cristal líquido (LCD) de 16 colunas por 2 linhas e com botões para a seleção dos setores a serem irrigados. As saídas de potência foram controladas através de relés de 12 Vcc com capacidade de condução de até 8 A nos contatos de força para uma tensão de trabalho de 127 Vac, chaveados por transistores bipolares.

Nos anexos 1, 2 e 3 encontram-se os detalhes técnicos como desenho das placas, lista de materiais, esquema de ligações, código de funcionamento e fotografias do equipamento utilizado.

Abaixo se observa a fotografia do sistema de controle criado instalado na área onde se encontra a estação meteorológica.



Fotografia 1. Instalação do sistema de controle

Foi utilizado o microcontrolador PIC16F877A da Microchip® porque apresenta a melhor relação custo benefício considerando que é uma tecnologia amplamente conhecida e de baixo valor comercial facilitando sua reposição, adaptação e futuros melhoramentos. A escolha desse dispositivo respeitou as necessidades imediatas como possíveis expansões futuras, portanto, foi relevante considerar os seguintes itens para a escolha adequada:

- a) Capacidade de memória de programa (8 Kbytes);
- b) Quantidade de entradas e saídas (32 entradas e saídas digitais);
- c) Fonte de alimentação (alimentação de 3,5 a 5,5 V),
- d) Linguagem de programação (várias se destacando Assembly e C);
- e) Valor de mercado (baixo – ao redor de R\$ 15,00 – em dezembro de 2010); e,
- f) Confiabilidade e segurança tecnológica (a tecnologia CMOS utilizada na fabricação desse dispositivo e a credibilidade da empresa fabricante garantem esses itens, ainda porque é um dispositivo lançado no mercado em 1998 tendo sua revisão (inclusão da letra A) publicada em 2003 com vários aperfeiçoamentos).

Utilizou-se a programação em linguagem C através do software/compilador mikroC, mikroElektronika C compiler for Microchip PIC microcontrollers, versão 7.0.0.3 baixado do site do fabricante <http://www.mikroe.com> em 22 de maio de 2009.

O projeto do sistema de controle foi elaborado a partir da possibilidade de controlar o acionamento da bomba de recalque de água e a seleção de quatro setores independentes de irrigação. A partir desta seleção feita através de chaves ON-OFF o sistema aguarda que seja introduzido o valor da evapotranspiração.

Ao ser ligado o equipamento de controle, no display de cristal líquido (LCD) surge a mensagem “APERTE AJUSTE” na primeira linha. Ao pressionar o botão correspondente a mensagem muda para “ETo” na primeira linha e o curso é posicionado para a segunda linha.

O valor de ETo* é ajustado através dos botões “INCRE” e “DECRE” e após se chegar ao valor desejado pressiona-se o botão “PRONTO”.

Com este valor o sistema calcula o valor do tempo de irrigação e aciona as eletroválvulas (solenóides) dos setores previamente selecionados. Devido ao fato

de utilizarmos o sistema de irrigação previamente instalado, alterou-se o programa de controle para acionar simultaneamente todos os setores. O código de funcionamento desenvolvido esta disponível no anexo 4.

Descrição do procedimento diário:

A partir das informações meteorológicas obtidas, estimava-se a evapotranspiração de referência através dos softwares REF-ET (for DOS), REF-ET (for Windows), EToCALC (V. 3.1) e CROPWAT 8.0. O REF-ET foi obtido através do orientador e os demais foram baixados diretamente do site da FAO. Adotou-se o resultado obtido através do software EToCALC (V. 3.1).

Com esse valor realizou-se a seguinte sequência de procedimentos operacionais no controle:

- a) Liga-se e, aguarda-se aparecer a mensagem “APERTE AJUSTE” na tela do LCD;
- b) Ao pressionar o botão correspondente a AJUSTE no painel da caixa, a mensagem passa a ser: ETo na primeira linha e o cursor fica posicionado no início da segunda linha aguardando o ajuste dos valores através dos botões de incremento e decremento;
- c) Pressiona-se o botão INCRE para incrementar o valor de ETo e caso ultrapasse o valor desejado, o mesmo pode ser ajustado através do botão DECRE;
- d) Uma vez ajustado o valor desejado de ETo, pressiona-se o botão PRONTO para o acionamento dos solenóides pelo tempo determinado pelo sistema.
- e) O tempo (em segundos) equivalente ao total dividido por dois é mostrado na tela do LCD e é decrementado a cada segundo até chegar a 0 quando as eletroválvulas são desligadas.
- f) Foi programado o funcionamento automático para a segunda etapa de irrigação após 7 horas, porém devido à falta de controle da bomba esse procedimento foi diariamente abortado e passou-se a utilizar o botão de reset que faz o apagamento dos valores anteriormente introduzidos. Portanto, repetiam-se os procedimentos anteriores para a segunda etapa de irrigação.
- g) Após essa fase o sistema era desligado.

Utilizou-se eletroválvulas da marca P. Monti que apresentam funcionamento baseado em tensão alternada de 127 Vac. Essas eletroválvulas são utilizadas em sistemas de admissão de água em máquinas de lavar roupa que depois de testes de campo se mostraram perfeitamente compatíveis com as necessidades de uso.

Foram utilizadas duas estações agrometeorológicas uma da marca Pessl Instruments, modelo iMetos automática já instalada ao lado da área de teste, que pertence à Universidade Federal de Sergipe e outra, também automática, do governo federal sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) e que tem por usuário a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (SEMARHSE) em que seus dados estão disponíveis na internet através do site do Sistema Nacional de Dados Ambientais (SINDA).

A escolha dessas estações se deve ao fato das mesmas seguirem os padrões definidos pela FAO para a implementação dos sensores.

Além disso, essas estações transmitem os sinais monitorados para sites na internet estando disponíveis mediante acesso por login e senha, no caso da Pessl e totalmente livre no caso da SINDA.

Durante a fase preliminar de testes, observou-se que a leitura do sensor de radiação solar da estação da UFS apresentava valores abaixo daquele considerado historicamente como normal e, portanto, foi necessária a utilização da estação INPE para a obtenção desse valor.

Essa outra estação está localizada dentro do raio de 40 quilômetros, ou seja, de validade de medidas. Esta localizada sob as seguintes coordenadas latitude -10.70° , e longitude -37.42° e altitude 200 m. Os dados referentes à radiação solar são apresentados em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, e indicam a radiação acumulada durante o dia.

3.6. Medidas e controles

Como uma fase preliminar, foi feita uma manutenção básica na estação meteorológica automática da UFS, consistindo na limpeza de seus sensores e respectivos encapsulamentos. Não foi possível realizar uma calibração por falta de uma referência padronizada das medidas utilizadas.

Apesar dessa manutenção inicial, o sensor de radiação solar apresentou erro em sua leitura abaixo do esperado, mas os demais sensores funcionaram dentro do padrão esperado para a época do ano. Isso levou ao abortamento do teste em andamento. Posteriormente o valor da radiação solar foi obtida da estação Agrometeorológica SEMARHSE.

Definiu-se como padrão para a estimativa da ETo o valor obtido pelo aplicativo EToCalc V. 3.1 de 2009. Adotou-se o valor de $Kc_{\text{médio}}$ tabelado pela FAO ou seja, $Kc = 1$.

O valor de Ks adotado com sendo igual a 1, devido ao fato, previsto no relatório FAO-56, de não haver stress hídrico uma vez que a irrigação foi feita diariamente.

A Lâmina Líquida a ser reposta é determinada pela expressão abaixo:

$$LL = ETc \quad (3.9)$$

A partir desse valor foi estabelecido o valor da Lâmina Bruta (LB) de irrigação considerando o tipo de irrigação a ser utilizado. No caso do projeto, como foi utilizada a irrigação por gotejamento a LL foi dividida por 0,95 representando a eficiência do sistema de irrigação por gotejamento, de acordo com Faccioli (2006), assim:

$$LB = LL/0,95 \quad (3.10)$$

Como o sistema de controle realiza a temporização de acionamento dos solenóides, incorporou o dimensionamento desse tempo, assim:

$$Ti = \frac{h.A_{\text{planta}}}{n.q} \quad (3.11)$$

Onde:

T_i = Tempo total de irrigação.

h = Lâmina Bruta (LB).

A_{planta} = espaço entre plantas.

n = nº de gotejadores por planta.

q = vazão do gotejador.

Obs.: o valor nominal de q (vazão dos gotejadores) é de 1,5 litros, porém após medidas de campo constatou-se que era de 900 ml.

Valores adotados nos cálculos:

$$LL = E_{To} \quad , \text{ adotando-se } K_c = 1, K_s = 1 \quad (3.12)$$

$$LB = E_{To} / 0,95, \text{ irrigação por gotejamento} \quad (3.13)$$

$$h = E_{To} / 0,95 \quad (3.14)$$

$$A_{\text{planta}} = 0,09 \text{ m}^2, \text{ espaço entre plantas de } 30 \times 30 \text{ cm} \quad (3.15)$$

$$n = 1,5 \quad , \text{ adaptação ao espaçamento entre plantas} \quad (3.16)$$

$$q = 1,5 \text{ l} \quad (3.17)$$

Substituindo os valores acima na equação 3.11 é obtida a seguinte expressão:

$$T_i = E_{To} \cdot 0,044 \quad [\text{h}] \quad (3.18)$$

A unidade desse tempo é dada em horas e, devido ao valor de E_{To} ser menor ou igual a 10, adotou-se o tempo em minutos, ou seja:

$$T_i = E_{To} \cdot 2,7 \quad [\text{min}] \quad (3.19)$$

Devido à necessidade de dividir T_i por 2, para efetuar 2 regas adotou-se converter esse tempo para segundos para que não houvesse perdas por aproximações, ou seja, usando a unidade de segundos para T_i , perde-se no máximo 0,5 segundos de tempo de irrigação, assim:

$$T_i = E_{To} \cdot 162 \text{ [seg]} \quad (3.20)$$

A correção da vazão entre os valores nominal e real é feita multiplicando-se por 1,5 e dividindo-se por 0,9, assim o tempo de irrigação passa a ser:

$$T_i = E_{To} \cdot 270 \text{ [seg]} \quad (3.21)$$

Como o sistema de controle foi pensado para ser fácil de se usar, eliminou-se a casa decimal de E_{To} , ou seja, por exemplo se E_{To} calculado for 5,2, o ajuste feito será para o valor 52, assim:

$$T_i = E_{To}^* \cdot 27 \text{ [seg]} \quad (3.22)$$

Em que

$$E_{To}^* = 10 \cdot E_{To} \quad (3.23)$$

Obs.: nas linhas de programação a expressão utilizada para o dimensionamento de T_i foi apresentado como $T_i = (E_{To}^* \times 45) \times 60 / 100$ onde, matematicamente se chega à expressão 3.22 acima.

O projeto do sistema de controle automático da irrigação foi pensado para ser independente, ou seja, para controlar, através de relés, o sistema de acionamento da bomba de recalque de água e de quatro setores configurados independentemente por chaves, portanto, a partir da informação de qual(is) setor(es) será(ão) irrigados, o sistema procede à ligação da bomba e depois de um tempo de espera cada setor será acionado, a começar pelo setor 1 e segue na sequência para o setor 2, 3 e 4.

Ao final desse processo, a bomba é desligada e o sistema passa a contar o tempo de 7 horas para o segundo processo de irrigação diário que ao final envia para o display de comunicação a mensagem "DESLIGUE O SISTEMA".

Em situações de emergência, como por exemplo, a queda de energia elétrica, que provoca automaticamente a interrupção da execução do programa, foi implementado um botão de “reset” ou reinício.

Em caso de qualquer ocorrência anormal esse botão poderá e deverá ser acionado para se obter o reinício do processamento. Com isso, evita-se perder o controle do sistema.

Como procedimento operacional após ligar o sistema de controle automático se “reseta” o sistema, insere-se o valor de ETo, após a irrigação, o sistema pode ser desligado pois para o dia seguinte basta repetir o procedimento operacional citado acima.

Os dados relativos ao experimento foram tabulados de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3: Planilha utilizada para registro dos valores de campo anotados diariamente.

<i>Data</i>	<i>ETo* (mm)</i>	<i>Ti/2 (s)</i>	<i>Hpr (h)</i>	<i>Ti TTM123 (s)</i>	<i>Hsr (h)</i>	<i>Ti TTM123 (s)</i>
-------------	------------------	-----------------	----------------	----------------------	----------------	----------------------

Onde:

$ETo^* = 10 \cdot ETo$ (mm);

Ti/2 é o tempo de rega dividido por 2 para cada turno de rega na área de teste;

Hpr é o horário da primeira rega;

Ti TTM123 é o tempo de rega usado nas áreas de testemunha;

Hsr é o horário da segunda rega.

O início do controle através do sistema automatizado se deu em 27 de dezembro de 2010 e foi finalizado em 31 de janeiro de 2011 tendo a colheita realizada em 03 de fevereiro de 2011.

3.7. Comparações agronômicas

Como forma de avaliação do processo produtivo, ao final do período previsto, realizou-se testes que permitam a comparação do produto final quanto aos aspectos agronômicos como o peso e a quantidade de folhas de cada planta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização sócio-econômica

O município de Itabaiana está localizado no agreste sergipano, conta com uma população de 86.981 habitantes de acordo com o IBGE (2010), sendo 42.514 homens e 44.467 mulheres, com distribuição de 22,15 % de habitante na região rural e 77,85 na região urbana. Apresenta um índice de pobreza de 48,05 % (IBGE / POF 2000). A análise dos dados do PIB municipal revela que sua composição é de 6,67 % da agropecuária, 11,97 % para a indústria e 81,36 % para a área de serviços.

Dentro da área sócio-econômica da agropecuária, Itabaiana e municípios vizinhos recebem a denominação de o “cinturão agrícola”, constituindo-se como uma micro-região caracterizada por um grande número de pequenas propriedades rurais nas quais as famílias na maioria dos casos residem produzindo variadas hortaliças e ervas medicinais, que aliadas a produção de farinha de mandioca, são a base de sustentação para as famílias ali localizadas de acordo com Souza et al. (2009).

Os resultados apresentados por Souza et al. (2009) são esclarecedores e mostram as principais características dos produtores envolvidos no projeto “Pequeno Produtor, Grande Empreendedor”. Com relação ao nível de escolaridade, 70% dos responsáveis pelas propriedades possuem nível fundamental incompleto, 13,33% são analfabetos, 6,67% concluíram o ensino fundamental, 6,67% não completaram o ensino médio e 3,33% chegaram ao final do ensino fundamental. Além disso, a produção se caracteriza por ser familiar onde em 67,85% das propriedades, somente uma pessoa da família desenvolvia atividades no sistema de produção.

Outro ponto levantado por Souza et al. (2009) é com relação à insatisfação da atividade desenvolvida sendo considerada de baixo rendimento e sem perspectivas de crescimento. Portanto, é um fator essencial melhorar a condição de rendimento do negócio como forma de proporcionar uma remuneração condizente com o trabalho.

4.2. Caracterização climática

Os dados climáticos obtidos através de leituras das estações agrometeorológicas automáticas da UFS e do Sistema Nacional de Dados Ambientais (SINDA) serviram para a estimativa da evapotranspiração durante o período de teste compreendido entre 27 de dezembro de 2010 e 30 de janeiro de 2011, usando o software EToCALC (V. 3.1).

Na tabela abaixo estão relacionados os valores de temperatura média (T_{med} [°C]), temperatura mínima (T_{min} [°C]), temperatura máxima (T_{max} [°C]), umidade relativa do ar (HR [%]), a Radiação solar (R_s [$MJ.m^{-2}.dia^{-1}$]) e o valor da evapotranspiração de referência (ETo [mm]) para cada dia do experimento.

Tabela 4: Dados climáticos diários

<i>Data</i>	<i>Tmed</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmax</i>	<i>HR</i>	<i>Rs</i>	<i>ETo</i>
27/dez	25,76	21,15	32,51	75,58333	23,2	5,10
28/dez	25,67	19,92	33,04	78,27083	20,6	4,60
29/dez	26,27	20,73	33,71	75,89583	23,4	5,40
30/dez	26,91	23,47	32,66	76,89583	18,1	4,70
31/dez	26,35	22,79	32,53	76,06250	15,3	4,20
1/jan	25,67	22,35	31,65	78,70833	20,6	4,70
2/jan	25,97	20,83	32,59	75,77083	21,5	4,90
3/jan	26,48	21,61	32,84	78,02083	20,9	4,80
4/jan	26,50	22,38	32,91	79,00000	23,6	5,30
5/jan	26,20	21,96	32,31	77,91667	23,5	5,20
6/jan	25,65	21,72	31,51	76,70833	21,6	4,80
7/jan	25,66	20,62	32,12	77,35417	18,4	4,30
8/jan	25,93	21,61	32,84	79,33333	21,9	4,90
9/jan	24,29	21,86	28,00	88,02083	15,3	3,20
10/jan	25,79	21,69	31,33	81,10417	18,8	4,20
11/jan	27,09	23,30	33,95	77,06250	18,6	4,70
12/jan	26,79	23,68	32,63	81,04167	15,4	4,00
13/jan	26,46	22,77	32,60	80,35417	19,9	4,60
14/jan	25,90	21,71	32,01	76,58333	22,7	5,00
15/jan	25,77	21,02	31,92	79,45833	20,7	4,50
16/jan	26,54	20,91	33,64	76,52083	23,1	5,30
17/jan	26,62	21,96	32,87	74,33333	21,8	5,30
18/jan	25,03	18,97	31,61	74,60417	16,7	3,90
19/jan	25,26	19,30	32,66	78,75000	21,5	4,70

20/jan	25,77	21,76	32,05	82,22917	19,1	4,20
21/jan	24,41	22,67	27,01	89,77083	7,6	1,90
22/jan	25,46	20,35	31,98	81,60417	17,0	3,90
23/jan	24,31	21,67	30,04	88,85417	13,5	3,00
24/jan	25,40	21,61	31,29	79,79167	19,1	4,20
25/jan	25,82	20,43	32,37	80,10417	22,8	4,90
26/jan	25,93	22,08	31,44	83,18750	16,3	3,70
27/jan	24,34	22,75	29,54	94,31250	15,7	3,20
28/jan	25,21	21,79	30,37	82,02083	16,5	3,70
29/jan	25,51	21,26	31,08	82,31250	17,8	3,90
30/jan	25,60	22,19	29,96	86,06250	16,3	3,50
31/jan	26,22	22,20	32,10	82,00000	19,2	4,20

Sendo que o valor de Tmed (°C) foi calculado a média de cada dia, Tmin (°C) é a mínima temperatura, Tmax (°C) é a máxima temperatura de cada dia, a HR (%) foi calculada a média para cada dia e Rs (MJ.m⁻².dia⁻¹) como sendo o total de radiação acumulada ao longo do dia.

Para esses dados obtiveram-se os seguintes gráficos:

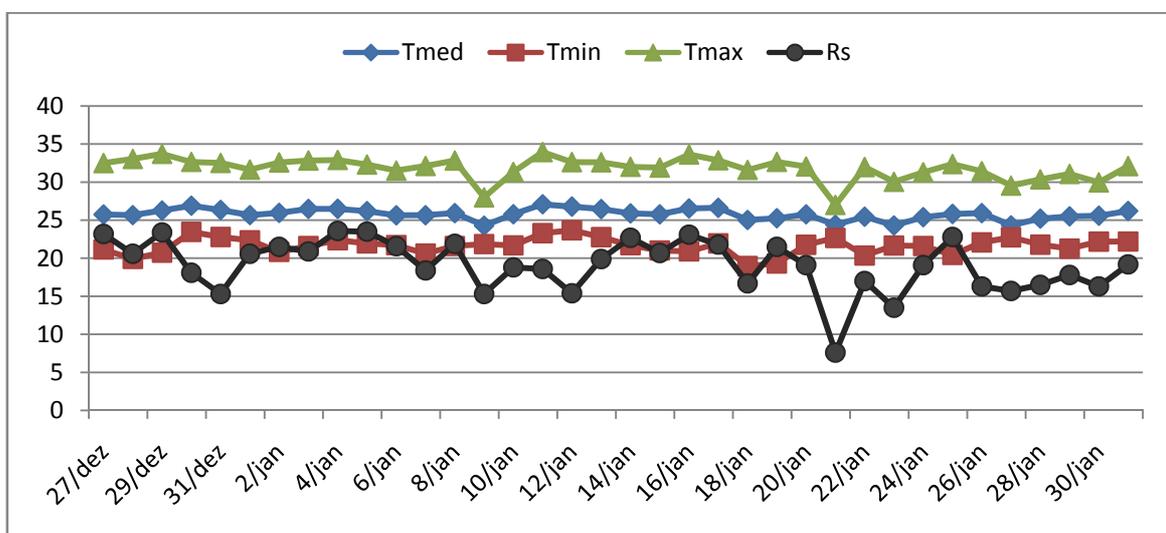


Gráfico 1: Temperaturas (°C) e radiação solar (MJ.m⁻².dia⁻¹) diárias no período de 27/dez/10 a 31/01/11

As temperaturas apresentadas no gráfico 3 tiveram os valores para a mínima Tmin de 18,97°, a máxima Tmax de 33,95 °C e a média da Tmed de 25,79 °C que se mostra compatível com a média anual de 24,7 °C de acordo com os valores do SINDA. Destacam-se os dias 09 e 21/jan como tendo os menores valores para Tmax com valores respectivos de 28,00 °C e 27,01 °C, além de ocorrer o

menor valor para a radiação solar de $7,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, também os dias 30/dez de 2010 e 12/jan de 2011 com os maiores valores para a Tmin de $23,47 \text{ }^\circ\text{C}$ e $23,30 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente.

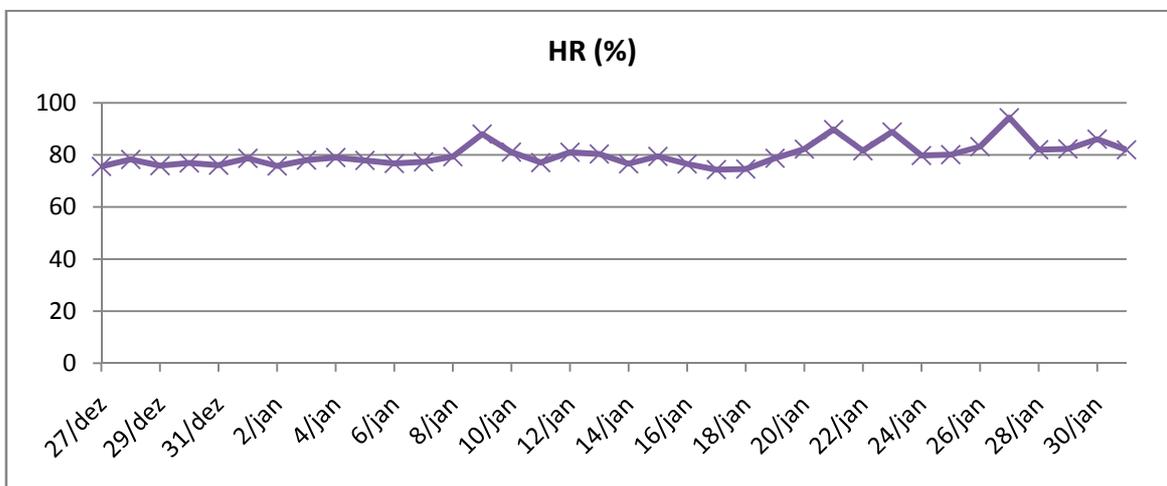


Gráfico 2: Umidade relativa do ar diárias no período de 27/dez/10 a 31/01/11

O valor médio da umidade relativa do ar (HR) foi de 80,16 %, também considerada normal para a época do ano segundo os dados históricos da SINDA bem como da própria plataforma de dados da estação iMetos usada. Observa-se que a partir do dia 20/jan houve um aumento na umidade relativa devido ao aumento da precipitação.

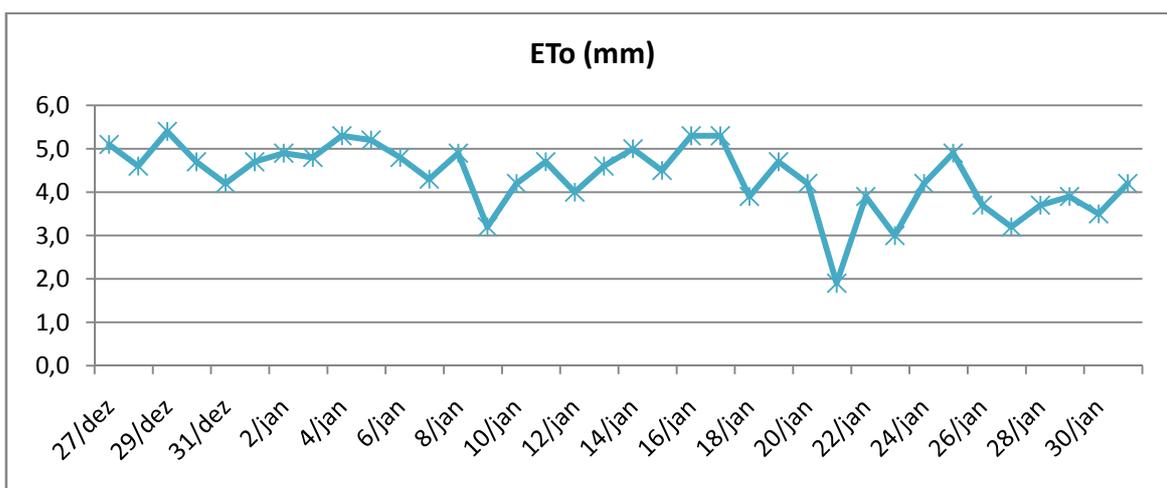


Gráfico 3: Evapotranspiração diárias no período de 27/dez/10 a 31/01/11

A amplitude da variação de ETo foi do mínimo de 1,70 mm ao valor máximo de 6,10 mm. A ETo média do período foi de 4,52 mm, que quando

comparado como o valor 4,20 mm avaliado por Sousa et al (2010) apresentou uma variação de 7,62% a mais. Esta diferença pode ser aceita como normal em função da diferença de períodos analisados uma vez que no estudo acima o valor médio foi obtido ao longo de um período de 4 anos onde se considerou a estação chuvosa e no presente estudo, a época se caracteriza por baixa pluviosidade.

4.3. Controle da Irrigação a partir dos dados climáticos e estimativa de ETo

O controle da irrigação começou no dia 27/dez de 2010, terminado em 30/jan de 2011. Durante este período somente nos dias 03, 23 e 27/jan de 2011 não se utilizou a automação em função da adubação e precipitação chuvosa.

Foi necessário adaptar a tensão de trabalho uma vez que o sistema instalado é de 220 V e as eletroválvulas de 127 V, portanto, foi necessário instalar um transformador abaixador de tensão.

As mudas foram semeadas no dia 05/dez de 2010 e transplantadas no dia 20/dez de 2010.

Nas fotografias 2 e 3 são mostradas: a posição onde foi montado e, o detalhe do equipamento utilizado respectivamente.



Fotografia 2. Instalação do equipamento no campo, dentro do cercado da estação meteorológica.



Fotografia 3. Detalhe do equipamento.

Optou-se por utilizar as instalações pré-existentes, o que acarretou uma alteração da programação prevista, ou seja, não foi possível controlar o funcionamento da bomba devido a ser necessária a operação de redirecionamento do fluxo de água através de válvulas manuais de direcionamento de fluxo de água pré-existentes. Em função desse fato, adotou-se que a bomba era ligada e as válvulas de direcionamento do fluxo de água eram operadas manualmente e após a pressurização das mangueiras, era incluído o valor de ETo no sistema de controle acionando as eletroválvulas controlando o tempo de irrigação da área de controle. Para as áreas de testemunha o tempo de irrigação ficou sob a responsabilidade do funcionário-operador.

Na fotografia 4 é mostrada a área do experimento relativo ao dia 20/dez de 2010, passando por um molhamento através de micro-aspersores após o transplante das mudas da casa de vegetação. Esse procedimento foi realizado para que as mudas tivessem o enraizamento adequado. Tal procedimento se repetiu pelo intervalo de 7 dias quando foi iniciado o sistema de controle automatizado.



Fotografia 4. Transplante das mudas realizado em 20/12/10.



Fotografia 5. Primeiro dia do funcionamento do controle.

A fotografia 5 acima registra o primeiro acionamento do sistema de controle projetado, sendo acionado as 7:23 h. Nesse dia o valor da ETo estimada foi 5,10 mm, de onde o sistema calculou o valor do tempo de rega em 11,475 minutos ou ainda 11 min 28 s. O cálculo efetuado pelo sistema chegou ao valor total de 1377 s. Esse é o tempo total que o sistema deveria controlar as eletroválvulas para a reposição da lâmina de água ideal, mas como foi dividido em 2 fases, o sistema chegou ao valor de 688 s.



Fotografia 6. Instalação das eletroválvulas.

Nessa fotografia 6 pode-se observar a instalação das eletroválvulas em que se optou por colocar uma eletroválvula para cada mangueira. Suas especificações técnicas constam de: corpo termoplástico, com suporte em aço zincado com dois furos; filtro metálico interno removível para limpeza; Tensão de alimentação 110 V ou 127 V com terminais em latão para a conexão elétrica; tipo normalmente fechada (abre quando o solenóide é energizado); conexão de entrada com rosca de $\frac{3}{4}$ " e conexão de saída do tipo espigão com diâmetro de 13 mm e com comprimento de 20 mm para mangueira de $\frac{1}{2}$ " com braçadeira; tem uma disposição geométrica entre entrada e saída de 90° ; suporta pressão de operação de 0,2 a 8 kgf.cm^{-2} ; suporta uma vazão mínima de 7 l.min^{-1} para uma pressão de 0,2 kgf.cm^{-2} e uma vazão máxima de 40 l.min^{-1} para uma pressão de 8 kgf.cm^{-2} ,

Sob o regime de pressão máxima a capacidade de vazão das eletroválvulas é de 40 l.min^{-1} ou 2400 litros por hora. Em cada mangueira havia 35 pontos de gotejamento com valor nominal de $1,5 \text{ l.h}^{-1}$, portanto cada mangueira teria uma vazão de $97,5 \text{ l.h}^{-1}$, como em todo o projeto foram utilizadas 14 mangueiras, a vazão total seria de 1365 l.h^{-1} . Porém, como foi avaliado e adotado como vazão de trabalho o volume de 900 ml.h^{-1} , o total seria de 819 l.h^{-1} . Ambos os valores estão

muito abaixo da capacidade máxima suportada pela eletroválvula, portanto, em termos de capacidade de abastecimento seria necessária apenas 1 eletroválvula.

Porém, como o objetivo proposto era controlar 4 setores, optou-se por colocar uma eletroválvula para cada ponto de conexão com a distribuição central fazendo uma ligação elétrica em paralelo para cada canteiro da área de controle.

Já no primeiro dia foi detectado o vazamento em uma das mangueiras da área de testemunha 1. Foi solicitada sua substituição aos funcionários que realizaram a troca no dia 30/dez de 2010 por ocasião da retirada de uma fileira de plantas dos canteiros.

Em 03/jan de 2011 foi feita a limpeza da área e a adubação e o aspecto da cultura é mostrada nas fotografias a seguir.



Fotografia 7. Vista parcial do dia da limpeza e adubação.

Nessas figuras é possível visualizar os pontos em que algumas plantas morreram pelo motivo dos gotejadores estarem entupidos. Também se tem uma visão muito clara da irregularidade no espaçamento entre plantas.



Fotografia 8. Detalhe no dia da limpeza e adubação.



Fotografia 9. Falhas devido a morte da plantas.



Fotografia 10. Detalhes ressaltando algumas plantas com desenvolvimento abaixo do esperado.

Nos dias 03/dez de 2010, 23/jan e 27/jan de 2011, não houve irrigação através dos gotejadores, sendo que em 03/dez houve aplicação manual de água através de regadores devido ao procedimento de adubação e nos outros dias registrou-se a ocorrência de chuvas com 22,6 e 26,6 mm de precipitação respectivamente, ao longo do dia. Nos dias 31/dez de 2010 e 01 e 02/jan de 2011 irrigou-se apenas nos horários indicados, pela manhã, tendo duração total, ou seja, não dividida em dois horários de rega.

O mesmo procedimento foi adotado nos demais dias indicados, porém com a aplicação de tempo total no equivalente ao 2º horário de rega pelo motivo de ter ocorrido precipitações durante as noites.

Como rotina de operação do equipamento, diariamente foi introduzido o valor da ETo calculado através do software EToCALC (V. 3.1). Esses valores estão relacionados na tabela 5. Também nesta tabela se encontram os valores controlados diariamente como 1ª Rega [h] e 2ª Rega [h], registrando os horários em que a irrigação foi aplicada. Em média, tivemos o horário da primeira rega as 8 h 20 min e o horário da segunda rega as 12 h 54 min. A rotina programada previa que a segunda rega seria automaticamente realizada 7 horas após a primeira rega, porém

como não foi possível o controle da bomba, optou-se por efetuar a segunda rega manualmente, procedendo ao “resetamento” do equipamento e reintroduzindo o valor da evapotranspiração.

A seguir é apresentada a tabela de anotações diárias:

Tabela 5: Anotações diárias

<i>data</i>	<i>Eto</i> [mm]	<i>Ti</i> [min]	<i>1ª Rega</i> [h]	<i>TTM123</i> [min]	<i>2ª Rega</i> [h]	<i>TTM123</i> [min]
27/dez	5,10	11,475	07 h 23 min	35 min 38 s	13 h 05 min	35:08 s
28/dez	4,60	10,350	08 h 41 min	32 min 15 s	14 h 18 min	29 min 47 s
29/dez	5,40	12,150	07 h 32 min	41 min 10 s	13 h 21 min	36 min 23 s
30/dez	4,70	10,575	07 h 45 min	54 min 18 s	13 h 01 min	35 min 28 s
31/dez	4,20	9,450	08 h 21 min	51 min 02 s		
1/jan	4,70	10,575	09 h 00 min	35 min 23 s		
2/jan	4,90	11,025	07 h 26 min	18 min 27 s		
3/jan	4,80					
4/jan	5,30	11,925	08 h 20 min	51 min 55 s	13 h 02 min	32 min 14 s
5/jan	5,20	11,700	08 h 27 min	38 min 30 s	12 h 05 min	28 min 21 s
6/jan	4,80	10,800	08 h 45 min	25 min 38 s	13 h 19 min	38 min 27 s
7/jan	4,30	9,675	08 h 56 min	29 min 50 s	13 h 46 min	43 min 12 s
8/jan	4,90	11,025	08 h 53 min	30 min 02 s	12 h 03 min	48 min 33 s
9/jan	3,20	7,200			11 h 56 min	39 min 07 s
10/jan	4,20	9,450	08 h 09 min	39 min 08 s	12 h 29 min	20 min 44 s
11/jan	4,70	10,575	08 h 14 min	27 min 49 s	12 h 14 min	38 min 12 s
12/jan	4,00	9,000	08 h 12 min	29 min 58 s	13 h 36 min	22 min 47 s
13/jan	4,60	10,350	07 h 55 min	25 min 33 s	13 h 19 min	38 min 21 s
14/jan	5,00	11,250			13 h 36 min	22 min 47 s
15/jan	4,50	10,125			12 h 49 min	30 min 41 s
16/jan	5,30	11,925			12 h 56 min	31 min 09 s
17/jan	5,30	11,925	08 h 19 min	21 min 09 s	13 h 12 min	19 min 39 s
18/jan	3,90	8,775	07 h 39 min	19 min 52 s	12 h 37 min	29 min 21 s
19/jan	4,70	10,575	08 h 39 min	42 min 19 s	12 h 49 min	16 min 59 s
20/jan	4,20	9,450			13 h 36 min	22 min 47 s
21/jan	1,90	4,275			13 h 04 min	18 min 33 s
22/jan	3,90	8,775	08 h 52 min	22 min 37 s	13 h 18 min	33 min 21 s
23/jan	3,00					
24/jan	4,20	9,450	09 h 18 min	20 min 32 s	13 h 51 min	29 min 55 s
25/jan	4,90	11,025	08 h 35 min	28 min 45 s	12 h 37 min	35 min 03 s
26/jan	3,70	8,325			11 h 49 min	27 min 44 s
27/jan	3,20					
28/jan	3,70	8,325			12 h 03 min	29 min 18 s
29/jan	3,90	8,775			11 h 39 min	33 min 28 s
30/jan	3,50	7,875	09 h 06 min	31 min 07 s	13 h 25 min	26 min 34 s

O tempo total de irrigação controlada foi de 10 h 55 min 12 s. O tempo total de irrigação da área de testemunha foi de 28 h 39 min 8 s. Merecem destaque os dias iniciais de 27 a 30 de dezembro de 2010 onde a aplicação da lâmina de água nas áreas de testemunha, controlada pelo funcionário-operador, foi muito elevada em relação à área de controle; nesse período, o tempo de irrigação da área de controle foi de 1 h 29 min 6 s e nas áreas de testemunha foi de 5 h 00 min 7 s. Todas as vezes que se questionou o tempo de irrigação utilizado, obteve-se a mesma resposta: “hoje está muito calor”, passando a ser este o único critério utilizado pelos produtores em geral, visto que o controle é realizado pelo funcionário-operador.



Fotografia 11. Dia 16 de janeiro de 2011 chão úmido devido a precipitação de 5,0 mm.

A fotografia acima registra a situação das plantas no dia 16/jan de 2011 onde é possível verificar alguns pontos sem plantas (mortas por falta de irrigação dos gotejadores) bem como a condição de desenvolvimento geral.

Outro aspecto relevante relacionado a essa fotografia é a condição de umidade do solo, pois nessa data a estação meteorológica registrou 5,0 mm de precipitação.

Esse registro fotográfico foi feito no horário das 11 h 30 min, logo após ter precipitado 0,4 mm. Em função disso só foi feita uma irrigação no horário da tarde, ou seja, as 12 h 56 min.

O valor nominal da vazão das mangueiras pré-existentes é de $1,5 \text{ l.h}^{-1}$ para cada bico gotejador, porém esse valor nunca foi alcançado tendo uma variação de 720 ml a $1,272 \text{ l.h}^{-1}$ conforme distribuição relacionada no gráfico 6.

Essa variação é devida a alguns fatores da própria instalação do sistema existente de irrigação uma vez que havia muitos pontos de vazamentos e as conexões não suportavam a pressão do sistema de bombeamento necessária para se alcançar a vazão nominal.

O aumento da pressão da água bombeada fazia com que novos pontos de vazão surgissem e até mesmo a desconexão das mangueiras de gotejamento dos pontos de conexão com a distribuição principal.

A partir do dia 17 de janeiro em que foi realizada uma operação de manutenção corretiva no sistema de bombeamento, a pressão da água ficou abaixo daquela observada no período anterior.

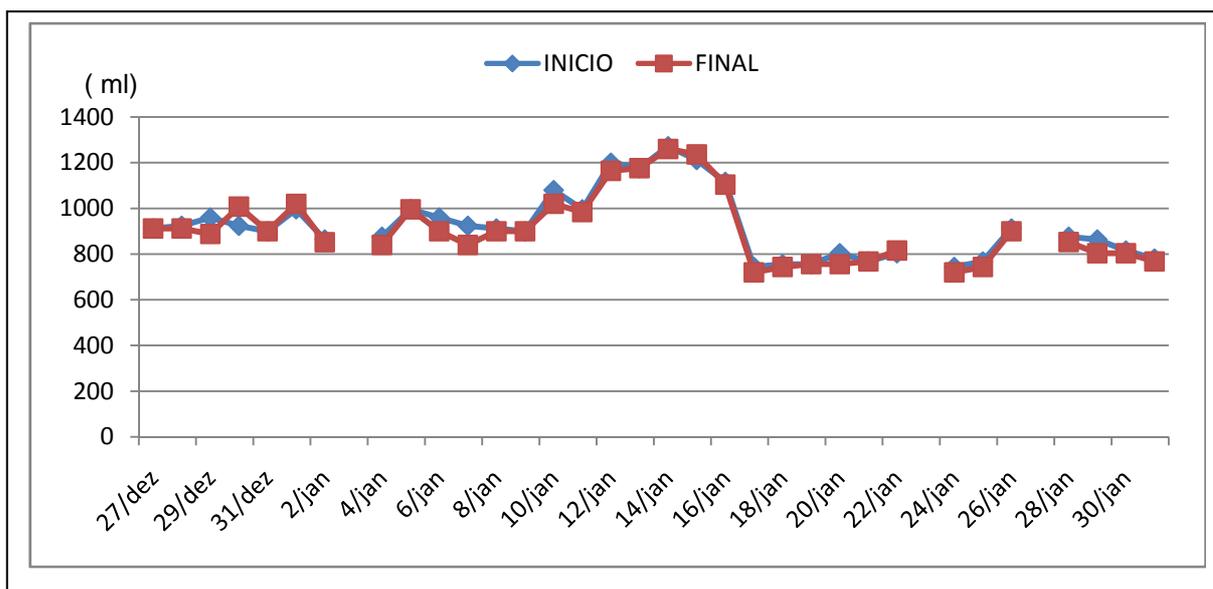


Gráfico 4: Valores de volume dos gotejadores anotados diariamente.

Os valores do volume real foram diariamente monitorados, somente para a área de teste, em dois períodos:

- a) o primeiro quando foram realizados os testes preliminares no início do mês de dezembro de 2010 quando se verificou que a vazão média foi de 900 ml por hora. Este valor foi adotado como padrão sendo feita a correção na equação do sistema de controle (eq. 3.22); e,
- b) ao longo do período de controle sendo avaliados diariamente.

Nesse gráfico, o valor do volume foi obtido a partir da medida direta em ml através de seringa graduada de 0 a 20 ml. Padronizou-se o tempo de coleta da água em 5 minutos cronometrados. O volume no início foi considerada até 1,0 m do início do canteiro e no final até 1,0 m do final do canteiro. Os valores médios foram, respectivamente ao início e ao final, de 924 ml e 908,03 ml. Para os dias em que o volume medido foi maior que o adotado no cálculo, foi aplicada uma lâmina de água maior que a calculada e nos dias em que a medida foi menor que a adotada, adicionou-se água manualmente através de regador.

Destaca-se o período a partir de 17/01 de 2011 onde os valores medidos ficaram, em sua maioria, abaixo do valor calculado.

4.4. Consumo de água e de energia

Devido ao fato de se utilizar as instalações previamente instaladas, não foi possível medir a quantidade exata de água e energia elétrica utilizadas, então se utilizou os tempos cronometrados ao longo do período de teste como base para comparações.

Para a área de controle foi utilizado o total de 10 h 55 min 12 s de irrigação e, para a área de testemunha 1, 2 e 3, obteve-se o tempo de total de 28 h 39 min 8 s. Baseado nos valores medidos e se adotando a área de controle como referencia (100 %) é possível constatar que o tempo de irrigação nas áreas de testemunha foi 2,584774 vezes maior que na área de controle.

Portanto, afirma-se que ocorreu um excesso de aplicação de água na área de testemunha e que na mesma ocorreu a percolação desse excesso provocando o fenômeno da lixiviação. Isso mostra que mesmo aplicando mais de duas vezes e meia a quantidade de água referenciada, não houve ganho de produção.

A análise do consumo de energia elétrica foi baseada no tempo de acionamento da bomba de recalque de água. A capacidade nominal da bomba é de 2 cv, fazendo a conversão para Watts, tem-se que a cada hora de operação a bomba consome 1.470,97 W, ou 1,47 kW. A tarifa para cada kWh é de R\$ 0,19 para uso em horário normal (valor obtido junto a empresa de distribuição de energia local, para irrigação na região rural). Baseado nesses valores, cada hora de operação da bomba custa R\$ 0,28.

Assim, tem-se a tabela 6 abaixo onde estão relacionadas as horas utilizadas e os respectivos valores em reais a serem pagos:

Tabela 6: Distribuição dos tempos de acionamento para cada área.

	<i>Área de teste</i>	<i>Áreas de testemunha 1, 2 e 3</i>
Horas	10,92	28,653
Valor (R\$)	3,06	8,02

Assim como para o consumo de água, o consumo de energia se mostrou muito econômico alcançando valores percentuais de 61,89% de economia em relação ao que é praticado.

A aplicação do sistema de controle automático proporcionou uma economia de R\$ 4,96 para um período de 35 dias de irrigação e, também lembrando que a área utilizada totalizou 50 metros quadrados, para uma propriedade com 10.000 m², o consumo seria 200 vezes maior, portanto, haveria uma economia de R\$ 992,00 para 35 dias que em um ano (considerando 350 dias de operação) seriam economizados R\$ 9.920,00 ao ano para cada hectare.

Esta economia poderia ser ainda mais expressiva em função do uso do bombeamento das águas subterrâneas. Durante o período de realização dessa pesquisa foi observado que esse bombeamento se dava durante o dia, em algumas ocasiões, das 6 h até as 16 h.

Por se tratar de propriedade rural e dentro do enquadramento previsto na resolução 207/06 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) de 9 de janeiro de 2006 que estabelece os procedimentos para aplicação de descontos especiais na tarifa de fornecimento relativa ao consumo de energia elétrica das atividades de irrigação e na aqüicultura.

Destacam-se os artigos 1º e 2º como segue:

Art. 1º Estabelecer, nos termos desta Resolução, os procedimentos para aplicação de descontos especiais na tarifa de fornecimento relativa ao consumo de energia elétrica das atividades de irrigação e na aqüicultura.

Art. 2º O desconto deverá ser concedido pela concessionária ou permissionária de distribuição à unidade consumidora classificada como Rural, inclusive Cooperativa de Eletrificação Rural, incidindo exclusivamente na atividade de irrigação e na aqüicultura, desde que preenchidas, cumulativamente, as seguintes condições:

- I. que o consumidor o solicite formalmente;
- II. que a unidade consumidora seja atendida por meio do Sistema Interligado Nacional - SIN; e
- III. que o consumidor não possua débito vencido junto à concessionária ou permissionária.

§ 1º O desconto será aplicado sobre o consumo de energia elétrica verificado em um período diário contínuo de oito horas e trinta minutos, facultado à concessionária ou permissionária de distribuição o estabelecimento de escala de horário para início, mediante acordo com o respectivo consumidor, garantido o horário de 21 h 30 às 6 h do dia seguinte.

§ 2º O desconto deverá ser concedido independentemente do subgrupo tarifário de atendimento da unidade consumidora.

§ 3º Para unidade consumidora classificada como Cooperativa de Eletrificação Rural, o desconto incidirá sobre o somatório dos consumos de energia elétrica nas unidades dos cooperados, verificados no período estabelecido no § 1º, cabendo à cooperativa fornecer os dados necessários para que a concessionária ou permissionária possa elaborar a fatura com o respectivo desconto.

(...) **Publicado no D.O de 27.01.2006, seção 1, p. 48, v. 143, n. 20.**

Baseado nessa resolução normativa, no intervalo das “21 h 30 às 6 h” a tarifa obtém um desconto de expressivo passando de R\$ 0,19 para R\$ 0,05 para cada kWh consumido, ou seja, um desconto de 73,68 % sobre a tarifa normal, portanto, o bombeamento das águas subterrâneas poderiam ser realizadas durante o período noturno bastando para isso a implementação de um controlador simples.

4.5. Sistema de controle de automação

A proposta desse trabalho foi criar um equipamento de baixo custo que fosse capaz de calcular o tempo de irrigação necessário a partir da informação da evapotranspiração, passando a seguir a controlar o fluxo de água através do acionamento de eletroválvulas, ou especificamente de seus solenóides. Portanto, destacam-se baixo custo, calcular e controlar eletroválvulas.

Dentre os possíveis recursos existentes no mercado que atendam total ou parcialmente essas condições destacadas, encontram-se os temporizadores, os controladores lógicos programáveis (CLP) e os microcomputadores.

Os temporizadores são equipamentos que podem ser programados quanto aos horários de início e término das atividades de controle. São de baixo custo e podem ser encontrados com capacidade de controlar solenóides, porém não

calculam o valor do tempo que deve controlar. Portanto, em função dessa limitação foram descartados de nossa análise.

Os CLPs são amplamente utilizados em controles automatizados nas industriais, pois são configuráveis em sua estrutura física, acoplando-se módulos independentes de entradas e saídas tanto analógicas quanto digitais. Alguns se apresentam com uma Interface Homem Máquina (IHM) embutidas no próprio equipamento e outros modelos exigem que as IHMs sejam acopladas ao conjunto principal. Sua estrutura permite a programação de infinitas rotinas para atendimento e cálculos necessários ao controle.

Dentre os equipamentos de controle, os CLPs são os que mais se aproximam dos parâmetros estabelecidos para este projeto. Seus pontos fortes são capacidade de processamento, programação e cálculo, saídas digitais em quantidade ilimitada para acionamentos de relés ou outros dispositivos de interface de potência que permitam o acionamento de solenóides, porém seu ponto fraco é o preço. A seguir relacionamos alguns modelos e seus preços de mercado.

Equipamentos analisados:

- a) Logo da Siemens
- b) EC4P – 221 – MRXD da Moeller
- c) μ DX100 Plus da Dexter
- d) Clic 02 Modelo Clw-02 / 20hr-d da WEG

Os valores comerciais (com base em janeiro de 2011) dos equipamentos acima são:

- a) Logo / Siemens: Interface Homem Máquina (IHM) incorporada com 4 entradas e saídas digitais, que não atende ao projeto, necessitando acrescentar módulos auxiliares de entradas e saídas digitais, no valor de R\$ 480,00 (sem as expansões).
- b) EC4P – 221 – MRXD / Moeller: contando com 12 entradas e 8 saídas digitais com IHM incorporada, total de R\$ 1.700,00.
- c) μ DX100 Plus / Dexter: equipamento com 4 entradas e 4 saídas digitais, que não atende ao projeto, e com IHM totalizando R\$ 675,00.
- d) Clp Weg Clic 02 Modelo Clw-02 / 20hr-d: constando com IHM incorporada e com capacidade de 8 entradas e saídas digitais, total de R\$ 500,00.

Desses equipamentos analisados o que melhor atende ao projeto é o modelo da WEG, uma vez que atende aos requisitos básicos, e conta com uma rede de distribuição por todo o país facilitando sua comercialização. Como foi dito, seu ponto fraco é o preço que para o modelo pesquisado era de R\$ 500,00 em janeiro de 2011.

O outro equipamento de controle de um sistema pode ser considerado o microcomputador, uma vez que sua capacidade de cálculo é muito superior aos próprios CLPs, têm a capacidade de se comunicar com o ambiente exterior através das portas seriais (COM1 e LPT1), para o caso dos desktops e Universal Serial Bus (USB), para todos, incluindo-se os netbooks. Portanto, uma solução de controle adotada com esse equipamento irá requerer do implementador, soluções adicionais para construção de uma interface de potência capaz de controlar os solenóides, ou seja, a criação de placa(s) de circuito impresso para os relés. Além disso, seu preço comercial é superior aos CLPs. Uma simples análise em sites de comercialização desses equipamentos revela valores de R\$ 700,00 a R\$ 1.600,00.

Diante disso, passou-se a projetar um equipamento baseado em um chip microcontrolador. Por se tratar de um chip é necessário que se projete as placas de circuito impresso e as interfaces de potência necessárias.

Escolheu-se trabalhar com a empresa Corporate Headquarters Microchip Technology Inc. devido a ter uma linha extensa de modelos e por ser a líder do mercado no segmento de microcontroladores de uso geral e ser de fácil aquisição em todo o território nacional. A família de microcontroladores PIC® da Microchip se destaca por ser de fácil aquisição e seus valores comerciais variam de R\$ 8,00 para as configurações de hardware mais simples, por exemplo, como 8 pinos a R\$ 40,00 para os modelos mais sofisticados como os modelos de 32 bits (valores baseados em janeiro de 2011).

A proposta foi criar um equipamento inédito, ou seja, até então não existente no mercado sob a configuração de produto, baseado num chip microcontrolador 16F877A que atendesse aos pontos destacados e que pudesse ser reproduzido por qualquer interessado.

O mesmo modelo de microcontrolador foi utilizado por Finholdt (2008) para o desenvolvimento de uma estação meteorológica automática como sendo o centro do processamento de dados e cálculos, tendo atendido plenamente as necessidades de aplicação. Também, Vilela et al. (2003) utilizaram um microcontrolador para o monitoramento da operação de conjuntos motobombas.

O custo de integração deste projeto foi assim distribuído com base nos valores de janeiro de 2011(ver anexo 7):

- a) Equipamento (componentes): R\$ 118,92
- b) Instalações elétricas: R\$ 242,50
- c) Eletroválvulas e adaptadores: R\$ 113,60

Comparando com os outros sistemas de controle (CLPs e microcomputadores) o preço do equipamento criado corresponde em média a 80% mais barato que os CLPs considerados concorrentes mais próximos.

O equipamento projetado para controle automático da irrigação funcionou total e plenamente ao longo do período de observação. Não foi necessária nenhuma ação de manutenção corretiva ou preventiva quer seja de hardware como de software e, ao final do período o equipamento se encontrava em perfeita condição de funcionamento. As únicas ocorrências observadas foram: o encontro de pequenas pererecas dentro do encapsulamento exterior de proteção do equipamento, porém não dentro da sua caixa de acondicionamento; e, o descolamento do papel de indicação dos botões, chaves e leds.

O baixo custo do projeto e sua facilidade de implementação por qualquer técnico em eletrônica faz com que essa solução para automação da irrigação possa ser adotada por qualquer pequeno produtor em qualquer lugar.

4.6. Caracterização agrônômica da cultura

O controle da irrigação a partir do valor estimado da ETo foi realizado diariamente no período de 27/dez de 2010 a 30/jan de 2011, totalizando um período de 35 dias, e no dia 31/jan foi feita a colheita.

Depois da colheita, foram amostradas todas as plantas com peso acima de 70 g, determinando-se, para todas as amostras o Número de Folhas (NF) e a Massa de Matéria Fresca (MMF). Esses valores estão apresentados na tabela 7 onde se tem um resumo do quantitativo da produção.

Tabela 7: Quantitativo da produção.

Número de plantas	Área de teste	Áreas de testemunha 1, 2 e 3
Previstas	184	184
Efetivamente plantadas	176	169
Mortas	23	16
Abaixo de 70 g	52	89
Acima de 70 g	101	64

Por ocasião da colheita, assumiu-se o valor de 70 g como o peso mínimo em função do aspecto da planta considerando sua comercialização. Embora tenham sido colhidas e pesadas, teriam que permanecer no campo por mais alguns dias para alcançar o peso considerado comercializável. Dessa maneira para a área de controle foram consideradas 52 plantas abaixo do peso de 70 g e foram consideradas 101 plantas para os dados estatísticos.

Para a área de testemunha o total previsto de plantas para a área de testemunha era de 184 plantas com distribuição diferenciada sendo que na área 1 sendo previstas 2 fileiras com 23 plantas ou o total de 46 plantas. Nas áreas 2 e 3 havia a previsão de serem plantadas 3 fileiras com 23 plantas em cada, somando 138 plantas. O total geral de plantas previstas para a área de testemunha foi de 184. Por não ter sido respeitada a distância prevista entre plantas, obteve-se o total de 169 plantas distribuídas nessa área.

Devido aos pontos de entupimento dos gotejadores, 16 plantas da área de testemunha morreram por falta de água.

A quantidade de plantas abaixo do peso de 70 g nessa área de testemunha foi de 89 e, com peso igual ou superior a 70 g, foram avaliadas 64 plantas.

Tabela 8: Características físicas das plantas.

	<i>Plantas pesadas</i>	<i>Peso total (g)</i>	<i>Quantidade de folhas</i>	<i>MMF média (g.planta⁻¹)</i>	<i>NF média (folhas.planta⁻¹)</i>
TESTE	101	18880	2625	186,93 ^a	25,99 ^a
TTM ⁽¹⁾	64	10440	1607	163,12 ^a	25,11 ^a

⁽¹⁾ TTM = Área de Testemunha

^a não existe diferença significativa, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios da MMF e do NF para as duas áreas. Feito tratamento estatístico, concluiu-se que não houve diferenças significativas a 5% de probabilidade, no NF e na MMF para as duas áreas estudadas.

Das 101 plantas colhidas na área de controle o peso médio de MMF foi de 186,93 g.planta⁻¹ e para a área de testemunha o peso médio de MMF foi de 163,12 g.planta⁻¹.

Faccioli (1998) obteve o valor de 309,67 g.planta⁻¹ de MMF para a cultura da alface em casa de vegetação para os três tratamentos estudados na área experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, durante o período de fevereiro a julho de 1997. Radin et al. (2004) para o caso do experimento realizado em Eldorado do Sul (RS) para o período de 15/04 a 03/06/99 relativo ao cultivo em campo, obteve o valor médio de 758 g.m⁻², e ainda, considerando 9 plantas por metro quadrado, tem-se o valor médio da MMF de 84,25 g.planta⁻¹.

O valor de MMF na área de controle ficou entre os dois estudos acima. Ambos se desenvolveram em regiões do país em que a temperatura média favorece o desenvolvimento da alface e no caso de Radin, não foi feita nenhuma adubação durante o período de estudo.

Analisando os resultados de MMF entre as duas áreas monitoradas, pode-se afirmar que para o manejo da irrigação, a utilização do sistema controlado aliado ao sistema de irrigação por gotejamento foi adequada.

Outro ponto de melhoria esperado, mesmo que de forma indireta, é com relação à manutenção dos equipamentos instalados como motor da bomba, e, o próprio conjunto de bombeamento utilizado no processo produtivo uma vez que sua utilização estará concentrada e racionalizada tendo o mesmo resultado com 40 % do tempo de acionamento atualmente utilizado. O conjunto motor-bomba terá 2,5 mais tempo útil de operação.

Com a realização desse trabalho de pesquisa foi possível comprovar a existência de um desperdício exagerado no atual manejo da irrigação na produção de alface que é feito sem nenhum critério científico. Só é utilizada a percepção de algum trabalhador do campo que avalia a demanda de água necessária através de sua sensação de calor, ou exposição ao sol, levando a uma condição de insustentabilidade dos recursos hídricos aparentemente abundantes.

Também fica evidente que a questão cultural tem relevante importância no manejo da irrigação. Durante o período de teste, as pessoas que auxiliaram nos trabalhos, reiteradas vezes verbalizaram que o sistema em estudo não funcionaria, pois “a quantidade de água era muito pouca”. Ao final do período foi possível verificar que eles estavam enganados, pois os resultados obtidos foram estatisticamente idênticos.

Registra-se a situação das plantas no dia da colheita, ou seja, em 30/jan de 2011.



(a)



(b)

Fotografia 12. Dia 30 de janeiro de 2011 – colheita.



(a)



(b)

Fotografia 13. Dia 30 de janeiro de 2011 – colheita.

O sistema de controle projetado atendeu às principais exigências estabelecidas:

- a) o baixo custo de sua construção;
- b) possibilidade de calcular o tempo de irrigação; e,
- c) controlar o funcionamento das eletroválvulas ou do fluxo de água nas mangueiras.

Além disso, o dispositivo microcontrolador se mostrou confiável e esteve nessa pesquisa, levando a se constituir um equipamento de fácil implantação.

De todos os possíveis controles aplicáveis à irrigação, a solução apresentada se mostrou como opção mais econômica que os equipamentos industrializados concorrentes onde se destacam os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). A comparação de valores mostra que o equipamento projetado para esse estudo foi a solução mais viável sob o aspecto econômico.

5. CONCLUSÃO

O sistema automático de controle da irrigação se mostrou funcional durante todo o período de teste, não apresentando qualquer desvio em relação ao seu funcionamento esperado. O microcontrolador PIC 16F877A se mostrou totalmente confiável e adaptado a esta aplicação. O equipamento projetado se mostrou consistente para uma aplicação de campo efetiva pois, suas características funcionais se mantiveram inalteradas sob as condições ambientais a que foi submetido.

Obtiveram-se resultados significativos que comprovam a redução de consumo de energia elétrica e nos recursos hídricos motivados pelo uso do sistema controlado automaticamente.

A comparação direta dos parâmetros agronômicos comprovou que não houve perda na utilização do sistema controlado automaticamente e irrigado por gotejamento em relação ao procedimento culturalmente praticado pelo produtor.

Como consequência imediata a utilização desse sistema de controle automatizado traria uma lucratividade maior aos pequenos produtores familiares (grandes empreendedores) melhorando seus indicadores sociais necessários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas Nordeste - abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais**. Brasília: ANA, SPR, 2006.

ALLEN R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. et al. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998, 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDRADE JUNIOR, A.S., DUARTE, R.L.R., RIBEIRO, V.Q. **Resposta de cultivares de alface a diferentes níveis de irrigação**. Horticultura Brasileira, Brasília-DF, v.10, n.2, p.95-97, 1992

BARRETO, A. N., SILVA, ANA A. G., BOLFE, E. L. (orgs.). **Irrigação de drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade**. 1ª ed. Embrapa SE e PB: 2004. 418p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.. **Manual de irrigação**. 9ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2009. 628 p.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acessado em: 05/02/2011.

CAMARGO, A. L. B. **Desenvolvimento Sustentável: dimensões e desafios**. Papirus. Campinas, SP: 2003. p.159.

CAMARGO, L.S. **As hortaliças e seu cultivo**. 2ª Ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448p.

FARIA, M. A. **Simpósio de manejo de irrigação**. Poços de Calda, MG, 1998. 367 p.

FACCIOLI, G. G. **Determinação da evapotranspiração de referência e da cultura da alface em condições de casa de vegetação, em Viçosa, MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

FACCIOLI, G. G. et al. **Manejo básico da irrigação na produção de hortaliças**. Coleção Tecnologia fácil nº 18. 1ª edição. LK. Brasília: 2006. 152p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de olericultura**. São Paulo: Ceres 1982. 357p.

FINHOLDT, G. **Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GIMENEZ, S. P. **Teoria do hardware e do software / Aplicações em controle digital / Laboratório e simulação**. Pearson Prentice Hall, São Paulo: 2002. 253p. 804p.

JENSEN, M. E., WRIGHT, J.L., PRAT, B.I.. **Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data**. Transaction of ASE, Michigan, 69: 954-959, 1971.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph, ASAE, 1983. 829p.

MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. P. **Irrigação – princípios e métodos**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2009.

NICOLOISI, D. E. C., BRONZERI, R. B. **Microcontroladores 8051 com linguagem C: prático e didático – família AT89S8252 Atmel**. 1ª edição. Ed. Érica. São Paulo: 2005 222p.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., CENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PINTO, J. E. S. de S., AGUIAR NETTO, A. O. **Clima, geografia e agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar**. Editora UFS. São Cristóvão: 2008. 222p.

RADIN, B.; REISSER JÚNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. **Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.2, p.178-181, abril-junho 2004.

REIS, E. F. **Efeito de quatro profundidades freáticas sobre o uso consuntivo e o crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.)**. Viçosa: UFV, 1991. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

SAAD, A. M.. **Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Piracicaba, 1991. 144p. (Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP).

SACHS, IGNACY. **Desenvolvimento: includente, sustentável e sustentado**. Garamond. Rio de Janeiro: 2008. 152p.

SICA, CARLOS. **Sistemas Automáticos com Microcontroladores 8031/8051**. Novatec. São Paulo: 2006. 192p.

SONNENBERG, P.E. **Olericultura especial**. 5. ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1985. 187p. Pte 1.

SOUSA, D. R. **Microcontroladores ARM7 (Philips, Família LPC213X): o poder dos 32 bits: teoria e prática**. 1ª edição. Ed. Érica. São Paulo: 2006. 278p.

SOUSA, I. et al. **Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.6, p.633–644, 2010. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

SOUZA, Danielle Thaís Barros de, GOMES, L. J.; SILVA, Erika Ramos . **Perfil Socioeconômico de Produtores de Hortaliças: Estudo de Caso em Itabaiana/SE**. Caderno de Pesquisa e Extensão Desafios Críticos CPEDeC, v. 3, p. 1-115, 2009.

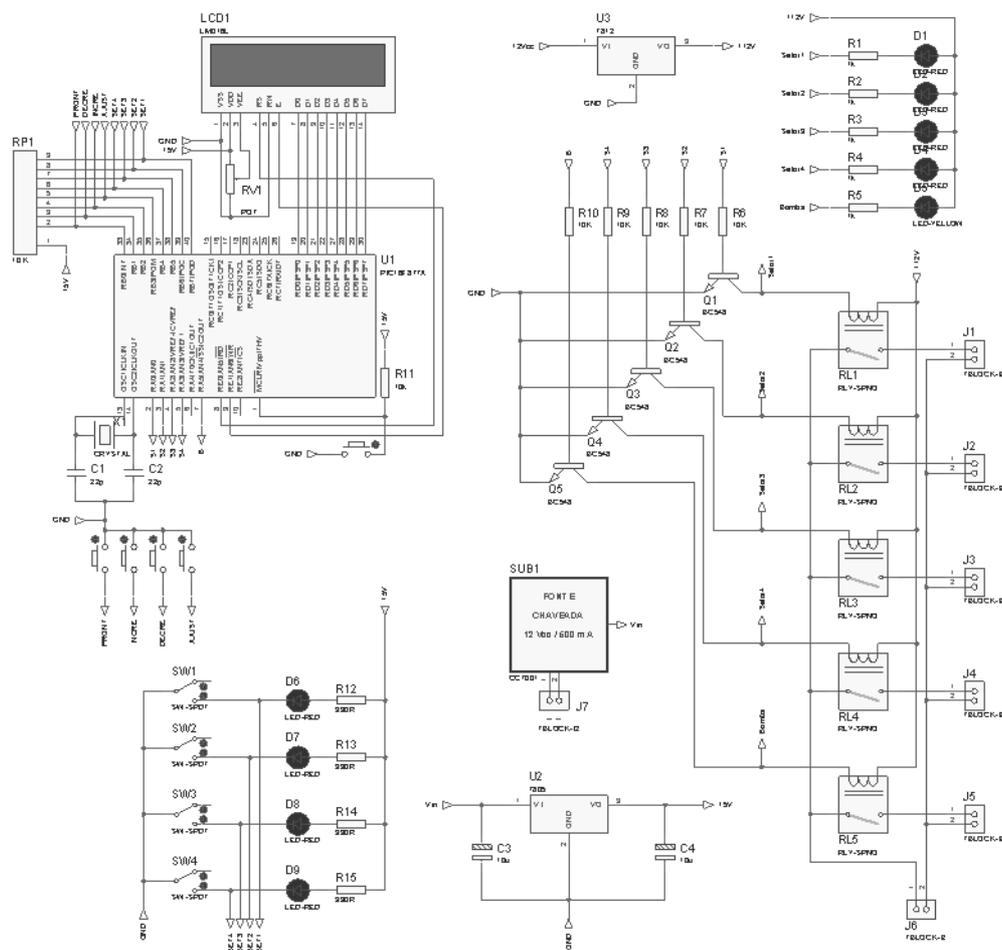
TANNER, B.D. **Automated weather stations**. Remote Sensing Reviews, v.5, n.1, p. 73 a 98, 1990.

TOCCI, RONALD J., et al. **Sistemas Digitais, princípios e aplicações**. 10ª edição. Pearson Prentice Hall, São Paulo: 2007.

VEIGA, JOSÉ ELI DA. **Desenvolvimento sustentável. O desafio do século XXI**. Ed. Garamond. Rio de Janeiro: 2005. 220p.

VILELA, L. A. A. et al. **Dispositivo para monitoramento da operação de conjuntos motobomba elétricos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, 2003.

ANEXO 1 – ESQUEMA ELÉTRICO DAS LIGAÇÕES

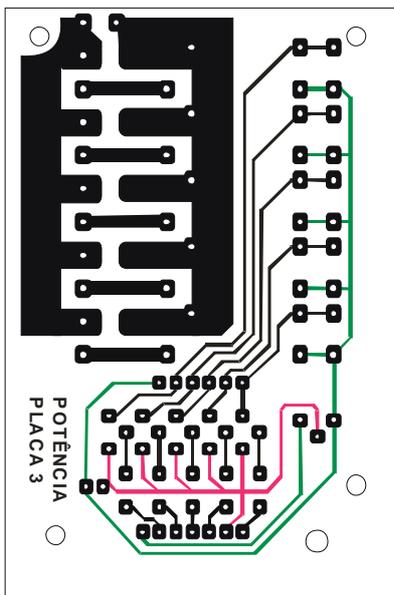
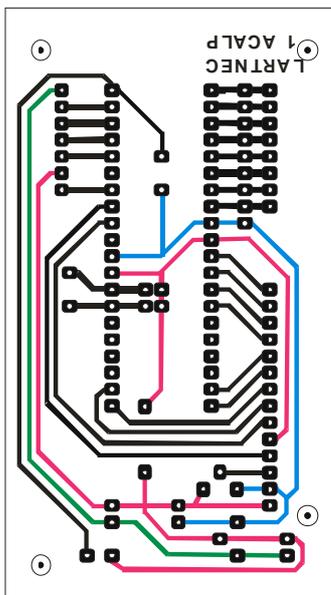
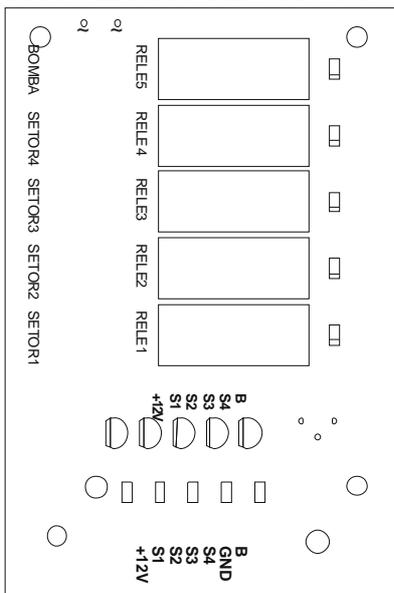
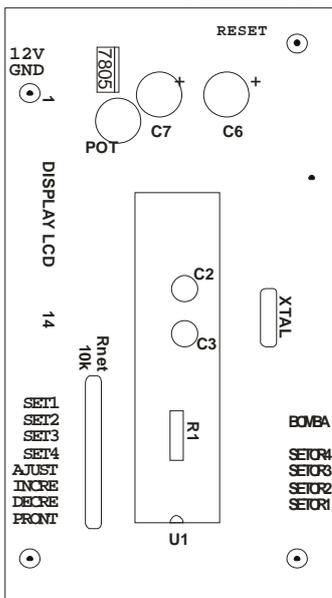


Software Proteus 7 Professional, Aplicativo: Isis Professional.

ANEXO 2 – LISTA DE COMPONENTES

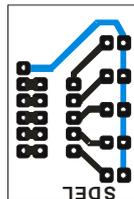
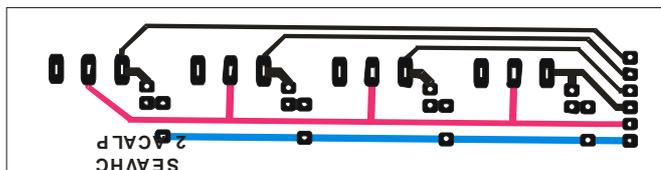
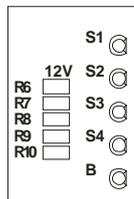
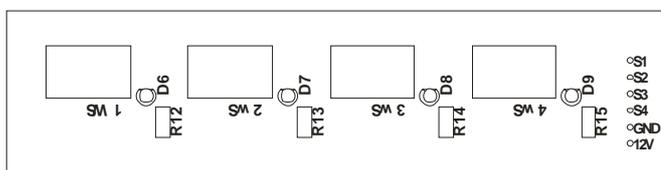
C1 = C2	Capacitor de cerâmica de 22 pF / 50 V
C3 = C4	Capacitor eletrolítico de 10 μ F / 16 V
D1 a D4 e D6 a D9	Led de 3 mm vermelho
D5	Led de e mm amarelo
J1 a J7	Borne 2E-DG Femea 2 Terminais
LCD1	Display LCD 16x2 Com Back Fundo Verde
Q1 a Q5	Transistor NPN BC548B
R1 a R5	Resistor de 1K Carbono 5% 1/4W
R6 a R10	Resistor de 330R Carbono 5% 1/4W
R11	Resistor de 10K Carbono 5% 1/4W
R12 a R15	Resistor de 330R Carbono 5% 1/4W
RL1 a RL5	Relê 12V 1 Pólo 1 Posição Modelo DG1U
RP1	Rede Resistiva 8x10K (9 pinos)
SW1 a SW4	Chave push-button sem trava
U1	Circ. Int. PIC16F877A-I/P
U2	Circuito Integrado LM7805
U3	Circuito Integrado LM7812
X1	Cristal 8 MHz - HC49U

ANEXO 3 – LAYOUT DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO



Legenda das cores:

- Comum ou GND.
- Tensão de 12 Vdc.
- Tensão de 5 Vdc.
- Ligações (trilhas de cobre) entre componentes em geral



ANEXO 4 – CÓDIGO DE FUNCIONAMENTO EM LINGUAGEM C

```

/*****
/* CÓDIGO DE FUNCIONAMENTO PARA CONTROLE AUTOMÁTICO DE IRRIGAÇÃO*/
/* DESENVOLVIDO POR WALDINEY GIACOMELLI - 2010 *****/
/* MICROCONTROLADOR PIC 16F877A COM CRISTAL DE 12MHZ*****/
*****/

/*****definições do usuário *****/
/*****ENTRADAS*****/
//configura botões de seleção de setor
#define setor1 portb.f0
#define setor2 portb.f1
#define setor3 portb.f2
#define setor4 portb.f3

//configura botões de entrada para ET0
#define ajust portb.f4
#define incre portb.f5
#define decre portb.f6
#define pront portb.f7

/*****SAÍDAS DE RELÉS*****/
#define sole1 porta.f0
#define sole2 porta.f1
#define sole3 porta.f2
#define sole4 porta.f3
#define bomba porta.f5

/*****declaração de variáveis*****/
char contador;
unsigned int t_rega;
unsigned int t_aux;          //unsigned long int t_texto;
char texto[10];
char s1;
char s2;
char s3;
char s4;

/*****subrotinas auxiliares*****/
void inicia_LCD()
{   trisd=0;                //configura o portd todo como saída
    trise=0;                //configura o porte todo como saída
    adcon1=0x06;            //desabilita as entradas do conversor AD
    lcd8_config(&porte,&portd,0,1,2,7,6,5,4,3,2,1,0); //conf. e inicializa LCD
    lcd8_cmd(lcd_clear);    //apaga display
    lcd8_cmd(lcd_cursor_off); //desliga cursor
    do                      //executa
    {lcd8_out(1,1,"APERTE AJUSTE"); //escreve "APERTE AJUSTE" no LCD
    }while(ajust==1);      //repetir enquanto AJUST não pres.
}

void ajusta_ET0()
{   contador==0;          //inicializa contador em 0
    lcd8_cmd(lcd_clear);  //apaga display

```

```

lcd8_cmd(lcd_cursor_off);           //desliga cursor

do
{ lcd8_out(1,1,"ET0:");             //escreve "ET0" no LCD

  if(incre==0)                       //se botão incre for pressionado
  { contador++;                       //incrementa contador
    bytetostr(contador,texto);        //converte o valor para string
    lcd8_out(1,6,texto);              //escreve no LCD o valor do contador
    delay_ms(200);                    //atraso de 200 ms
  }

  if(decre==0)
  { contador--;
    bytetostr(contador,texto);
    lcd8_out(1,6,texto);
    delay_ms(200);
  }
}while(pront==1);                    //aguarda pront ser pressionado
}

void calcula_TREGA()
{ char ET0;                           //define 1 byte para ET0
  char h;                               //define 1 byte para h
  char area;                            //define 1 byte para area entre plantas (em cm2)
  char n;                               //define 1 byte para n (nr. de plantas x 10)
  char q;                               //define 1 byte para q (vazão do gotejador x 10)
  ET0 = contador;                       //igualava valor de contador com ET0
  //h = ET0/9;
  //area = 9/100;
  //n = 15/10;
  //q = 15/10;
  //t_rega = (hxAplanta)/(nxq)

  //t_rega = (ET0*45)/100;               //aplica fórmula de cálculo em minutos
  //t_rega = ((ET0*45)*60)/100;        //aplica fórmula de cálculo em segundos
  t_rega = ET0*27;                       //aplica fórmula de cálculo em segundos
  do
  { inttostr(t_rega,texto);             //transforma valor em texto
    lcd8_out(2,1,"tempo:");            //seleciona 2ª linha, 1ª coluna para escrever
    lcd8_out(2,6,texto);               //escreve valor de t_rega no LCD
  }while(pront==1);                    //aguarda pront ser pressionado
}

void t_1minuto()
{ char temp;                            //define 1 byte para temp
  temp = 60;                             //troque de 60 para 6
  do
  { delay_ms(1000);                    //atraso de 1 segundo
    temp--;                             //decrementa temp
  }while(temp>0);                       // executa enquanto temp for maior que 0
}

void umahora()
{ char minutos;

```

```

    minutos = 60;
    do
    {   t_1minuto();
        minutos--;
    }while(minutos>0);
}

void tempo_7_horas()
{   char horas;
    horas = 7;
    do
    {   umahora();
        horas--;
    }while(horas>0);
}

void turno1()
{   t_aux = t_rega/2;           //carrega valor em t_aux para 1/2 rega
    do                          //execute...
    {   inttostr(t_aux,texto);   //transforma valor em texto
        lcd8_out(2,1,"tempo:"); //seleciona 2ª linha, 1ª coluna para escrever
        lcd8_out(2,6,texto);   //escreve valor de t_rega no LCD
        delay_ms(1000);        //atraso de 1 segundo
        t_aux--;               //decrementa uma unidade em t_aux
    }while(t_aux>0);           //...enquanto t_aux for maior que 0

    sole1=0;    //desliga solenoide 1
    sole2=0;    //desliga solenoide 2
    sole3=0;    //desliga solenoide 3
    sole4=0;    //desliga solenoide 4
}

void turno2()
{   t_aux = t_rega/2;           //carrega valor em t_aux para 1/2 rega
    do                          //execute...
    {   inttostr(t_aux,texto);   //transforma valor em texto
        lcd8_out(2,1,"tempo:"); //seleciona 2ª linha, 1ª coluna para escrever
        lcd8_out(2,6,texto);   //escreve valor de t_rega no LCD
        delay_ms(1000);        //atraso de 1 segundo
        t_aux--;               //decrementa uma unidade em t_aux
    }while(t_aux>0);           //...enquanto t_aux for maior que 0

    sole1=0;    //desliga solenoide 1
    sole2=0;    //desliga solenoide 2
    sole3=0;    //desliga solenoide 3
    sole4=0;    //desliga solenoide 4
}

/*****rotina principal*****/
void main()
{   //configuração de todas os ports
    trisa = 0b00000000;
    trisb = 0b11111111;
    trisc = 0b11111111;
}

```

```

trisd = 0b00000000;
trise = 0b11111000;

//valor inicial de todos os ports
porta = 0b00000000;
portb = 0b11111111;
portc = 0b11111111;
portd = 0b00000000;
porte = 0b11111000;

//valor inicial das variáveis auxiliares
s1 = 0xff;
s2 = 0xff;
s3 = 0xff;
s4 = 0xff;

inicia_LCD(); //executa subrotina inicia_LCD

if (ajust==0)
{ //execução de subrotinas auxiliares
  ajusta_ET0(); //executa subrotina ajusta_ET0
  calcula_TREGA(); //executa subrotina calcula_TREGA
}

if (pront==0)
{ //executa rotina de acionamento dos solenóides/relés
  adcon1=0x06; //configura todos os pinos como i/o

  bomba=1; //liga bomba

  if(button(&portb,0,10,0)) s1=0; //testa botão e marca em sn
  if(button(&portb,1,10,0)) s2=0;
  if(button(&portb,2,10,0)) s3=0;
  if(button(&portb,3,10,0)) s4=0;

  if(s1==0) sole1=1; //se botão do setor 1 estiver selecionado aciona solenoide 1
  if(s2==0) sole2=1;
  if(s3==0) sole3=1;
  if(s4==0) sole4=1;

  //////////modelo novo para 2 turnos////////////////////////////////////

  turno1();

  tempo_7_horas();

  if(button(&portb,0,10,0)) s1=0; //testa botão e marca em sn
  if(button(&portb,1,10,0)) s2=0;
  if(button(&portb,2,10,0)) s3=0;
  if(button(&portb,3,10,0)) s4=0;

  if(s1==0) sole1=1; //se botão do setor 1 estiver selecionado aciona solenoide 1
  if(s2==0) sole2=1;
  if(s3==0) sole3=1;

```

```
if(s4==0) sole4=1;

turno2();

bomba=0; //desliga bomba
while(1)
{ lcd8_out(1,1,"DESLIGUE O"); //envia mensagem para o LCD
  lcd8_out(2,1," SISTEMA "); //envia mensagem para o LCD
}
}

} //fim do programa
```

OBS.: os itens acima em azul referem-se aos comentários que podem ser desconsiderados sem prejuízo do código de funcionamento proposto.

ANEXO 5 – RELATÓRIO DE ENSAIO DO SOLO DA ÁREA DE CONTROLE



INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE



Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 3153/10

Revisão 00

Cliente	WALDINEY GIACOMELLI	Telefone	32430198
Endereço	RUA DA AURORA, 44	Contato(s)	WALDINEY GIACOMELLI
e-mail		Fax	
Amostra(s)	Solo	Recepção	09/11/10

Amostra	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
AMOSTRA ÚNICA - PROJETO MODELO - ITABAIANA/SE					
Ensaio					
pH em Água (RBLE)	7,66	--	--	H ₂ O	17/11/10
Matéria Orgânica	6,59	g/dm ³	--	WB (colorimétrico)	17/11/10
Calcio + Magnésio (RBLE)	3,61	cmolc/dm ³	0,38	KCl	17/11/10
Calcio (RBLE)	1,83	cmolc/dm ³	0,22	KCl	17/11/10
Magnésio	1,78	cmolc/dm ³	--	KCl	18/11/10
Alumínio (RBLE)	<0,08	cmolc/dm ³	0,08	KCl	17/11/10
Sódio	0,056	cmolc/dm ³	--	Mehlich-1	18/11/10
Potássio	0,20	cmolc/dm ³	--	Mehlich-1	18/11/10
Hidrogênio + Alumínio	ND	cmolc/dm ³	--	SMP	17/11/10
Sódio (RBLE)	12,9	mg/dm ³	2,20	Mehlich-1	17/11/10
Potássio (RBLE)	78,0	mg/dm ³	1,40	Mehlich-1	17/11/10
Fósforo (RBLE)	78,0	mg/dm ³	1,39	Mehlich-1	17/11/10
pH em SMP	7,7	--	--	MAQS-Embrapa	17/11/10
SB-Soma de Bases Trocáveis	3,87	cmolc/dm ³	--	--	18/11/10
CYC	3,87	cmolc/dm ³	--	--	18/11/10
PST	1,45	%	--	--	18/11/10
V - Índice de Saturação de Bases	100	%	--	--	18/11/10
Capacidade de Campo (0,33 Atm)	5,15	--	--	--	
Ponto de Murchamento (15 Atm)	1,85	--	--	--	
Densidade Aparente	1,35	g/cm ³	--	Mét. da Proveta	

Legenda

(RBLE): Ensaio parte do escopo da acreditação deste laboratório como parte da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios, sob número CRL 0424 pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005.

ND: Não Detectado / <LDM.

MAQS-Embrapa: Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, Embrapa 1999. Análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa (1,5 a.) a 40°C. Conversão de Unidades: cmolc/dm³=meq/100g; g/dm³=% X 10; % = dag Kg⁻¹.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 13 de dezembro de 2010.

Lúcia Calumby B. de Macedo

Lúcia Calumby B. de
Macedo
Químico
CRQ-SE - 08200426
Química Agrícola



Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

ANEXO 6 – RELATÓRIO DE ENSAIO DA ÁGUA USADA NA IRRIGAÇÃO

INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPERua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - BrasilFone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 0062/11

Revisão 00

Cliente	WALDINEY GIACOMELLI	Telefone	32430198
Endereço	RUA DA AURORA, 44	Contato(s)	WALDINEY GIACOMELLI
e-mail		Fax	
Amostra(s)	Água AD	Recepção	10/01/11

Amostra	TANQUE	FAZ. MODELO	Resultado	Unidade	LQ	Código	Método	Coleta em	Data do Ensaio
pH			9,24	--	--		SMEWW 4500 H+ B		10/01/11 10:15
Condutividade Elétrica			1509,7	µS/cm	--		SMEWW 2510 B		10/01/11
RAS-Relação de Adsorção de Sódio			4,66	--	--		--		19/01/11
Carbonatos			1,099	meq CO ₃ /L	--		SMEWW 2320 B		10/01/11 10:30
Bicarbonatos			4,147	meq HCO ₃ /L	--		SMEWW 2320 B		10/01/11 10:30
Sulfatos			0,05412	meq /LSO ₄ ⁼	--		US EPA 300.0		10/01/11
Cloretos (RBLE)			9,142	meq Cl/L	0,068		SMEWW 4500 B		17/01/11 12:30
Cálcio			0,995	meq Ca/L	--		US EPA 300.7		
Magnésio			4,984	meq/L Mg	--		US EPA 300.7		
Sódio			8,065	meq Na/L	--		US EPA 300.7		10/01/11
Potássio (K)			0,3076	meq K/L	--		US EPA 300.7		10/01/11
Classif. quanto ao perigo de salinidade			Tipo C3	--	--		USSLS		19/01/11
Classif. quanto ao perigo de alcalinização			Tipo S1	--	--		USSLS		19/01/11

Legenda

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª. ed. Washington, 2005.

US EPA: United States Environmental Protection Agency.

(RBLE): Ensaio parte do escopo da acreditação deste laboratório como parte da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios, sob número CRL 0424 pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005.

Tipo C3: Água com salinidade alta. Não pode ser usada em solos com deficiência de drenagem, requer práticas especiais para o controle da salinidade, e só se aplica na irrigação de plantas tolerantes aos sais.

USSLS: Classificação proposta por U.S. Salinity Laboratory Staff.

Tipo S1: Água com baixa concentração de Sódio. Pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável, embora as plantas sensíveis, como algumas fruteiras, possam acumular quantidades prejudiciais do íon.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 19 de janeiro de 2011.

Charles Wilson Costa
Araújo
Químico
CRQ-SE - 07200093
Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

ANEXO 7 – LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA EQUIPAMENTO DE CONTROLE

Componentes:

Item	Qtdd	Descrição	V. Unit. R\$	Soma R\$
	2	Capacitores de disco cerâmico de 22 pF/50 V	0,09	0,18
	2	Capacitores eletrolíticos de 10 µF/16 V	0,15	0,30
	1	Chave Gangorra KCD1-101	0,65	0,65
	4	Chave alavanca 3 pinos	1,13	4,52
	5	Chave push-button sem trava	0,99	4,95
	1	Circuito Integrado LM7805	0,99	0,99
	2	Circuito Integrado LM7812	0,99	1,98
	1	Circ. Int. PIC16F877A-I/P	14,36	14,36
	1	Conector Alojamento kk molex 14 vias	0,42	0,42
	1	Conector Alojamento kk molex 8 vias	0,64	0,64
	1	Conector Alojamento kk molex 7 vias	0,24	0,24
	1	Conector Alojamento kk molex 6 vias	0,18	0,18
	7	Borne 2E-DG Femea 2 Terminais	1,19	8,33
	1	Barra Tipo Sindal 4mm 3A 12 bornes	1,99	1,99
	1	Barra de pinos 1x40 vias 15 mm 180 graus	0,65	0,65
	1	Cristal 8 MHz - HC49U	0,78	0,78
	5	Diodos 1N4148	0,15	0,75
	1	Display LCD 16x2 Com Back Fundo Verde	13,50	13,50
	1	Fonte Chaveada DC 12V 0,5A	10,90	10,90
	1	Flat Cable 14 vias (1 metro)	1,79	1,79
	10	Leds difusos 3 mm	0,15	1,50
	1	Placa de Circuito Impresso de Composite 10x20cm	3,79	3,79
	1	Rede Resistiva 8x10K (9 pinos)	0,99	0,99
	5	Relê 12V 1 Pólo 1 Posição Modelo DG1U	0,99	4,95
	9	Resistor de 330R Carbono 5% 1/4W	0,10	0,90
	5	Resistor de 1K Carbono 5% 1/4W	0,10	0,50
	6	Resistor de 10K Carbono 5% 1/4W	0,10	0,60
	30	Terminal para alojamento de Conector KK Molex 5051	0,13	3,90
	1	Soquete 40 Pinos Estampado	0,51	0,51
	5	Transistor NPN BC548B	0,16	0,80
	1	Trimpot 3386F 10K	1,18	1,18
	1	Caixa EP de proteção 16x14x10	16,56	16,56
	6	Esmagadores de fios (vedação)	2,44	14,64
			R\$	118,92

Instalação elétrica

34.	250	Metros de cabo PP 2 x 1	0,75	187,50
35.	1	Autotransformador 500W (127 x 220 Vac)	55,00	55,00
			R\$	242,50

Eletroválvulas e adaptadores

36.	9	Eletroválvulas 127V P. Monti	10,00	90,00
37.	8	Luva ¾ x ½	1,45	11,60
38.	8	Conectores ½	0,60	4,80
39.	8	Cotovelos ½	0,90	7,20
			R\$	113,60

Valores referentes a janeiro de 2011