UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

AUTOMONITORAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO UTILIZANDO VERTEDORES TRIANGULARES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pedro Brites Pascotini

Santa Maria, RS, Brasil

2014

AUTOMONITORAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO UTILIZANDO VERTEDORES TRIANGULARES

Pedro Brites Pascotini

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**

Orientador: Prof[a]. Dr[a]. Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pascotini, Pedro Brites
Automonitoramento do consumo de água em lavouras de arroz irrigado utilizando vertedores triangulares / Pedro Brites Pascotini.-2014.
107 p.; 30cm

Orientadora: Jussara Cabral Cruz
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, RS, 2014

1. Monitoramento 2. Volume de irrigação 3. Arroz irrigado I. Cruz, Jussara Cabral II. Título.

© 2014
Todos os direitos autorais reservados a Pedro Brites Pascotini. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: pedropascotini@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

AUTOMONITORAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO UTILIZANDO VERTEDORES TRIANGULARES

elaborada por
Pedro Brites Pascotini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Ambiental

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Jussara Cabral Cruz, Dr[a]. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____
Alexandre Swarowsky, Dr. (UNIFRA)

_____
José Antônio Saldanha Louzada, Dr. (UFRGS)

Santa Maria, 29 de julho de 2014.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço aos meus pais, André Luiz Haubold Pascotini e Estela Maria Brites Pascotini, pelo apoio incondicional durante todos os períodos da minha formação; a minha madrinha, Eneida Carolina Brites, que estava sempre presente para dar conselhos e força pra seguir em frente; aos meus irmãos, Arthur Brites Pascotini e Gabriel Brites Pascotini, pela parceria e preocupação com o andamento do meu trabalho.

À Professora Jussara Cabral Cruz, por sua orientação, amizade, seus ensinamentos e principalmente pela confiança depositada em mim.

Ao Professor Flávio Luiz Foletto Eltz, que me orientou durante o curso de agronomia, ajudou em diversos trabalhos e hoje aposentado reservou uma parte do seu tempo para contribuir no meu trabalho.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Gerhi/UFSM, pelo apoio técnico e cientifico. Em especial ao João Francisco Carlexo Horn e Marciano Friedrich por participação direta nesse estudo.

À minha amiga Miriam Fernandes, pela ajuda nas análises de solos.

Ao Gilbraz Bortoluzzi e Lúcia Bortoluzzi, pela ajuda e dedicação no auxílio da condução do experimento.

Aos amigos que fiz em São Pedro do Sul, ao pessoal do restaurante Tatiquel e em especial as famílias Bortoluzzi, Campagnolo, Schuch e Degrandi.

Meu agradecimento especial à pessoa que não queria seu nome aqui, mas a mais importante para a realização deste trabalho, que ajudou a encontrar a área de estudo, esteve presente em todas as etapas, apoiando e fazendo que eu desse o meu melhor, Karla Campagnolo muito obrigado.

Ao CNPq, pelo financiamento deste estudo por meio do projeto aprovado n° 483416/2012-6, no edital universal MCTI/CNPq N º 14/2012.

À CAPES pela bolsa de estudo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria

AUTOMONITORAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO UTILIZANDO VERTEDORES TRIANGULARES

AUTOR: PEDRO BRITES PASCOTINI
ORIENTADOR: JUSSARA CABRAL CRUZ

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de julho de 2014.

A cultura do arroz irrigado contribui imensamente no consumo de água no Brasil. Com intuito de induzir o uso racional desta, o país possui procedimentos jurídicos e institucionais, entre eles a outorga de uso da água. Contudo, para efetividade deste instrumento é necessário fiscalização dos volumes outorgados. Desta maneira, procura-se instrumentos para quantificar estes volumes e servir como possível fiscalizador dos volumes outorgados. Um deles é o automonitoramento. Com isso, o estudo realizado tem por objetivo contribuir para a gestão de recursos hídricos, buscando validar um sistema simplificado e de baixo custo para o automonitoramento dos volumes de água utilizados nas lavouras orizícolas. O estudo foi implantado no munícipio de São Pedro do Sul na safra de 2013/14, onde se realizou o automonitoramento por meio de vertedores triangulares em duas parcelas de arroz irrigado, uma com captação em rio e outra em barragem. As áreas destas parcelas são de 2,6 ha e 27,0 ha, respectivamente. Para validar e simplificar o sistema de automonitoramento buscou avaliar se duas medições diárias da carga hidráulica sobre os vertedores são suficientes para representar as possíveis variações nos canais e estimar o volume total de água utilizado pela lavoura orizícola. A avaliação foi realizada por meio do teste paramétrico t de Student para uma média, afim de, comparar o volume estimado por todos os dados diários de vazão (volume real) e o volume estimado por duas medições diárias. Para a definição da carga hidráulica que passa pela estrutura e define a vazão quando aplicada a curva chave do vertedor, utilizou-se réguas graduadas e sensores automáticos de nível da marca SOLINST®. Para a quantificação da entrada de água na lavoura por precipitação, foi utilizado um pluviômetro, sendo que este volume precipitado encontrado foi somado ao volume irrigado para definir o volume total de água demandado em cada área. Para as duas parcelas monitoradas, o volume real e o estimado por duas medições não tiveram diferença significativa para o nível de significância de 0,05. Os volumes utilizados pelas lavouras monitoradas, nesta safra, apresentaram na média das duas parcelas um volume irrigado 16% menor que o outorgado. Em suma, a quantificação do volume utilizado em lavouras orizícolas, por meio do sistema de automonitoramento com métodos simplificados de medição de vazão propostos, nos diferentes arranjos de irrigação apresentados, mostrou-se adequado para uso em grande escala para aferição dos volumes outorgados, como subsídio à gestão de recursos hídricos. Ainda, o automonitoramento por meio de vertedores triangulares, com a realização de apenas duas medições diárias dos níveis dos canais adutores é eficiente na estimativa do volume total de água demandado pela cultura de arroz irrigado, apresentando representatividade satisfatória da variação diária no nível de água verificado nos canais. O estudo também demonstra que os dados levantados pelos sensores apresentam maior precisão que os dados definidos pelo nível da água nas réguas graduadas, mas mesmo com menor precisão o uso destas é satisfatório.

Palavras-chave: Monitoramento. Volume de irrigação. Arroz irrigado.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduate Program in Environmental Engineering
Federal University of Santa Maria

SELF-MONITOTING OF WATER CONSUMPTION IN RICE CROP USING TRIANGULAR SPILLWAYS

AUTHOR: PEDRO PASCOTINI
SUPERVISOR: JUSSARA CABRAL CRUZ
Date and Place of Defense: Santa Maria, July 29, 2014.

The irrigated rice contributes immensely in water consumption in Brazil. Wuth intention of inducing its rational use, the country has juridical and institutional procedures, including the granting of water use. However, the effectiveness of this instrument it is necessary the control of the granted volumes. Thus, looking instruments to quantify these volumes and can serve as possible supervisory of the granted volumes, one of them is self-monitoring. Thus, the study aims to contribute to the management of water resources, seeking to validate a simplified and cost-effective for self-monitoring of the water volumes used in rice fields. The study was implemented in São Pedro do Sul county in the 2013/14 season, where were performed self-monitoring by means of triangular weirs on two rice plots, one with uptake in river and dam in another. The areas of these plots are 2.6 ha and 27.0 ha, respectively. To validate and simplify the system of self-monitoring, sought to evaluate whether two daily measurements of hydraulic head over the spillways are sufficient to represent the possible variations in the channels and estimate the total volume of water used by the rice crop. The evaluation was performed using the parametric Student's t test for a mean in order to compare the actual and the estimated volume by two measurements. To define the charge passing through the hydraulic structure and defines the flow when applied to the spillway key curve was used graduated rulers and automatic level sensors Solinst ®. For quantification of water intake in rice fields by precipitation, a rain gauge was used, and this precipitation was added to the volume irrigated to define the total volume of water demanded in each area. For both plots monitored, the actual volume and the estimated two measurements showed no significant difference to the significance level of 0.05. The volumes used by crops monitored in this season, showed the average of two parcels an irrigated volume 16% lower than the grantee. In short, the quantification of the volume used in rice crops, through self-monitoring system proposed, with simplified methods of flow measurement, in the different arrangements of irrigation presented, was suitable for use in large-scale measurement of volumes granted, as subsidy for water resources management. Self-monitoring by means of triangular weirs, with the realization of just two daily measurements of the spillways levels is efficient to estimate the total volume of water demanded by rice fields, presenting satisfactory representation of the daily variation in water level observed in the channels. The study also demonstrates that the data collected by the sensors are more precise than the data defined by the level of water in the graduated rulers, but even with the use of these lower accuracy is satisfactory.

Keywords: Monitoring. Volume irrigation. Irrigated rice.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistematização de solo em desnível 19
Figura 2 – Sistematização de solo em nível 19
Figura 3 – Croqui do Vertedor Triangular 30
Figura 4 – Calha Parshall 31
Figura 5 – Mapa de Localização de São Pedro do Sul.....34
Figura 6 – Croqui da propriedade.....35
Figura 7 – Lavouras monitoradas (área 1 e área 2) 36
Figura 8 – Conduto de descarga da barragem 37
Figura 9 – Captação de água do rio Ibicuí-mirim.....39
Figura 10 – Capacidade máxima de bombeamento.....40
Figura 11 – Croqui vertedor triangular (α = 90°).....41
Figura 12 – Vertedor triangular.....42
Figura 13 – Plantas do canal de Alvenaria. 43
Figura 14 – Passo a passo da construção da estrutura hidráulica na área 1 44
Figura 15 – Passo a passo da construção da estrutura hidráulica na área 2 45
Figura 16 – Ilustração da instalação da Régua e Sensor automático de nível 47
Figura 17 – Curva de aferição da equação do vertedor com os valores obtidos pelo método volumétrico para Área 1.....49
Figura 18 – Curva de aferição da equação do vertedor com os valores obtidos pelo método volumétrico para Área 2.....50
Figura 19 – Teste de medição volumétrica de vazão 50
Figura 20 – Ilustração da Calha Parshal e sensor automático de nível.....51
Figura 21 – Pluviômetro Ville de Paris.....52
Figura 22 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 1° período de irrigação (26/11/13 a 02/12/13).....62
Figura 23 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 2° período de irrigação (16/12/13 a 11/01/14).....63
Figura 24 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 3° período de irrigação (16/01/14 a 19/02/14).....63
Figura 25 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 4° período de irrigação (24/02/14 a 26/02/14).....64
Figura 26 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 5° período de irrigação (07/03/14 a 17/03/14).....64
Figura 27 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, área 2 69
Figura 28 – Gráfico ilustrativo da tendência das médias dos volumes dos sorteios estarem abaixo do valor real, área 2. 71
Figura 29 – Precipitação para a safra 2013/14.....82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volumes demandados pela cultura do arroz encontrados na literatura. 20
Tabela 2 – Comparação dos valores de vazão medidos e calculados para o vertedor triangular de 90º da Área 1 48
Tabela 3 – Comparação dos valores de vazão medidos e calculados para o vertedor triangular de 90º da Área 2 49
Tabela 4 – Exemplo da estimativa do volume total do vertedor para o dia 26/11/13 pelo método dos trapézios para área 1 55
Tabela 5 – Resultados da comparação das médias dos sorteios com o volume real área 1. 61
Tabela 6 – Resultados da comparação das médias dos sorteios com o volume real área 2 67
Tabela 7 – Porcentagem do tempo em que ocorreram vazões abaixo da vazão média para cada dia de irrigação 72
Tabela 8 – Medidas descritivas dados área 1 74
Tabela 9 – Medidas descritivas dados área 2 74
Tabela 10 – Comparações das médias de todo período de irrigação duas a duas da área 1 75
Tabela 11 – Comparações das médias de todo período de irrigação duas a duas da área 2 75
Tabela 12 – Volume irrigado (m^3 ha^{-1}), volume precipitado (m^3 ha^{-1}), volume de perdas (m^3 ha^{-1}) e volume utilizado (m^3 ha^{-1}) nas duas áreas de várzea na cultura de arroz irrigado durante a safra 2013/14. São Pedro do Sul, RS, 2014. 78
Tabela 13 – Resultados perfil dos solos 79
Tabela 14 – Volumes outorgados para a propriedade 81
Tabela 15 – Total irrigado nas parcelas 81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
1.1 Objetivos **15**
2 REVISÃO DE LITERATURA 16
2.1 Arroz Irrigado **16**
2.2 Outorga de direito de uso da água **23**
2.3 Fiscalização da Outorga de uso da água com automonitoramento **24**
2.4 Medição de vazão **28**
2.4.1 Vertedor triangular de parede delgada 29
2.4.2 Calha Parshall 30
3 METODOLOGIA 33
3.1 Área de estudo **33**
3.2 Estrutura hidráulica utilizada (Sistema de Automonitoramento) **39**
3.3 Implantação dos Vertedores triangulares **42**
3.3.1 Implantação do vertedor na Área 1 42
3.3.2 Implantação do vertedor na Área 2 44
3.4 Estruturas para determinação da carga hidráulica sobre o vertedor **45**
3.5 Aferição das Estruturas de Automonitoramento **47**
3.6 Implantação da Calha Parshall **51**
3.7 Pluviometria **52**
3.8 Monitoramento sistemático das vazões **53**
3.8.1 Sensores Automáticos de Nível 54
3.8.2 Régua Graduada 55
3.9 Análise dos dados **56**
3.10 Definição do volume Outorgado para área da pesquisa **58**
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 59
4.1 Volume definido por duas medições diárias de vazão **59**
4.1.1 Resultados Área 1 60
4.1.2 Resultados área 2 66
4.2 Avaliação da qualidade dos dados manuais **72**
4.3 Avaliação da resposta da metodologia proposta nas diferentes captações de água **76**
4.4 Volumes utilizados para irrigação **77**
4.5 Comparação dos volumes outorgados e os encontrados pelo automonitoramento **80**
5 CONCLUSÕES 83
6 RECOMENDAÇÕES 85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86
ANEXOS 94
APÊNDICES 97

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, a preocupação com a preservação e gerenciamento dos recursos hídricos torna-se um dos assuntos mais debatidos no âmbito mundial, demostrando a grande importância da água para os diferentes usos e a fragilidade deste recurso, uma vez que tem disponibilidade limitada. A sociedade necessita de água para as mais diversas finalidades, tendo como usos prioritários o abastecimento doméstico e dessedentação de animais. Além desses, a água mostra-se essencial para a produção agrícola, a produção de energia, indústria, mineração, navegação, entre outros.

Para a finalidade agrícola, evidencia-se sua vital importância, pois representa complementação de água na falta desta, evitando que em determinados períodos do crescimento das culturas ocorram perdas totais em lavouras. Ainda, o uso da água na agricultura viabiliza a expressão do máximo potencial produtivo das culturas. Se considerar todos os possíveis usos da água, observa-se em todo mundo que o maior consumo de água ocorre na produção agrícola, chegando esta atividade a ser responsável por 69% do consumo dos recursos hídricos do Brasil (ANA, 2011).

Além disso, a água vem tendo sua disponibilidade limitada devido ao crescimento populacional. Nos últimos 60 anos, a população mundial duplicou e o consumo de água aumentou na ordem de sete vezes, comprovando o aumento do consumo e tendo como consequência altos índices de poluição das águas. (MORAES; JORDÃO, 2002).

Relacionado ainda ao crescimento populacional, pode-se destacar a preocupação em relação à segurança alimentar, já que a população mundial deverá chegar a 9,2 bilhões de pessoas em 2050 (ONU, 2013). Esse fato serve como incentivo para os países investirem pesado na pesquisa e extensão com objetivo de aumentar a produtividade das culturas sem abrir novas áreas agrícolas. Como reflexo dessa preocupação, Fuglie, K. & Wang, S. (2012), a partir dos dados da FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations,* calcularam as produtividades por país, região e para o mundo como um todo no período 1961 a 2009 e os dados demonstram que a produtividade mundial tem aumentado nas últimas décadas, chegando a 1,84% no período de 2001 a 2009.

Uma das formas de aumentar a produtividade de alimentos é a produção agrícola sob irrigação, a qual vem possibilitando um número maior de safras por ano, principalmente em países do hemisfério sul. Além disso, o cultivo agrícola com a utilização da irrigação complementar aumenta as chances das culturas alcançarem seu máximo potencial produtivo. Desta forma, tem-se uma maior produção sem aumentar as áreas cultivadas, o que atualmente é de suma importância, pois visa a conservação de áreas já preservadas. Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos (PAZ et al., 2000).

Justificada a grande importância desse recurso para as mais diversas finalidades, precisa-se de um gerenciamento adequado deste recurso. Desta forma, a gestão de recursos hídricos objetiva resguardar os usos múltiplos da água, de forma que toda a sociedade tenha suas necessidades atendidas. Conforme Gomes & Magalhães (2004), mesmo a água sendo um bem escasso, ainda hoje os recursos hídricos disponíveis no planeta são suficientes para atender toda a demanda da população mundial. O problema da água é que existem fatores que a tornam um recurso finito e vulnerável, como: a distribuição desuniforme entre as diferentes regiões, as exigências de consumo cada vez maiores e o comprometimento da sua qualidade. Assim, a adoção de procedimentos no sentido de sua disponibilização em quantidade e qualidade, e também a otimização de seu uso, mostram-se como questões de grande relevância a serem discutidas com a participação dos diferentes segmentos da sociedade.

A agricultura, através da irrigação destaca-se como a atividade que mais consome água em nível mundial, utilizando cerca de 70% da água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos. Já a indústria representa 23% do consumo, enquanto o abastecimento para a população totaliza 7%. E dentre as culturas irrigadas, o arroz irrigado é uma das culturas que mais demanda água, contribuindo consideravelmente na percentagem total representada pela agricultura (GOMES & MAGALHAES, 2004).

Sendo o setor agrícola o maior usuário de água e esta o componente essencial e estratégico ao desenvolvimento da agricultura, o controle, juntamente com a gerência adequada e confiável deste elemento imprescindível, possibilitará o manejo adequado e equilibrado, preservando a sua qualidade e quantidade. (PAZ et al., 2000).

O Brasil é o país com a maior disponibilidade hídrica do mundo, por onde escoa cerca de 19,5% da água doce superficial do planeta. Contudo, isso não o isenta de ter problemas relativos a questão hídrica, pois sua distribuição não é uniforme em todo o território nacional (ANA, 2003). Isto reforça a importância desse recurso natural e de se encontrar mecanismos de controle de seu uso, como forma de proteger e garantir sua disponibilidade e qualidade para as gerações atuais e futuras.

Dentre as principais culturas irrigadas, a quantidade de água exigida pela cultura do arroz vem sendo estudada, pois a orizicultura demanda os maiores volumes de água utilizada dentre o ciclo produtivo das principais culturas, podendo demandar de 6 mil a 15 mil m^3/ha/ano por safra (UFSM/CNPq, 2007).

Segundo o Instituto Rio-grandense de Arroz (IRGA, 2014), a área cultivada no Rio Grande do Sul na safra 2013/2014 com o arroz irrigado foi de 1.115.414 hectares, sendo 2% superior à área semeada na safra 2012/2013. O Rio Grande do Sul é o estado de maior área cultivada com arroz irrigado do país.

A quantidade de água realmente demandada pela cultura do arroz irrigado por inundação consiste naquela usada pelas plantas para crescer e transpirar. Contudo, uma quantidade adicional é perdida como evaporação da superfície solo-água, fluxo lateral e percolação e eventualmente, por escorrimento por cima das taipas. Essas perdas podem ser diminuídas por um manejo adequado da irrigação, porém não podem ser eliminadas completamente e são, portanto, contabilizadas como demanda (STONE, 2005).

Muitos dos fatores que interferem na quantidade de água utilizada no cultivo de arroz irrigado, se bem manejados podem reduzir significativamente o volume final necessário a cultura. Todavia, na maior parte dos casos, devido a pouca informação dos produtores quanto a real necessidade de água na cultura do arroz, bem como a utilização de sistemas de controle de irrigação precários, os volumes utilizados não expressam a verdadeira necessidade da cultura, sendo geralmente utilizados volumes maiores do que o necessário (MARCOLIN et al., 2007).

De maneira a induzir o uso racional da água, governos do mundo inteiro, inclusive do Brasil (com a promulgação da Lei Federal 9.433/97), assumindo suas responsabilidades, “vem adotando procedimentos jurídicos e institucionais consubstanciados em modernas legislações de recursos hídricos, visando ao

gerenciamento compartilhado dos aspectos relacionados a oferta e ao uso das águas” (GOMES & MAGALHÃES, 2004).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5, da Lei Federal n° 9.433 de 08 de janeiro de 1997, e tem como objetivos assegurar a necessária disponibilidade de água, em padrões adequados aos respectivos usos. Para isto é necessário a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável, a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos (ANA, 2003).

Segundo Conejo (1993), este instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, tem por objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água, buscando a sustentabilidade dos recursos naturais.

Mesmo com este instrumento, segundo Lorensi (2008), a fiscalização do uso das águas em lavouras orizícolas consiste em um desafio para os órgãos gestores. Inserir a outorga e não ter como fiscalizar as quantidades realmente utilizadas poderá colocar em descrédito o sistema de gestão de recursos hídricos. Campanhas para medições de vazões necessitam de boa disponibilidade de tempo e apresentam um elevado custo. Considerando que muitas lavouras possuem diferentes entradas de água e também mais de uma saída, as medições para serem feitas pelo órgão fiscalizador seriam de um valor insustentável para o sistema de gestão.

Uma possibilidade é a implementação da prática de automonitoramento que é uma forma de autodeclaração do usuário da água, que monitora e fornece dados da quantidade de água utilizada na sua propriedade ou no seu empreendimento, formando ele próprio assim uma consciência de racionalização. Este sistema permite a construção de um banco de dados importante para o balanço hídrico do consumo mais próximo da realidade.

Diversos estudos foram realizados com o intuito de encontrar maneiras de quantificar o uso da água em lavouras de arroz. Em um destes estudos, Lorensi (2008) implantou em algumas lavouras de arroz o automonitoramento, que consiste no monitoramento de uma atividade, realizado pelo próprio responsável desta. Neste estudo, a autora obteve resultados satisfatórios para uma implantação e operação com diferentes estruturas hidráulicas e método de leituras de nível com uso de régua

graduada, de modo simples e com fácil incorporação nos procedimentos rotineiros das lavouras orizícolas.

Segundo UFSM/FINEP (2007), a implantação do sistema de automonitoramento obteve resultados satisfatórios respondendo questões associadas à quantificação do sistema. Essa conclusão é reforçada por Luz (2011) e Luz et al. (2011), cujos estudos comprovam o automonitoramento como boa prática em lavouras orizícolas e apontam que o uso de vertedores triangulares na medição de vazão apresenta melhores resultados quando comparado com o automonitoramento com hidrômetros.

Porém ainda existe a necessidade de realização da aferição do controle de vazões por automonitoramento realizado por meio de leituras manuais de níveis nos canais, pois não se sabe a real eficiência deste método, uma vez que as oscilações do nível de água nos canais de distribuição acarretam em dificuldade na determinação do consumo de água (MEIRELLES, 2009). Por isso deve-se determinar um número ideal de medições diárias, afim de, estimar o volume total demandado que represente essa variação nos níveis. Além disso, outra variável que pode interferir na qualidade dos dados é o treinamento das pessoas que realizam o automonitoramento. Sendo assim, permanecem perguntas como: quantas medições diárias dos níveis nos canais adutores são suficientes para representar o volume real? A implantação do automonitoramento com dados de anotações manuais dos níveis definidos por meio de réguas graduadas, utilizando vertedores triangulares como estrutura hidráulica trará resultados eficientes?

A resposta a essas questões pode orientar a definição da melhor estratégia de implementação das medições manuais das vazões de forma a consolidar um método confiável para automonitoramento de água em lavoura orizícola. Isto significa ter um instrumento de fácil operação e incorporação na rotina das lavouras, onde por meio deste pode-se quantificar o volume de água demandado e, portanto, ter informações para subsidiar decisões referentes à gestão dos recursos hídricos.

A confiabilidade neste instrumento proposto é de suma importância nos dias atuais, já que a cobrança pelo uso da água será inevitável. Logo, para que os usuários e a população não saiam prejudicados, faz-se necessário encontrar formas eficazes de quantificar o real volume de água utilizado nas lavouras orizícolas e uma maneira eficiente e acessível para fiscalização desses volumes.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é contribuir para a gestão de recursos hídricos, buscando validar o sistema simplificado e de baixo custo para automonitoramento de quantidades de água utilizadas em lavouras orizícolas utilizando vertedores triangulares e leituras manuais. Como objetivo correlato, ter um instrumento para possibilitar a verificação das diferenças entre os volumes outorgados e os efetivamente utilizados.

Como objetivos específicos têm-se:

i) verificar se duas medições diárias do nível no canal adutor são suficientes como forma de quantificar o volume total de água utilizado em uma safra na lavoura de arroz irrigado.

ii) avaliar a possibilidade de utilizar dados levantados manualmente a partir de réguas graduadas para determinação do volume total de água demandado em uma safra na lavoura de arroz irrigado, verificando a qualidade destas medições.

ii) verificar se a implantação do automonitoramento em arranjo de irrigação com captação direta em rios ou barragens mostra-se igualmente satisfatória, tendo em vista possíveis diferenças nas dinâmicas de fluxo nos canais adutores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é realizada uma abordagem referente à cultura do arroz irrigado de modo a relacionar os principais aspectos que determinam o consumo de água. Também é feita revisão sobre outorga de direito do uso da água, um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o qual tem como principal objetivo assegurar a necessária disponibilidade de água, em padrões adequados aos respectivos usos. Além disso, discorre-se também sobre como é realizada a fiscalização das outorgas no estado.

Finalizando este capítulo, são apresentadas as características técnicas dos vertedores medidores de vazão utilizados na pesquisa, incluindo os princípios de funcionamento, metodologias de implantação, monitoramento, faixas de determinação de vazão e metodologia de determinação de vazões.

2.1 Arroz Irrigado

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo, sendo considerado o alimento de maior importância na maioria dos países em desenvolvimento. Atualmente, constitui a dieta básica para aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas e, segundo estimativas, existe a necessidade de aumentar sua oferta para atender a demanda do dobro desta população, até 2050. Em 2010, o Brasil ocupava a nona posição entre os maiores produtores mundiais de arroz, contribuindo com 1,68% do total produzido no mundo (FAO, 2010).

O arroz no Brasil é cultivado sob dois ecossistemas, várzeas e terras altas (EMBRAPA, 2005). No ecossistema de terras altas o arroz é cultivado sob o sistema de sequeiro. Este já desempenhou um papel de grande relevância na produção de arroz, mas hoje essa produção vem decrescendo, pois historicamente o arroz de sequeiro apresenta menores níveis de produtividade e, sobretudo, a qualidade dos grãos é inferior aos produzidos pelo processo irrigado por inundação (UFRGS, 2004).

Já no ecossistema de várzea observa-se o cultivo irrigado, cuja produção de arroz tem grande expressão, com mais de 75% dos grãos de arroz produzidos mundialmente oriundos deste sistema (EMBRAPA, 2005). O cultivo irrigado apresenta diferentes sistemas de semeadura e estes podem influenciar na quantidade de água utilizada durante o ciclo da lavoura. Os sistemas podem ser classificados como: convencional, plantio direto, cultivo mínimo, pré-germinado e transplante de mudas, tanto em sistematização do solo em nível como para sistematização em desnível.

O preparo do solo no sistema de plantio convencional realiza-se com o solo na sua condição natural de umidade, e consiste basicamente em duas fases. A primeira fase visa principalmente à eliminação e/ou enterrio da cobertura vegetal, normalmente realizada com arados de disco ou de aiveca e grade aradora. Já na segunda fase, são realizadas operações mais superficiais através de grades ou plainas para nivelar, destorroar, destruir crostas superficiais, incorporar agroquímicos e eliminar plantas daninhas no início de seu desenvolvimento, criando desse modo um ambiente favorável à germinação, emergência e desenvolvimento da cultura implantada (IRGA, 2002).

Já o sistema de plantio direto caracteriza-se pela semeadura em solo não revolvido. A semeadora abre uma cova com profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura da semente pelo solo. A principal característica é a manutenção do solo em seu estado natural, sem movimento de suas camadas, evitando a retirada da cobertura vegetal. Este preparo do solo é realizado nos meses de janeiro a março (preparo de verão) e, normalmente, compreende uma aração, duas gradagens e aplainamento. Neste sistema não se têm a necessidade de desmanchar por completo os torrões, pois, como a semeadura do arroz é realizada após alguns meses, essa tarefa é completada pelas chuvas de inverno (IRGA, 2002).

No cultivo mínimo (CM), as operações de preparo do solo aproximam-se às realizadas no PD, diferindo apenas na época de realização, visto que estas ocorrem do final do inverno ao início da primavera, de 60 a 45 dias antes da semeadura. A adoção do cultivo mínimo (CM) na cultura do arroz irrigado tem como objetivo inicial o controle do arroz-vermelho (EMBRAPA, 2005).

O preparo do solo antecipado, tanto no CM, como no PD, visa corrigir pequenas imperfeições de microrrelevo, preparando a superfície do solo para

receber as sementes de arroz e, principalmente, estimular a germinação e emergência de sementes de plantas daninhas, como as de arroz-vermelho, em um período em que estas não possam concorrer com a cultura do arroz. Quando o arroz irrigado é cultivado no sistema PD, em rotação com culturas como o milho e a soja, prática já utilizada em algumas áreas de várzea do RS, o preparo do solo vem sendo dispensado. Desta forma, o sistema PD utilizado em áreas de várzea se assemelha aquele praticado em solos de terras altas (EMBRAPA, 2005).

O sistema pré-germinado é caracterizado pela semeadura das sementes pré-germinadas, em solos previamente preparados, secos ou com água, a fim de favorecer o processo germinativo e o estabelecimento das plântulas. No preparo do solo, há necessidade da formação de lama, e o nivelamento e o aplainamento são realizados normalmente com o solo inundado (EMBRAPA, 2005).

Outro sistema que pode ser utilizado na lavoura orizícola, mas não apresenta importância no estado do Rio Grande do Sul é o sistema de transplante de mudas. Nesse caso, as plantas inicialmente crescem de 13 a 15 cm em um viveiro e, logo após, é feito o transplante para a área a ser cultivada. O preparo do solo e o manejo da água são idênticos ao do sistema pré-germinado. O método tem por objetivo principal a obtenção de sementes de alta qualidade. O sistema compreende as fases de produção de mudas e de transplantio (EMBRAPA, 2005).

Em todos os sistemas apresentados a irrigação mais utilizada é a por inundação, formando uma lâmina de água acima do solo. O aporte de água para esse tipo de irrigação pode ser contínuo, durante grande parte do ciclo do arroz ou intermitente onde os suprimentos de água à lavoura são realizados em intervalos irregulares (EMBRAPA, 2005; SILVA; PARFITT, 2005).

Outra variável que também influencia a quantidade de água na lavoura refere-se às técnicas de preparo da área de plantio que, segundo SOSBAI (2005), há duas modalidades de sistematização para as lavouras de arroz. Uma delas é a sistematização do solo em desnível, que é feita normalmente com taipas em curva de nível, o qual visa uniformizar o solo transferindo terra das partes mais elevadas para as depressões do terreno. Normalmente a declividade natural do terreno é mantida, podendo-se ajustar o gradiente conforme a necessidade da cultura a ser implantada. Para a outra modalidade, sistematização do solo em nível, tem sua área subdividida em quadros, no formato retangular, onde o terreno dentro de cada quadro é nivelado em um solo pré-definido, utilizando-se o solo das cotas mais

elevadas para aterrar os de cotas inferiores. As duas modalidades de preparo do solo podem ser visualizadas nas figuras 1 e 2 a seguir.

Figura 1 – Sistematização de solo em desnível

Fonte: Rosário do Sul em Fotos.

Figura 2 – Sistematização de solo em nível

Fonte: Agrolink.

Para suprir a necessidade de água no cultivo do arroz, estima-se que venha sendo utilizado, atualmente, um volume médio de 8 a 10 mil m³/ha de água (vazão de 1,0 a 1,4 L/s ha), para um período médio de irrigação de 80 a 100 dias (SOSBAI, 2010). Porém resultados citados na literatura demonstram uma variação significativa quando analisados os valores finais de volume utilizados na lavoura de arroz, diferenças estas que podem ser visualizadas na tabela 1.

Essa grande variação no volume demandado de água no cultivo de arroz explica-se, pela complexidade que se tem no cultivo desta cultura, já que a mesma envolve diversos fatores que podem alterar este consumo, tais como: manejo, tipo de solo, condições climáticas como umidade, temperatura, radiação solar, entre outros (MOTA et al., 1990).

Tabela 1 – Volumes demandados pela cultura do arroz encontrados na literatura

Referência Bibliográfica	**Volume (m³/ha safra)**	**Característica**
Motta et al. (1990)[2]	9.000 a 12.000	Estimativa por meio de evapotranspiração
Hernandez et al. (1997)[3]	6.512 e 6.263	Variando início de irrigação - P. Convencional
Marcolin e Macedo(2001)[1]	7.856	Media de 5 anos – P. Convencional, monitoramento com hidrômetros
	7.145	Media de 5 anos – P. Direto, monitoramento com hidrômetros
	6.271	Media de 5 anos – P. Pré-Germinado, monitoramento com hidrômetros
UFSM/SEMA, (2003)[3]	10.500	Estimativa - solos argilosos (bacia rio Santa Maria)
	9.500	Solos mistos (bacia do rio Santa Maria)
	8.500	Solos argilosos (bacia do rio Santa Maria)
Gomes e Magalhães (2004)[1]	12.000	Valores médios para 80 a 100 dias
Marcolin et al. (2005)[1]	7.894 a 8.754	Variando início de irrigação
UFSM/FINEP, (2005)[3]	12.200	Estimativa - Unidade de solo Ibicuí (Bacia do rio Ibicuí)
	11.000	Unidade de solo Vacacaí (Bacia do rio Ibicuí)
	9.000	Unidade de solo Uruguaiana (Bacia do rio Ibicuí)
	8.000	Unidade de solo Banhado (Bacia do rio Ibicuí)
Machado et al. (2006)[1]	5.431 a 6.422	Peq. parcelas experimentais (safra

			2000/2001) monitoradas com hidrômetros
	5.374 a 5.852		Peq. parcelas experimentais (safra 2001/2002) monitoradas com hidrômetros
Marcolin et al. (2007)[1]	7.706		Monitoramento com comportas (Camaquã)
	8.606		Monitoramento com hidrômetros (St. Ant. da Patrulha)
Lorensi (2008)[4]	4.496,7		Canal vertedor em madeira.
	16.158,52		Canal regular em alvenaria.
	7.634		Canal regular em terra do tipo trapezoidal.
Meirelles (2009)[1]	10.456,1 a 11.651,7		Monitoramento em sistema coletivo de irrigação, consideradas perdas na adução da água.
Da Luz (2011)[1]	Hidrômetro	Vertedor	
	9.683,75	9.987,25	Pequena área experimental – Sistema de Plantio Convencional (Cachoeira do Sul)
	8.600,6	8.565,15	Pequena área experimental – Sistema de Plantio Direto (Cachoeira do Sul)
Lorensi (2011)[5]	Balanço Hídrico	Monitoramento	
	10.429	10.207	Sistema de Plantio Direto – Planossolo Háplico (Cacequi)
	10.157	11.509	Sistema de Plantio Convencional – Gleissolo Háplico (Cachoeira do Sul)
	9.404	9.076	Sistema de Plantio Pré-Germinado – Gleissolo Háplico (Cachoeira do Sul)
	9.022	9.923	Sistema de Plantio Direto – Planossolo Háplico (Cachoeira do Sul)
	8.189	4.293	Sistema de Plantio Cultivo Mínimo – Planossolo Háplico (Manoel Viana)
	6.588	6.489	Sistema de Plantio Cultivo Mínimo – Gleissolo Háplico (Santa Maria)

1 Monitoramento
2 Estimativas a partir de métodos de cálculo de evapotranspiração
3 Valores utilizados em estimativa de demanda de uso da água a nível de bacia de gerenciamento de recursos hídricos.
4 Monitoramento de alguns dias de irrigação, estimando o volume para 100 dias irrigados.
5 Balanço Hídrico e Monitoramento

Contribuindo com este pensamento, SOSBAI (2010) destaca que a necessidade de água no cultivo do arroz irrigado por inundação do solo é alta, variando, porém, com as condições climáticas, atributos e tipo de solo, manejo da cultura e a duração do ciclo da cultivar. Também as dimensões e revestimento dos

canais, localização da fonte de captação e a profundidade do lençol freático influenciam o volume de água requerido pela cultura.

De acordo com Lorensi (2011), o volume demandado pela cultura do arroz, apresenta significativa dependência da classe do solo, de maneira que, quanto maior o teor de argila na camada arenosa (), menor o volume de água utilizado para a irrigação. Ainda nesse sentindo, a autora verificou uma relação linear entre o volume de água utilizado e a espessura dos horizontes A, E, C. Dessa forma, pode-se afirmar que a variação dos volumes utilizados na cultura orizícola, está muito relacionada com as características dos solos.

No Rio Grande do Sul, os solos cultivados com arroz irrigado em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, o que determina seu agrupamento em uma grande variedade de classes. Sendo assim, o volume utilizado na irrigação também apresenta heterogeneidade nos volumes utilizados (EMBRAPA, 2005).

Comprovada esta grande variação no volume demandado por este tipo de cultura, a realização de uma efetiva fiscalização do uso da água em lavouras orizícolas consiste em um grande desafio para os órgãos gestores, pois “Implantar a outorga e não ter como fiscalizar as quantidades realmente utilizadas poderá colocar em descrédito todo o sistema de gestão de recursos hídricos” (UFSM/FINEP, 2005).

Desta maneira, com a necessidade de implementação dos processos de outorga, o monitoramento dos volumes de irrigação deve ocorrer de forma mais precisa possível. Além de resultados precisos, o monitoramento deve ser de fácil realização por parte dos produtores e/ou pelos órgãos gestores dos recursos hídricos (LORENSI, 2008).

Nesta pesquisa, foram monitoradas duas lavouras sob o cultivo irrigado, as quais apresentam somente um sistema de plantio, sistema de cultivo mínimo, pois não se objetivou avaliar as diferenças entre estes sistemas e técnicas de preparo, mas sim, avaliar o procedimento de medição de água para a irrigação, servindo como ferramenta na gestão dos recursos hídricos.

2.2 Outorga de direito de uso da água

A Agência Nacional de Águas (ANA) define a outorga de direito de uso da água como “o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou o Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo”.

Para Granziera (2006), outorga “é o instrumento pelo qual o Poder Público atribui ao interessado, publico ou privado, o direito de utilizar privativamente o recurso hídrico”. A outorga de direito de uso de recursos hídricos e um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5, da Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, também conhecida como lei das águas. Esta lei define através do art.11 e no parágrafo único do art. 13, da seção III que o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos preservar os usos múltiplos destes, assegurando o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. (BRASIL, 1997).

Segundo Conejo (1993), este instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos objetiva assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água, buscando a sustentabilidade dos recursos naturais.

Na visão de Lanna (1999), a outorga projeta-se como um instrumento fundamental nas políticas de gestão, visto que o poder público, como o órgão com competência legal, confere ao usuário a possibilidade de uso de uma quantidade de água por um determinado tempo. A água, como um bem de domínio público, deve como princípio fundamental ser administrada pelo próprio ente público a quem a Constituição Federal legitimou competência para administrá-la. A outorga é a faculdade de repassar esta administração a terceiros (BARROS, 2005).

Mesmo a água sendo um bem de domínio público e sua administração realizada por este, a sociedade ganhou o direito de participação como tomadora de decisão na política de recursos hídricos, onde esta representa uma prática inovadora e recente, instituída na Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997), através da criação dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Conforme Ravanello (2007), os Comitês, também

conhecidos como “Parlamentos das Águas”, são organismos colegiados, consultivos e deliberativos. Eles apresentam uma composição diversificada e democrática, a qual contribui para que todos os setores da sociedade com interesse sobre a água de determinada bacia hidrográfica, tenham representação e poder de decisão sobre sua gestão. Sendo assim, eles constituem a base do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. A Lei Federal n° 9.433/97 no inciso III do art. 33, define que os Comitês de Bacia Hidrográfica são parte integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, está redação é dada pela da Lei Federal n° 9.984/00. Ainda na lei das águas (9.433/97), os incisos I, II e III do art. 38 definem que compete aos Comitês, entre outras ações, no âmbito de sua área de atuação, promover o debate das questões hídricas e articular a atuação das entidades intervenientes; aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia e acompanhar e avaliar sua execução; arbitrar conflitos pelo uso da água, em primeira instância administrativa.

2.3 Fiscalização da Outorga de uso da água com automonitoramento

A Lei Federal n° 9.433/97, também conhecida como a Lei das águas, determina já no seu primeiro artigo que “a água é um bem de domínio público”. Freitas (2000) refere que está lei "configura um marco que reflete uma profunda mudança valorativa no que se refere aos usos múltiplos da água, as prioridades desses usos, ao seu valor econômico, a sua finitude e a participação popular na sua gestão". Para Barros (2005), esta lei, composta por 57 artigos, demarca os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, apontando seus fundamentos, diretrizes de ação e instrumentos de gerenciamento das águas. Dentre estes instrumentos, fundamentados no art. 5º está a outorga de direitos de uso da água, que confere ao usuário o direito de uso de uma determinada vazão ou volume de água, de uma determinada fonte, para certo uso, por um período definido, em condições alienáveis (ANA, 2003). Além disso, esta lei tem o intuito de assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a ela.

Já no Rio Grande do Sul, a Constituição de 1989 do Estado institui através de seu art. 171, o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (RIO GRANDE SO SUL,

1989), e a Lei Estadual 10.350/94 regulamenta o referido artigo estabelecendo em seu artigo 29 a obrigatoriedade da outorga para os usos que alterem as condições qualitativas e quantitativas das águas superficiais ou subterrâneas, observando o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica (RIO GRANDE DO SUL, 1994).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos no Rio Grande do Sul foi regulamentada por meio do Decreto Estadual no 37.033/1996, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei no 10.350/1994 (RIO GRANDE DO SUL, 1996). O referido decreto, em seu artigo 2º define como uso "[...] qualquer utilização, serviço ou obra em Recurso Hídrico, independente de haver ou não retirada de água, barramento ou lançamento de efluentes, que altere seu regime ou alterem suas condições qualitativas ou quantitativas".

Em 1999, através da lei estadual no 11.362/99 foi criado a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA), órgão responsável pela política ambiental do Rio Grande do Sul, cabendo ao Departamento de Recursos Hídricos (DRH) a emissão de outorga para os usos que alterem as condições quantitativas da água (RIO GRANDE DO SUL, 1999).

O licenciamento ambiental do arroz iniciou no ano de 2003, a partir do qual o produtor que não obtiver as autorizações ambientais estará operando de forma ilegal (PLANETA ARROZ, 2003). O instrumento legal que gerencia o licenciamento ambiental do arroz é a Resolução 036/2003 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (Consema), cabendo à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM realizar o deferimento ou não destas licenças ambientais e quando deferidas fica com responsabilidade de fiscalizar os empreendimentos licenciados.

A Secretaria Estadual do Meio Ambiente, através do DRH, é responsável pela emissão e fiscalização de outorga de uso da água, quando esta se encontra em domínio do estado do Rio Grande do Sul e seus usos alterem as condições quantitativas, este sendo o caso das lavouras irrigadas de arroz.

Atualmente, para licenciar a lavoura de arroz torna-se necessário primeiramente, requerer o documento de outorga. Este documento é disponibilizado na *home Page* do SEMA, onde no serviço de outorga de direito de uso da água, são apresentadas algumas alternativas de outorgas. Estas alternativas dependem do tipo de empreendimento a ser outorgado, as quais podem ser barragens, canais,

captação direta, etc. Além disso, as outorgas são separadas em reserva de disponibilidade hídrica, para empreendimentos novos ou para alterações nas características construtivas de obras existentes e regularização a empreendimentos existentes. No caso de empreendimentos novos ou com características construtivas alteradas a obra deve passar por todas as etapas do licenciamento ambiental: Licença Previa (LP), Licença de Instalação (LI) e, por fim, Licença de Operação (LO), a qual só será expedida, após o encaminhamento da Outorga de direito do uso da água pelo DRH à FEPAM. Já no caso de regularizações de empreendimentos, depois de deferida pelo DRH, a outorga de direito de uso da água deve ser enviada à FEPAM e após análise irá ou não deferir a LO.

Contudo, mesmo com a implementação de todos os processos de licenças ambientais e outorga, a fiscalização do uso das águas em lavouras orizícolas consiste em um desafio para os órgãos gestores. Isto, porque a lavoura de arroz irrigado é um empreendimento de difícil quantificação do real volume de água utilizado, tendo cada lavoura seu sistema de irrigação e características próprias. Ainda neste sentido, muitas lavouras possuem mais de uma entrada de água e também diferentes saídas, dificultando o controle deste volume.

Levando em conta todos estes aspectos, Lorensi (2008) destaca que as medições de vazão a serem realizadas pelo órgão fiscalizador seriam de valor insustentável para o sistema de gestão. Ainda mais, o órgão gestor possui reduzida infraestrutura para exercer essa atividade, já que o número de empreendimentos é extremamente elevado.

Então, como forma de tentar solucionar este problema, surgiu a ideia da utilização do automonitoramento de uso da água nas lavouras de arroz, sugerida no projeto SIOGA/UFSM/FINEP/CT-HIDRO. Esse projeto apresentou o método como um sistema de monitoramento de uma atividade realizado pelo próprio responsável pela atividade. Sendo assim, ele pode ser aplicado à outorga de recursos hídricos como forma de autodeclaração do usuário da água, que monitora e fornece os dados da quantidade de água utilizada no seu empreendimento outorgado. Logo, com a coleta de dados de vários produtores de uma mesma região, levanta-se a possibilidade da construção de um banco de dados importante para o controle da demanda de uma determinada bacia hidrográfica, além de se ter informações mais próximas a realidade.

O automonitoramento de uso das águas, aliado ao instrumento de outorga, apesar de contar ainda com poucos estudos, já mostra resultados satisfatórios e demonstra grande importância no levantamento de dados de atividades que são de difícil controle por parte dos órgãos gestores.

Um dos primeiros exemplos de aplicação de automonitoramento de atividades de uso das águas surgiu em 1974 no Estado do Rio Grande do Sul, com a instituição do Núcleo de Controle da Poluição. O responsável pela fiscalização desta atividade é a Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente – FEPAM, órgão da Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. Desde 1985 é realizada a fiscalização dos sistemas de tratamento de efluentes industriais de maior potencial de poluição, através do Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos – SISAUTO (LORENSI, 2008).

Esta fiscalização é realizada através do acompanhamento periódico das características dos efluentes líquidos gerados por indústrias cadastradas neste sistema. Ao se cadastrarem no SISAUTO, as empresas passam a encaminhar a FEPAM, planilhas com os resultados das análises físico-químicas e biológicas. A FEPAM, através do seu laboratório, realiza avaliações periódicas dos efluentes destas empresas, a fim de conferir os resultados enviados pelas mesmas.

Outra forma de automonitoramento foi apresentada na pesquisa de Lorensi (2008), que teve por objetivo identificar formas viáveis para implantar o automonitoramento quantitativo de água em lavouras orizícolas de pequeno porte, nos municípios de Santa Maria e Restinga Seca – RS. A autora concluiu que a implantação e a operação das estruturas utilizadas nesta metodologia são simples e de fácil incorporação na rotina dos agricultores. Deste modo, assegura-se que esta forma de medição tem um grande potencial de ser aplicada à outorga do uso da água, servindo como ferramenta para a formação de banco de dados da demanda de água, dentro de determinada bacia hidrográfica.

Na mesma linha de pesquisa, mas com o foco em testar diferentes estruturas para a aplicação do automonitoramento, Da Luz (2011) testou comparativamente dois sistemas hidráulicos, Vertedores de Parede Delgada e Hidrômetros Velocimétricos, que servem como medidores de vazão e volume, respectivamente. Estes sistemas foram escolhidos devido a já terem sido utilizados em outras pesquisas para determinação de volumes de irrigação em lavouras orizícolas.

Com os resultados obtidos e as características de operação e manutenção dos sistemas analisados, foi verificada a viabilidade da utilização de vertedores de parede delgada para o automonitoramento de água em lavouras orizicolas. No entanto, através do estudo comparativo dos dois sistemas, não foi recomendada a utilização de hidrômetros velocimétricos neste meio, uma vez que são estruturas sensíveis a variações de vazões e partículas em suspensão na água.

Ainda como forma de quantificar o volume de água utilizado em lavouras orizícolas por meio de métodos simplificados de medição de vazão (automonitoramento), Lorensi (2011) realizou um trabalho com o intuito de quantificar o volume de água usado em lavouras orizícolas em áreas de diferentes regiões produtoras no sul do Rio Grande do Sul, como subsídio à gestão de recursos hídricos e relacioná-lo com atributos do solo. Os resultados da pesquisa mostraram similaridade na comparação entre a técnica de automonitoramento e o cálculo do balanço hídrico, demonstrando mais uma vez que a utilização desta metodologia pode apresentar resultados satisfatórios.

Dessa forma, o automonitoramento poderá ser implantado como um instrumento fiscalizador para o consumo de água na lavoura orizícola, por meio de checagem aleatória pelos fiscais, ou seja, confirmar que a outorga de uso esteja sendo respeitada pelos usuários (UFSM/CNPq, 2007).

2.4 Medição de vazão

A vazão de um canal ou um rio é definida como o volume de água que escoa por certa seção em um intervalo de tempo (SANTOS et al., 2001). Ainda, para o autor, a vazão está associada a uma cota linimétrica “h” (cota da superfície livre em relação ao plano de referência), onde as medições de vazões devem ser fáceis, diretas e rápidas.

Segundo Carvalho (2008), a vazão é compreendida por um volume de água que atravessa uma determinada seção de rio ou canal por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e expressa em $m^3 s^{-1}$.

Dentre as possibilidades de estruturas para medição de vazão, neste estudo utilizou-se o vertedor triangular de parede delgada. Esta estrutura hidráulica foi escolhida por atender os critérios da pesquisa, de forma a simplificar a medição de vazão em lavouras orizícolas e obter resultados com boa precisão. Para essa escolha, foram levadas em consideração pesquisas já realizadas como SIOGA (2007), Lorensi (2008), Da Luz (2011), Lorensi (2011) e UFSM/FINEP (2012).

2.4.1 Vertedor triangular de parede delgada

Segundo Porto (2004), um vertedor define-se por um tipo de estrutura hidráulica (dispositivo) que se comporta basicamente como um orifício de grandes dimensões, de maneira que a passagem da veia liquida na parte superior da estrutura se faz em contato com a atmosfera. Este tipo de estrutura é utilizado para medir e/ou controlar vazão de escoamentos em canais.

Os vertedores ainda podem ser definidos como uma barreira inserida perpendicularmente ao fluxo, possuindo uma abertura com forma geométrica característica na parte superior da estrutura. Através desta abertura, de formato e dimensões conhecidos, ocorre o escoamento da água, onde através da altura da lâmina de água passante, ou carga(h), pode-se calcular pelo meio de fórmulas específicas, o valor da vazão que verte pela estrutura (PORTO, 2004).

O princípio hidráulico do uso desse tipo de estrutura como estrutura de medição da vazão é o fato de o valor da vazão ser função somente da carga hidráulica. Essa carga é definida pela diferença de nível entre, a linha da superfície livre a montante e a soleira vertedora. Desta forma, determinada a carga hidráulica, basta aplicar esse valor na fórmula específica da estrutura para definir a vazão (LENCASTRE, 1972). Para vertedores triangulares uma das equações mais usadas é a de *Gourley* e *Crimp* definidada pela equação 1.

$$Q = 1{,}32 * tg\ \frac{\alpha}{2} * h^{2{,}47} \qquad (1)$$

Onde: α é o ângulo do vértice, Q é a vazão ($m^3\ s^{-1}$) e h é a carga sobre o vértice (m).

O vertedor triangular de soleira delgada utilizado no trabalho apresenta grande precisão em baixas vazões, como no caso das vazões iguais ou inferiores a 30 L s-1. Ainda assim, apresenta bons resultados até vazões de 300 L s-1 (LENCASTRE, 1972), com cargas hidráulicas compreendidas entre 0,06 e 0,50 m (PORTO, 2004). O croqui esquemático desta estrutura pode ser visto frontalmente (montante para jusante) na figura 3.

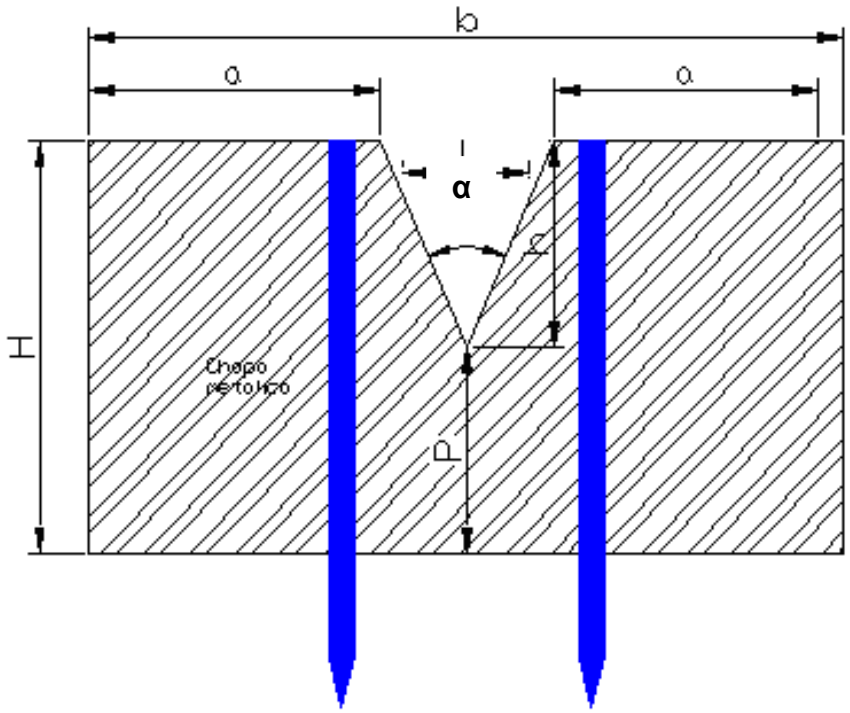

Figura 3 – Croqui do Vertedor Triangular

2.4.2 Calha Parshall

De acordo com Horn (2012), as Calhas Parshall são dispositivos de medição de vazão, na forma de um canal aberto, com dimensões padronizadas. Nessa estrutura, a água é forçada a passar por uma garganta estreita, sendo que a medição do nível da água que passa por essa garganta é feito a montante do regime crítico gerado por esta, e pode ser relacionada diretamente à vazão. Essa calha

possui como principais vantagens a não alteração significativa das condições naturais do rio ou canal, permitindo, assim, a circulação natural de sedimentos, nutrientes e vida aquática. Outra vantagem desta estrutura é possibilidade de medir uma ampla faixa de vazões.

As Calhas Parshall apresentam-se como estruturas de medição de vazão, que têm convencionalmente uma estrutura com paredes verticais, possuindo na entrada um trecho convergente (0-1), um trecho contraído em declive de seção constante (1-2), e na saída um trecho divergente em aclive (2-3) (INCONTROL, 2008). Na figura 4, se pode visualizar a estrutura em questão.

De acordo com Porto (2004), o estreitamento nesta estrutura hidráulica denominado de garganta produz uma variação de velocidade e de profundidade ao longo da calha, que podem ser relacionados para a determinação de vazão. Dessa maneira, com o auxílio de um medidor de nível externo adequado, pode-se obter leituras de vazão com precisão satisfatória.

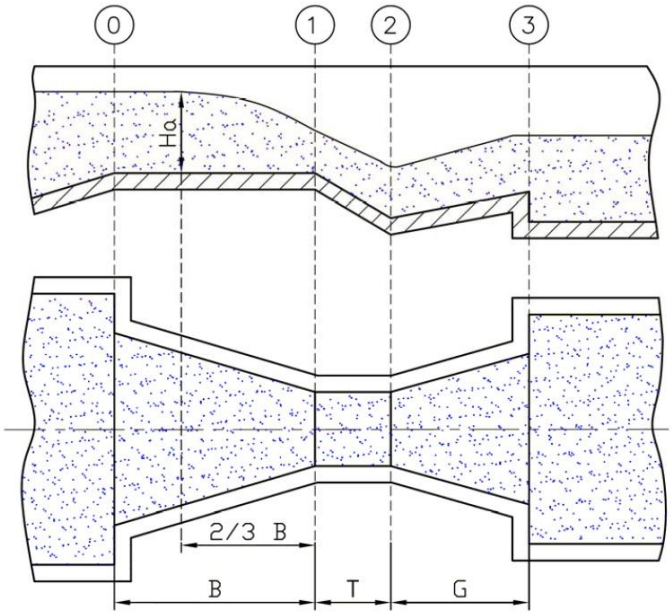

Figura 4 – Calha Parshall

Fonte: Incontrol

Para a definição da vazão que passa pela estrutura é necessária a medição do nível de água a montante do trecho contraído (garganta), desta maneira o nível encontrado é aplicado a uma equação que define a vazão em $m^3 s^{-1}$ (PORTO, 2004).

A construção de Calhas Parshall no Brasil deve seguir a norma NBR/ISO9826: 2008 e os tamanhos são designados pela largura da garganta. (INCONTROL, 2008).

3 METODOLOGIA

O estudo experimental foi realizado em duas parcelas de uma lavoura comercial no município de São Pedro do Sul, região central do estado do Rio Grande do Sul, na localidade de Passo da Cruz. A área foi escolhida por atender os objetivos de monitorar o uso da água de lavouras de arroz em diferentes arranjos de irrigação e comparar os volumes realmente utilizados, com os referidos na outorga de uso da água. Além disso, atende critérios de proximidade, facilidade de acesso e disponibilidade do proprietário em contribuir com a pesquisa.

3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em duas parcelas de arroz irrigado em uma propriedade pertencente ao município de São Pedro do Sul, localizado na parte central do estado do Rio grande do Sul. A cidade pertence à microrregião de Santa Maria, ao norte limita-se com os municípios de Toropi, Quevedos e São Martinho da Serra, ao sul com Cacequi e Dilermando de Aguiar, ao leste com Santa Maria e a oeste com Mata e São Vicente do Sul.

Segundo o censo realizado no ano de 2010, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), São Pedro do Sul apresenta uma população de dezesseis mil trezentos e sessenta e oito (16.368) habitantes, dos quais a maioria reside na zona urbana. O município abrange uma área de 873,593 km², que está assentada sobre litologias da Formação Sanga do Cabral, Formação Santa Maria (membro Passo das Tropas e Membro Alemoa), Formação Caturrita, Terraços Fluviais e Sedimentos Atuais do Quaternário (WERLANG et al., 2005).

A região de São Pedro do Sul, conforme a classificação climática de Köppen (WERLANG; PICOLLO, 2013), corresponde ao clima mesotérmico brando Cfa (temperado quente), onde apresenta invernos frios, com temperatura média do mês mais frio entre 13°C e 15°C e média das mínimas entre 8°C e 10°C. Os verões são quentes, com temperatura média do mês mais quente superior a 24°C, média das

máximas variando entre 28°C e 32°C e as máximas absolutas oscilando em torno dos 39°C. As temperaturas médias anuais situam-se entre 16°C e 20°C. As precipitações são regulares e bem distribuídas durante o ano, não apresentando estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1.500 mm e 1.600 mm. Os ventos predominantes são de leste e sudeste.

● Área de estudo

Figura 5 – Mapa de Localização de São Pedro do Sul

Fonte: Menezes et al. (2012)

São Pedro do Sul tem suas terras drenadas pelo Sistema Hidrográfico Ibicuí-mirim/Toropi, que em sua confluência no sudoeste do Município, formam o rio Ibicuí. De forma mais ampla, o município está inserido na Região Hidrográfica do rio Uruguai, que drena grande parte das porções norte e oeste do Rio Grande do Sul. A rede de drenagem é subdividida em dois setores, o setor norte correspondente aos afluentes do rio Toropi e o setor sul correspondente aos afluentes do rio Ibicuí-mirim (MENEZES et al., 2012).

A atividade econômica predominante no município é a agricultura, onde se destaca o cultivo de arroz, a qual ocorre nas áreas planas próximas aos rios Toropi,

Ibicuí-Mirim e seus afluentes. Já nas porções mais acidentadas do relevo predominam as pequenas propriedades com culturas de subsistência ou de mercado local, como milho, feijão e outras, associadas às atividades pastoris (SCHUCH, 2006; MENEZES et al., 2012).

A propriedade onde foi realizado o estudo situa-se na localidade de Passo da Cruz, parte integrante do município de São Pedro do Sul. Nesta propriedade realizou-se o monitoramento de duas parcelas de lavoura orizícola, as quais são identificadas por área 1 e área 2, conforme a figura 6 do croqui da propriedade.

A área 1 tem como fonte principal de captação de água uma barragem, onde foi instalado o vertedor para a avaliação da metodologia da pesquisa e uma entrada secundária que advém de outra lavoura da propriedade, para complementação de irrigação. O volume de água da entrada secundária foi medido através de uma calha Parshall, este será somado ao volume monitorado na entrada principal, como forma de determinar a demanda total de água da lavoura nesta área. A área 2 apresenta somente um aporte de água para a lavoura, que é a captação no Rio Ibicuí-mirim, desta forma neste ponto foi instalado o vertedor para avaliar a metodologia proposta e contabilizar a necessidade hídrica total da lavoura da área 2.

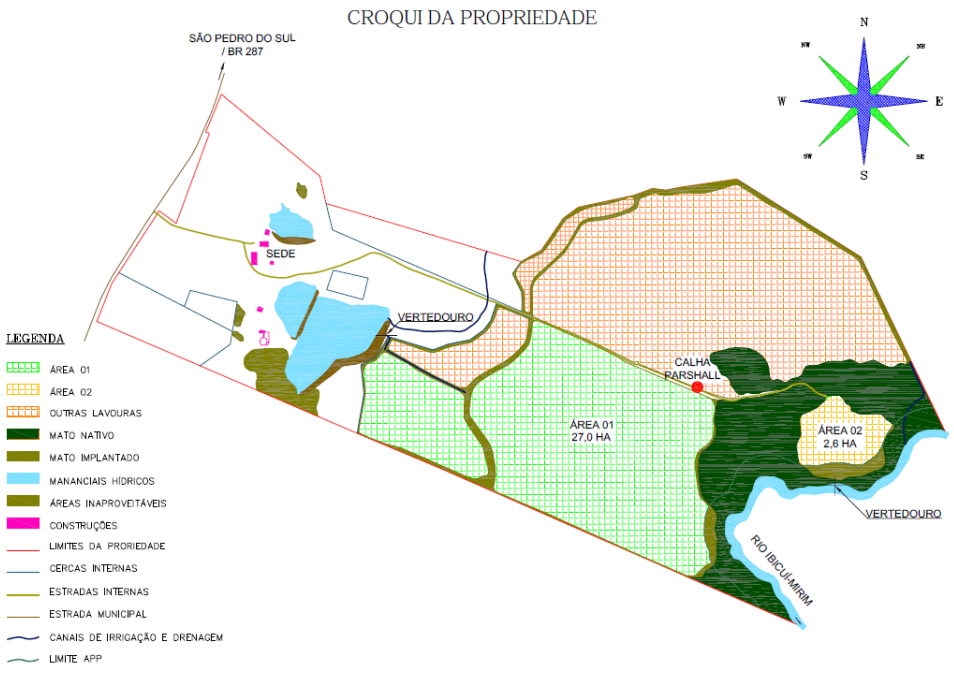

Figura 6 – Croqui da propriedade

As lavouras estão próximas uma da outra, estabelecidas assim no mesmo regime de chuvas e clima, mas apresentam algumas características distintas em seu manejo, que serão apresentadas a seguir. Na figura 7, são visualizadas as duas lavouras e seus limites em imagem de satélite.

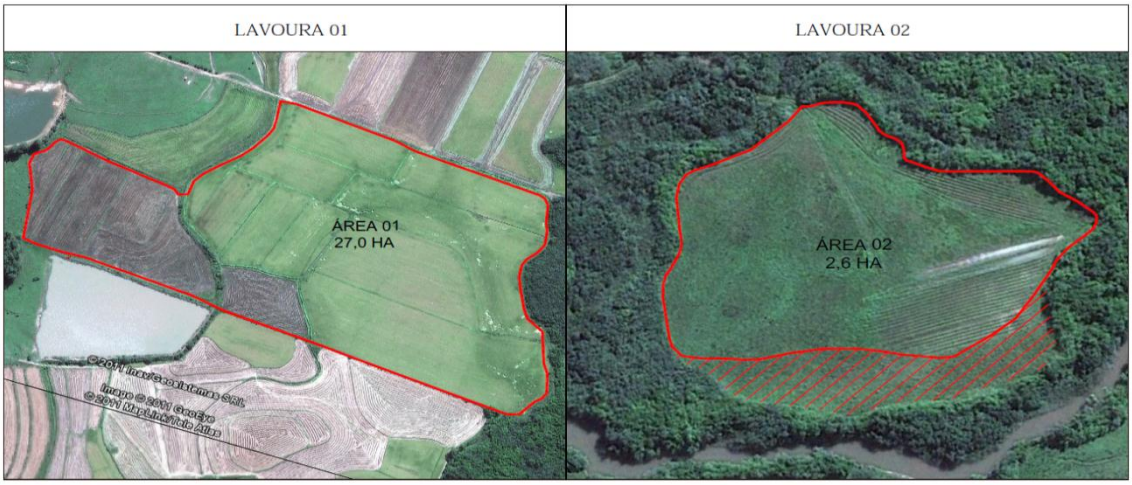

Figura 7 – Lavouras monitoradas (área 1 e área 2)

- Área 1

A área desta parcela foi calculada por meio de imagens do satélite GeoEye-1, que abastece o aplicativo Google Earth©, datadas de 2009. Essas imagens foram importadas para o software AutoCAD Civil 3D 2010© para a obtenção de suas representações vetoriais, onde através delas determinou-se a área, calculada em 27,0 (vinte e sete) hectares. A área é utilizada para o cultivo de arroz irrigado no sistema de cultivo mínimo.

A semeadura foi realizada no dia 6 de novembro de 2013, utilizando a variedade comercial PUÍTA INTA-CL. Essa variedade é tolerante a um herbicida que elimina apenas o arroz vermelho (Oryza sativa), seu desenvolvimento foi realizado por um órgão de pesquisa argentino, chamado Instituto Nacional de Tecnologia e Agropecuária (INTA). A cultivar apresenta tecnologia *Clearfield*, ou também chamado Sistema *Clearfield* (CL), que se baseia no uso de sementes tolerantes a um herbicida específico desenvolvido pela multinacional *Basf*, que é detentora do

gene que confere resistência ao arroz cultivado (CAETANO, 2011). Essa variedade apresenta um ciclo de 120 a 125 dias, caracterizando-a como precoce.

A densidade de semeadura utilizada foi de 100 kg ha^{-1}, seguindo a recomendação para a variedade, assim como a data de semeadura que está no intervalo recomendado. A correção de acidez do solo ocorreu no preparo da área, ou seja, em torno de 45 dias antes da semeadura e utilizou-se 0,2 t ha^{-1} de calcário. A adubação na área foi de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 40 kg ha^{-1}de fósforo (P) e 60 kg ha^{-1} de potássio (K). Para o controle de plantas daninhas, pragas e doenças utilizaram-se as recomendações usuais para a cultura orizícola.

A lavoura apresenta sistematização do solo em nível, com sua área subdividida em quadros. O sistema de irrigação da área é do tipo intermitente onde os suprimentos de água à lavoura são realizados em intervalos irregulares. A água utilizada na irrigação provém de uma barragem da propriedade e é conduzida por gravidade para toda a parcela monitorada. A tomada d'água da barragem é controlada pelo volante do registro de descarga, esta conduz a água de montante para jusante da barragem através de um conduto de concreto, esse pode ser visualizado na figura 8. Nesta área, além deste aporte principal água, descrito anteriormente, existe uma entrada de água secundária na lavoura, para irrigação complementar.

Figura 8 – Conduto de descarga da barragem

Fonte: Acervo Pessoal

- Área 2

Para o cálculo da área desta parcela utilizou-se a mesma metodologia da área anterior, dessa forma foi determinado que a área 2 possui 2,6 hectares. Essa parcela é cultivada com arroz irrigado no sistema de cultivo mínimo.

A lavoura foi implantada no dia 10 de dezembro de 2013, a cultivar utilizada apresenta tecnologia CL, com o nome comercial GURI INTA-CL.

A densidade de semeadura utilizada foi de 80 kg ha^{-1}, seguindo as recomendações para a cultivar, já a época de semeadura apresentou um atraso no período ideal, representando uma semeadura tardia. Esta cultivar apresenta um ciclo precoce totalizando 120-125 dias.

O manejo de adubação, plantas daninhas, pragas e doenças foi muito próximo ao apresentado na lavoura 1, diferindo somente na adubação nitrogenada, que neste caso foi 80 kg ha^{-1}.

A área 2, caracteriza-se por uma lavoura orizícola de sistematização do solo em desnível com taipas em curvas de nível e o manejo de irrigação utilizado foi o intermitente. A segunda lavoura difere no manejo da água, de forma que nesta parcela a água utilizada na irrigação caracteriza-se por ter o nível da fonte de água (Rio Ibicuí-mirim) inferior à cota da localização da lavoura. Neste caso, a água a ser distribuída deve antes ser elevada por meio mecânico (bombeamento). Este bombeamento é realizado por uma motobomba da marca Buffalo de 10 cv, com sistema abastecido por diesel e tem como capacidade de bombeamento máximo 230 m^3 h^{-1}. Depois de vencido a diferença de nível, a água é conduzida por gravidade para toda a parcela monitorada. A captação de água no rio Ibicuí-mirim pode ser visto na figura 9.

Figura 9 – Captação de água do rio Ibicuí-mirim

Fonte: Acervo Pessoal

3.2 Estrutura hidráulica utilizada (Sistema de Automonitoramento)

Citado na revisão da literatura, os trabalhos de Lorensi (2011) e da Luz (2011), verificaram que o vertedor triangular de parede delgada apresenta boa viabilidade para o monitoramento do uso da água em lavoura orizícolas. Sendo este, uma estrutura hidráulica de baixo custo e de fácil operação. Seguindo estas indicações, para esta pesquisa adotou-se o vertedor triangular de parede delgada como estrutura de medição de vazão.

Para o pré-dimensionamento desta estrutura, determinou-se as possíveis vazões máximas de irrigação para as duas áreas monitoradas. A determinação da vazão máxima para a parcela irrigada com água proveniente da barragem (área 1), foi realizada através do teste de cubagem (método direto). Este método consistiu em estimar o volume de água que passa pela tubulação da barragem (com o registro aberto em seu estágio máximo) em um determinado tempo. Para isso, utilizou-se um reservatório de volume conhecido, onde foi determinado o tempo para preencher

completamente este volume. Esse processo teve algumas repetições de forma a diminuir possíveis erros na estimativa de vazão.

A vazão máxima determinada pelo método direto, para este caso foi de 72 L s^{-1}. A determinação teve o acompanhamento do proprietário da área, pois possui experiência na irrigação da lavoura, e desta forma contribuiu para que a vazão máxima determinada seja fidedigna a utilizada na irrigação.

Na outra lavoura (área 2), a determinação de vazão máxima realizou-se pela especificações técnicas da bomba axial utilizada para irrigação. Como pode ser visto na figura 10, a capacidade de bombeamento do conjunto motobomba é de 230 m^3 h^{-1}, ou seja, uma vazão de aproximadamente 64 L s^{-1}.

Figura 10 – Capacidade máxima de bombeamento

Fonte: Acervo pessoal

De forma a atender um dos objetivos específicos da pesquisa, que constitui verificar se a implantação do automonitoramento em arranjo de irrigação com captação direta em rios ou barragens mostra-se igualmente satisfatória, vista possíveis diferenças nas dinâmicas de fluxo nos canais adutores, optou-se por utilizar um vertedor com mesmas dimensões para as duas áreas. Isso é possível, pois as vazões máximas são próximas e este tipo de vertedor apresenta boa precisão para uma faixa ampla de vazões. Tendo a estrutura iguais dimensões nos

dois arranjos de irrigação, é possível avaliar a viabilidade do automonitoramento para os dois arranjos de irrigação e a ocorrência de variações entre eles.

Sendo assim, como a área 1 apresenta a maior vazão máxima, a estrutura para medição de vazão foi dimensionada seguindo como parâmetro inicial a vazão de 72 L s^{-1}. De posse deste dado, foi verificado na tabela de dimensionamento de vertedor triangular do Manual de Hidráulica Geral, que o vertedor triangular que melhor adapta-se para esse caso é com 90° de ângulo do vértice, com carga hidráulica máxima de 32 centímetros sobre esse ângulo (LENCASTRE, 1972). Deste modo, o vertedor foi projetado partindo destas duas informações e das características das áreas a serem instaladas as estruturas.

Esta estrutura hidráulica corresponde bem o interesse da pesquisa, tendo em vista que é uma estrutura simples e possui grande precisão para vazões abaixo dos 30 L s^{-1} e boa precisão para vazões até 300 L s^{-1} com cargas hidráulicas compreendidas entre 0,06 e 0,50m (PORTO, 2004; LENCASTRE, 1972). O croqui esquemático da estrutura pode ser visto frontalmente na Figura 11 e 12.

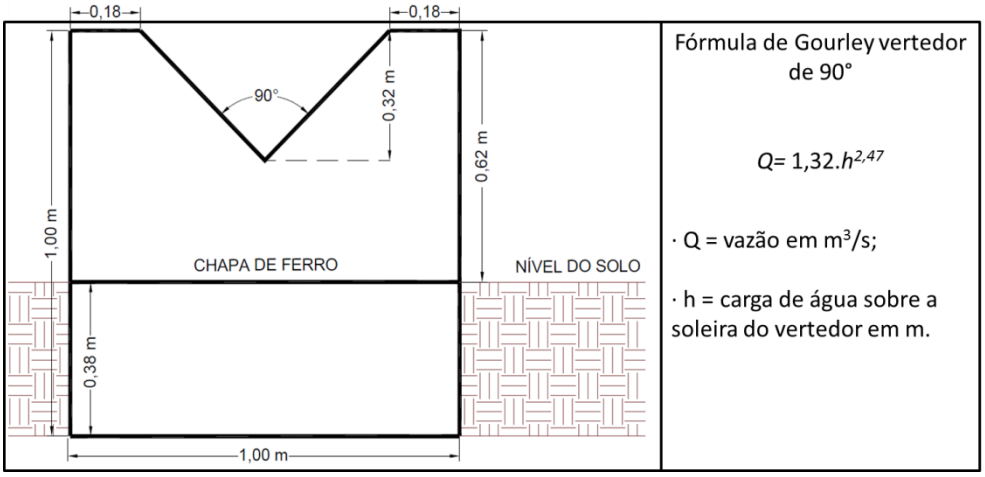

Figura 11 – Croqui vertedor triangular (α = 90°)

Figura 12 – Vertedor triangular

Fonte: Acervo Pessoal

3.3 Implantação dos Vertedores triangulares

3.3.1 Implantação do vertedor na Área 1

A água para a irrigação desta parcela é proveniente de uma barragem de terra que fica a montante da lavoura, desta forma a água é retirada através da tomada d'água da barragem, que neste caso se caracteriza por uma tubulação de concreto de 200 mm de diâmetro. A abertura, fechamento da irrigação e controle da vazão de irrigação realiza-se pelo volante do registro de descarga.

Com isso, determinou-se que a instalação do vertedor deve ser imediatamente após a tomada d'água da barragem, com intuito de não haver outra possibilidade de saída da água da barragem, exceto pelo extravasamento do vertedor.

De posse das dimensões do vertedor, realizou-se o estudo da área para a implantação da estrutura na tomada d'água da barragem. Para isso, foi necessária a

construção de um pequeno canal de alvenaria (canal artificial) de forma a estabilizar o nível da água para posteriormente passar pelo vertedor. O vertedor é engastado ao fim do canal construído, de maneira que forme uma barreira para a água e esta escoe somente pela abertura do vertedor. As dimensões do vertedor podem ser visualizadas na figura 11 do item 3.2.

Deste modo, a construção do canal foi a partir da tomada d'água do barramento, de forma a captar toda a saída de água da barragem. Esse apresenta 3,00 metros de comprimento e 1,00 metro de largura, sendo a profundidade de 0,62 metros. Assim, considerando que o vertedor apresenta 0,32 metros de altura, construiu-se o canal para ter 0,30 metros de altura de soleira, garantindo que o vertedor verteria livremente. As dimensões do sistema podem ser verificadas conforme planta baixa e planta de corte na figura 13, já o passo a passo da construção do canal artificial até o funcionamento de toda estrutura pode ser visto na figura 14.

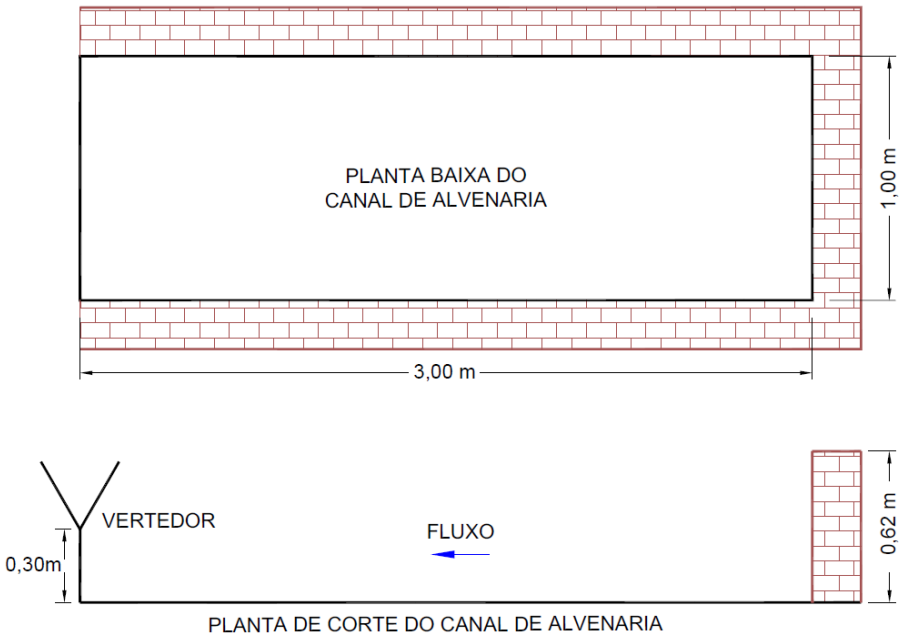

Figura 13 – Plantas do canal de Alvenaria.

Figura 14 – Passo a passo da construção da estrutura hidráulica na área 1

Fonte: Acervo Pessoal.

3.3.2 Implantação do vertedor na Área 2

A lavoura monitorada na área 2 apresenta um arranjo de irrigação caracterizado por captação direta no rio Ibicuí-mirim. Essa captação é realizada por meio de bombeamento, onde uma bomba axial é acoplada a um sistema motriz, que neste caso é um motor estacionário da marca Buffalo de 10 cv. Esse sistema, também chamado de levante foi utilizado para vencer o desnível (altura geométrica) entre o manancial de água e a área a ser irrigada. Depois de vencido o desnível, a água para irrigação é distribuída na área por gravidade.

De forma a monitorar todo o volume captado no rio Ibicuí-mirim para irrigação desta parcela, foi construída a estrutura hidráulica imediatamente na saída da tubulação de descarga da estação de bombeamento. Como citado no item 3.2, a estrutura hidráulica apresenta as mesmas dimensões para as duas áreas, a fim de, responder se o automonitoramento pode ser efetuado com a mesma metodologia para os diferentes arranjos de irrigação. Deste modo, a estrutura é representada por um canal artificial construído em alvenaria com as dimensões apresentadas na

figura 13 do subitem 3.3.1, onde ao fim deste é engastado o vertedor triangular que possui as dimensões representadas no croqui da figura 11 do item 3.2. Na figura 15, apresenta-se os passos de construção da estrutura.

Figura 15 – Passo a passo da construção da estrutura hidráulica na área 2

Fonte: Acervo Pessoal

3.4 Estruturas para determinação da carga hidráulica sobre o vertedor

A metodologia utilizada para o monitoramento de vazões através de vertedores de parede delgada consiste basicamente em determinar a carga hidráulica passante pela estrutura, ou seja, determina-se qual o nível de água que está vertendo pelo vertedor, sendo este nível medido a montante da estrutura, onde a linha de energia praticamente coincide com a superfície livre da água.

Nas duas estruturas hidráulicas instaladas, uma na área 1 e a outra na área 2, foram utilizados dois métodos para as medições da carga hidráulica. Um desses métodos caracteriza-se pelo monitoramento do nível da coluna d’água através de

réguas graduadas. As réguas foram instaladas a montante dos vertedores e o zero delas coincide com os vértices dos ângulos dos vertedores, de modo que qualquer carga hidráulica que passe pelas estruturas possa ser medida.

Além da régua, foram instalados sensores automáticos de nível da marca SOLINST® para realizar as medições do nível de água que está vertendo pelos vertedores. Os equipamentos utilizados são do tipo transdutor de pressão, onde o equipamento "Levelogger Junior" Modelo 3001, registra a pressão atmosférica mais a pressão da coluna de água onde ele está submerso (UFSM/FINEP, 2012). Este equipamento trabalha juntamente com outro sensor, o "Barologger Gold" que faz a compensação da pressão atmosférica do local. Ambos realizam, além da leitura dos dados, o armazenamento destes por meio da utilização de dataloggers.

Através de um software próprio do equipamento fornecido pelo fabricante, é possível efetuar a compensação da pressão atmosférica, o que resulta no dado compensado, ou seja, valores exclusivamente da pressão referente à coluna de água que está passando pelo vertedor (UFSM/FINEP, 2012; LUZ, 2011; BAUMHARDT et al, 2011).

O uso destes equipamentos é realizado de maneira simples. Os sensores de nível (Levelogger) foram fixados nos canais a montante dos vertedores (seguindo as normas para este tipo de estrutura hidráulica) de forma que não ocorra deslocamento da posição original. Neste caso, os sensores de nível foram instalados e fixados dentro de canos de PVC, com alguns orifícios, para que assim sirva como um "poço tranquilizador", protegendo os sensores da turbulência da lâmina líquida de água, aumentando a precisão da leitura dos dados pelos sensores. Além disso, assim como as réguas, estes sensores foram instalados de forma que fiquem nivelados com os vértices dos ângulos dos vertedores. Os sensores que estimam a pressão atmosférica (Barologger) foram fixados em árvores próximos as estruturas hidráulicas. Na figura 16, pode ser verificada a ilustração das estruturas para a determinação da carga hidráulica que passa pelo vertedor.

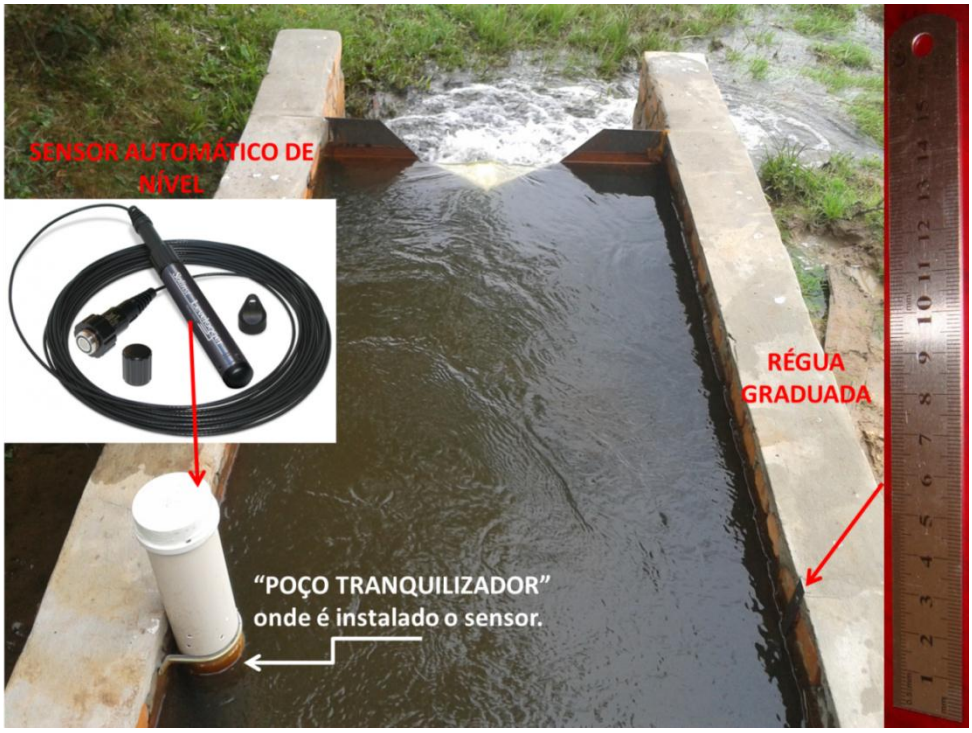

Figura 16 – Ilustração da instalação da Régua e Sensor automático de nível

Fonte: Acervo Pessoal

3.5 Aferição das Estruturas de Automonitoramento

Conforme descrito no item 3.2 o vertedor triangular utilizado na pesquisa apresenta um ângulo de abertura de 90 °. Sendo assim, a vazão é calculada por meio da fórmula de *Gourley* específica para vertedores com α = 90°. A fórmula está representada pela equação 2 visualizada a seguir.

$$\alpha = 90° \rightarrow Q = 1{,}32\, h^{2{,}47} \qquad (2)$$

Onde: α é o ângulo do vértice, Q é a vazão ($m^3\ s^{-1}$) e h é a carga sobre o vértice (m).

Para ter maior confiança nos resultados obtidos, realizou-se a calibração dos vertedores, de forma a determinar a equação ou confirmar a utilização da equação disponível na bibliografia para vertedores triangulares de 90°, os quais foram

instalados em ambas as áreas monitoradas. A calibração foi realizada utilizando o método volumétrico, este método consiste na cronometragem do tempo que um recipiente com volume conhecido (caixa 100 litros) leva para ser preenchido, determinando-se a vazão que está passando pelo vertedor no momento da realização do teste. Para a obtenção de um maior número de valores de vazões testados, as medições foram realizadas com diferentes cargas hidráulicas, logo, com diferentes vazões.

Para essa calibração foram realizadas seis medições de vazão na área 1 e quatro medições de vazão na área 2, com cinco repetições em cada medição, com o intuito de aumentar a precisão dos valores coletados. Depois de cada teste, foi calculada a média aritmética das cinco repetições para determinação do valor médio de vazão. Os valores obtidos com as medições volumétricas em cada área foram plotados em gráficos, juntamente com os valores de vazão encontrados por meio da equação do vertedor triangular de 90º, disponível na bibliografia, para os valores de cota que o vertedor apresentava no momento de cada medição de vazão.

Sendo assim, as tabelas 2 e 3 mostram os valores obtidos nas medições de campo e aqueles determinados pela equação pré-definida, para cada cota observada nos dois vertedores da pesquisa.

Tabela 2 – Comparação dos valores de vazão medidos e calculados para o vertedor triangular de 90º da Área 1

Cota (cm)	**Vazão (L/s)**		**Desvio Padrão**
	Medida	**Equação**	
21,00	27,90	27,95	0,04
20,30	25,41	25,71	0,21
20,00	22,96	24,78	1,29
17,80	16,65	18,58	1,37
13,10	8,06	8,71	0,46
5,30	0,66	0,93	0,19

Tabela 3 – Comparação dos valores de vazão medidos e calculados para o vertedor triangular de 90º da Área 2

Cota (cm)	Vazão (L/s) Medida	Equação	Devio Padrão
21,50	25,60	29,63	2,84
16,50	13,61	15,41	1,27
12,50	7,17	7,76	0,42
11,00	4,64	5,66	0,72

Nos gráficos das figuras 17 e 18 apresentam, no eixo X, valores de vazão em L/s e, no eixo Y, valores de cota em centímetros. Em vermelho, está representada a curva da equação 4 do vertedor triangular de 90º, de paredes delgadas, determinada por Gourley e Crimp, citado em Lencastre (1972) e os pontos em azul mostram os valores resultantes das medições de vazão realizadas a campo. A figura 19 demonstra a calibração dos vertedores das duas áreas, assim como mostra o recipiente de cem litros utilizado para a cubagem.

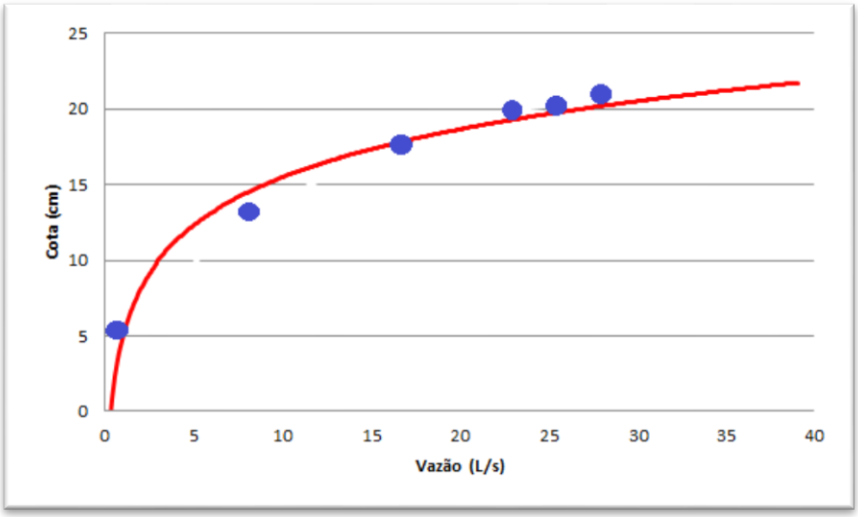

Figura 17 – Curva de aferição da equação do vertedor com os valores obtidos pelo método volumétrico para Área 1

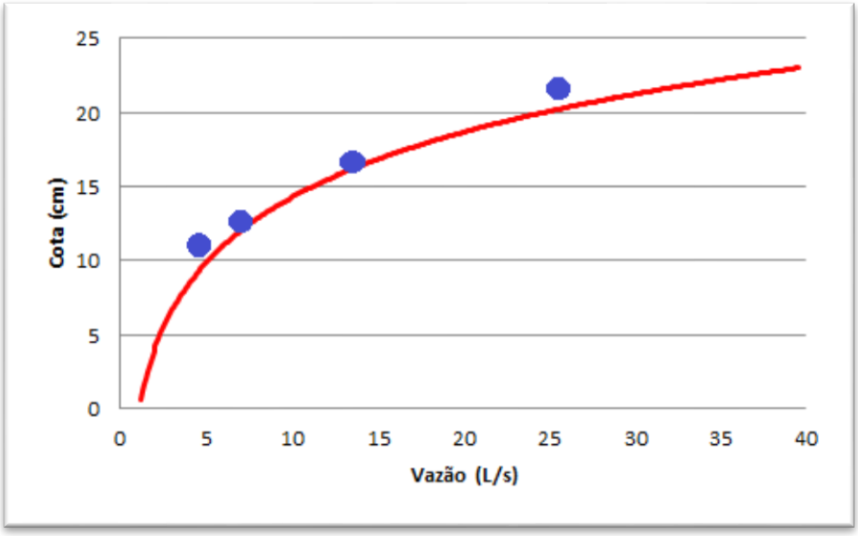

Figura 18 – Curva de aferição da equação do vertedor com os valores obtidos pelo método volumétrico para Área 2

Figura 19 – Teste de medição volumétrica de vazão

Analisando os gráficos das figuras 17 e 18, juntamente com os dados das tabelas 2 e 3, concluiu-se que as medições realizadas a campo seguiram a mesma tendência das curvas dos gráficos que representam a equação 4 encontrada na bibliografia para o vertedor triangular de 90°, desta maneira essa equação pode ser utilizada como curva-chave das estruturas hidráulicas instaladas nas duas áreas monitoradas.

3.6 Implantação da Calha Parshall

Na área 1 o manejo de água da lavoura apresenta outra entrada de água além da monitorada pelo vertedor. Desta forma, com a finalidade de contabilizar o volume total de água demandado pela cultura orizícola nesta área, foi instalada uma Calha Parshall na entrada de água secundária.

Para o controle da vazão e assim contabilização do volume de contribuição desta complementação de irrigação, em conjunto com a Calha Parshall instalou-se um sensor automático de nível para monitorar a carga hidráulica que passa pela estrutura, este por sua vez, apresenta o mesmo funcionamento e metodologia descrita no item 3.4. O que difere dos sensores instalados nos vertedores é sua fixação na estrutura, que neste caso é dentro de um cano PVC, que possui comunicação com a calha através de um orifício com rosca, funcionando assim como um vazo comunicante. De forma que, o nível da água dentro da estrutura é o mesmo que o do cano. Toda estrutura usada na contabilização do volume de água disponibilizado para lavoura através desta segunda tomada de água, pode ser visualizada na figura 20 a seguir.

Figura 20 – Ilustração da Calha Parshal e sensor automático de nível

Fonte: Acervo pessoal

A calha visualizada na figura anterior é fabricada pela empresa Incontrol®, sendo assim apresenta características de construção seguindo a norma NBR/ISO9826:2008. A curva chave desta estrutura encontra-se no manual de instalação e operação da empresa fabricante e é definida pela equação 3 a seguir.

$$Q = 0{,}561\, h^{1{,}513} \tag{3}$$

Onde: Q é a vazão ($m^3\ s^{-1}$) e h é a carga sobre o vértice (m).

3.7 Pluviometria

Para a quantificação da entrada de água nas áreas monitoradas por precipitação pluviométrica, foram realizadas medições sistemáticas de precipitação por meio da utilização de pluviômetro. O pluviômetro instalado foi do modelo Ville de Paris, conforme mostra a figura 21, pois este é considerado como padrão e é utilizado na maioria das estações meteorológicas nacionais.

Figura 21 – Pluviômetro Ville de Paris

Fonte Acervo pessoal.

Este pluviômetro foi instalado próximo às áreas monitoradas, de maneira que as medições realizadas sejam representativas paras as duas parcelas de arroz irrigado. Além disso, era localizado em local de fácil acesso para o monitoramento das precipitações por parte do proprietário da área, que ficou responsável pelas anotações.

Para a instalação seguiu-se as sugestões de Furtado e Konig (2008) que são:

- o pluviômetro deve ser instalado de maneira a receber toda a precipitação, independente de sua direção, sem que ocorra obstrução;
- qualquer possível obstáculo deve ficar afastado a uma distância de pelo menos duas vezes a altura de instalação do pluviômetro;
- deve-se evitar instalá-los em terrenos fortemente inclinados, principalmente em encostas voltadas para a direção predominante dos ventos;
- a borda do aro superior (superfície de recolhimento) deve estar nivelada a 1,50m do solo;
- o instrumento deve ser fixado por braçadeiras próprias a uma estaca suporte, rigidamente fixadas ao solo;
- o acesso ao pluviômetro deve ser possível em qualquer época do ano e em quaisquer condições;
- durante a instalação e posteriormente durante o monitoramento, deve-se verificar a integridade do instrumento.

Medidas as precipitações, essas são relacionadas com as áreas das parcelas para a determinação do volume de água gerado pelas chuvas que contribui para a irrigação. Desta maneira, realizando-se o somatório da água irrigada com a água precipitada, e subtraindo o volume drenado superficialmente (caso houvesse saída de água), obtém-se o volume total demandado para o cultivo.

3.8 Monitoramento sistemático das vazões

Como foi visto no item 3.4 a metodologia utilizada para o monitoramento de vazões através de vertedores de parede delgada consiste basicamente em determinar a carga hidráulica passante pela estrutura. Neste estudo utilizou-se dois

métodos para essa determinação, a régua graduada para anotações manuais e sensores automáticos de nível para o monitoramento contínuo das vazões. O detalhamento de como foi realizado o monitoramento das vazões pelos dois métodos seguem nos tópicos a seguir.

3.8.1 Sensores Automáticos de Nível

Os sensores automáticos de nível instalados nas estruturas hidráulicas das áreas 1 e 2 foram programados para determinar a carga hidráulica que está passando pelo vertedor, em intervalos de cinco minutos. A mesma programação foi realizada para a calha instalada na segunda entrada de água da área 1. Depois de determinadas as alturas da lâmina de água, aplicam-se estes valores em uma equação chamada de curva chave. Para os vertedores utilizados nas duas áreas, a curva chave é definida pela equação 2 apresentada no item 3.5, para a calha a curva chave é representada pela equação 3 no item 3.6.

O resultado da resolução desta equação representa a vazão que está passando no vertedor no momento da leitura realizada, ou seja, a vazão correspondente para aquela altura de lâmina de água.

Para calcular o volume utilizado em cada dia de irrigação nas diferentes estruturas, leva-se em conta o tempo de irrigação de cada dia. Como os sensores de nível foram programados para realizar leituras de cinco em cinco minutos, apresentam-se diversas leituras para cada dia de irrigação. Dessa maneira, foi montada uma tabela para cada dia de irrigação, com todos os dados para o cálculo do volume, onde definiu-se as vazões no eixo das ordenadas e o tempo no eixo das abscissas. Deste modo, foi obtida uma curva e a área entre esta curva e o eixo das abscissas representa o volume total do período de irrigação. Para o cálculo deste volume, foi usado o método dos trapézios, onde a área total foi dividida em diversos trapézios, calculando-se o volume de cada trapézio e por fim somou-se estes volumes, chegando ao volume total de cada dia. A organização deste cálculo pode ser observado na tabela 4 a seguir, que refere-se a um dos dias de irrigação.

Sendo assim o volume total estimado para cada dia de irrigação, pelo método dos trapézios, nos vertedores, é considerado o volume real de irrigação daquele dia.

Para a calha, o volume total estimado de cada dia serviu para a contabilização do volume total de água que foi utilizado na entrada secundária da área 1, de forma que este volume, somado ao volume do vertedor e ao volume da precipitação, define a demanda total de água da cultura orizícola nesta área. Já na área 2, o volume total foi definido pelo somatório do volume estimado pelo vertedor e o volume precipitado. Os procedimentos de cálculo do volume real para cada dia foram realizados separadamente para cada estrutura e área monitorada (área 1 e área 2).

Tabela 4 – Exemplo da estimativa do volume total do vertedor para o dia 26/11/13 pelo método dos trapézios para área 1

Data	**Hora**	**Nível/Água (m)**	**Vazão ($m^3\ s^{-1}$)**	**Volume (m^3)**
22/12/13	00:00	0,231	0,035	
22/12/13	00:05	0,231	0,035	10,660
22/12/13	00:10	0,231	0,035	10,683
22/12/13	00:15	0,232	0,035	10,692
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
22/12/13	23:30	0,231	0,035	10,589
22/12/13	23:35	0,229	0,035	10,528
23/12/13	00:00	0,227	0,034	10,311
			Volume Total	**3003,025**

3.8.2 Régua Graduada

A determinação da carga hidráulica através da leitura do nível nas réguas graduadas foi realizada pelo proprietário da lavoura, o qual recebeu orientações de como fazer a determinação da altura da lâmina de água que passa pelos vertedores, anotando os dados em uma planilha de campo para cada área.

A determinação manual do nível através da régua foi realizada em todos os dias que houve irrigação, com duas medições diárias, nas duas áreas monitoradas. Na planilha de campo, ele anotava o horário da avaliação e o nível que estava na régua. Estes dados anotados foram passados para planilhas eletrônicas tipo Excel,

que podem ser visualizadas nos apêndices A e B, a fim de os dados serem trabalhados, para posteriormente passarem por análises estatísticas da pesquisa.

De maneira a informar a rotina de irrigação, o proprietário anotou na planilha de campo os horários de abertura e fechamento da irrigação, assim como os registros de aumento ou diminuição na vazão de irrigação. Nos dias em que houve fechamento ou abertura de irrigação, de modo que não houve 24 horas de irrigação, determina-se o tempo irrigado nesse dia através do horário anotado nas planilhas de campo.

Com os dados levantados pelo produtor, calculou-se o volume irrigado para cada dia de irrigação. O cálculo foi efetuado da seguinte maneira: as duas medições de carga hidráulica, definidas pela leitura nas réguas graduadas são aplicadas a curva chave dos vertedores, que é determinada pela equação 2 do item 3.5, obtendo as vazões relativas as cargas hidráulicas definidas pela leitura nas réguas; feito isso realiza-se a média aritmética dos dois valores de vazão obtidos, a fim de, determinar a vazão média de cada dia. Essas vazões são multiplicadas pelo tempo de irrigação de cada dia, obtendo dessa forma a volume irrigado diariamente. Para obter o volume total irrigado, bastou realizar o somatório de todos os volumes diários estimados.

3.9 Análise dos dados

Para realizar a análise estatística, os dados foram digitados e organizados em uma planilha eletrônica tipo Excel. Para determinar se apenas duas leituras diárias são o número ideal de medições e podem representar todas as leituras efetuadas pelo sensor (que determinam o volume real de irrigação), foram realizados, para cada dia do período de irrigação, cem sorteios com os dados de vazões obtidos pelos sensores automáticos, os quais aleatoriamente definiram duas vazões, realiza-se então a média aritmética destas duas vazões, de forma a definir uma vazão média diária para cada sorteio. Após este procedimento, com o valor do tempo de irrigação de cada dia foi calculado o volume de água irrigado para cada sorteio.

Com estes resultados, foi calculada a média dos volumes encontrados nos cem sorteios com duas medições, isto feito nos oitenta e três (83) dias de dados.

Além disso, encontrou-se o valor mínimo e máximo para cada dia, o desvio padrão, a variância, o coeficiente de variação e o intervalo de confiança de 95% para a média, para cada dia. Após estes procedimentos, para cada dia realizou-se o teste paramétrico t de Student para uma média para comparar o volume real e a média dos sorteios. Este teste é descrito em Devore (2006).

Neste teste, comparou-se a média dos volumes sorteados com o volume real estimado pelo método dos trapézios referido no item 3.8.1. Esta comparação é a principal análise deste estudo, já que com ela é possível verificar se duas medições de vazões são suficientes para estimar o volume de água gasto em um período de irrigação e se apresenta resultados que não diferem significativamente do volume real utilizado. Para definir se estes resultados diferem ou não, foram estudadas duas hipóteses estatísticas. A primeira é a hipótese nula, de maneira que se esta hipótese for aceita, a diferença não é significativa, ou seja, a média dos sorteios não difere do valor real. A segunda é a hipótese alternativa, que é aceita se a primeira hipótese for recusada. Ela define que a média dos sorteios difere do volume real. Para definir qual hipótese foi aceita, compara-se o "p-valor" definido no teste paramétrico t de student com o nível de significância escolhido, que neste caso foi de 0,05. Logo se o p-Valor for superior a 0,05 não rejeita-se a hipótese nula, e se for igual ou menor que o nível de significância rejeita-se a hipótese nula, definindo então que a hipótese alternativa é a mais próxima da verdadeira.

O p-valor é a probabilidade da média estar ou não dentro do intervalo de confiança, assim ele representa o nível de significância que se obtém da amostra.

Além desta análise principal, realizaram-se outras duas análises. Concomitantemente com os dados coletados pelos sensores, houve a anotação manual dos níveis dos canais nos dias de irrigação através da régua com frequência de duas leituras por dia. Logo, é possível comparar os dados manuais, que podem ser interpretados como um dos sorteios de duas medições, com as médias dos sorteios realizados através dos dados dos sensores, nesta análise foi realizado o teste paramétrico t de Student para uma média. Desta maneira, comparou-se, em cada dia de irrigação, os volumes estimados pelas duas medições manuais realizadas pelo proprietário, com a média dos volumes estimados pelos sorteios de duas vazões diárias. Com isso, pode-se determinar se as duas medições realizadas manualmente na régua, diferem significativamente da média dos sorteios, analisando então a qualidade dos dados das anotações manuais. Para definir estes

resultados foram formuladas duas hipóteses estatísticas e estas analisadas da mesma forma que analisou-se na primeira comparação citada anteriormente.

Por fim, obteve-se a média dos dados dos oitenta e três dias para os volumes reais, para as médias dos sorteios e para os dados manuais. Assim, com essas informações foram realizadas comparações, realizadas duas a duas, porque o conjunto de dados não representa um experimento e sim comparações entre os volumes estimados por diferentes metodologias. Estas comparações também foram realizadas pelo teste paramétrico t de Student com nível de significância de 0,05. Mais uma vez definiu-se duas hipóteses: a hipótese nula de que as duas médias não diferiam e a hipótese alternativa de que elas apresentavam diferença, para não rejeitar ou rejeitar estas usou-se o p-valor.

A descrição da análise dos dados acima foi realizada para as duas áreas monitoradas na pesquisa.

3.10 Definição do volume Outorgado para área da pesquisa

Os recursos hídricos utilizados para irrigação na área da pesquisa estão, em domínio do estado do Rio Grande do Sul, e seus usos alteram as condições quantitativas, dessa forma o órgão que emitiu a outorga de uso da água foi a SEMA, através do DRH. Neste documento está outorgado o volume para a área total irrigada da propriedade em que se realizou a pesquisa, desse modo foi preciso realizar um cálculo para definir qual o volume outorgado para a área 1 e área 2. Ou de uma forma generalizada, definir o volume de água outorgado por hectare/ano para irrigação na propriedade. A portaria de Outorga dos recursos hídricos da propriedade pode ser visualizada no Anexo A.

Para o cálculo do volume por hectare/ano, realizou-se o somatório do valor da vazão média de cada ponto de captação referido na portaria de Outorga, que neste caso são quatro e multiplicou-se pelo tempo médio de irrigação considerado nas Outorgas, que é 100 dias. Com esse procedimento chegou-se ao volume outorgado para a área total irrigada, 40 hectares. Sendo assim, para definir o volume irrigado por hectare/ano, basta dividir o volume encontrado por 40.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a discussão dos resultados referentes à definição dos volumes por meio de duas medições diárias nos níveis dos canais adutores, para as duas áreas; análise da qualidade dos dados das anotações manuais, assim como, a comparação destes resultados para os diferentes manejos de irrigação realizados nestas áreas, com a finalidade de mostrar a eficiência da metodologia utilizada nas distintas formas de captação de água para a irrigação.

Por fim, será apresentado o consumo total de água utilizado no cultivo orizícola da safra 2013/2014 em m^3 ha^{-1}. ano para as duas áreas, com a comparação dos volume encontrados pelo automonitoramento e os volumes outorgados.

Para melhor compreensão dos resultados e discussão expressos neste capítulo, foi definido o seguinte vocabulário:

Volume real – definido por meio de todos os dados diários levantados pelos sensores automáticos.

Volume médio dos sorteios – média dos volumes de 100 sorteios aleatórios de duas medições diárias levantadas por meio dos sensores automáticos de nível.

Volume estimado por duas anotações manuais – volume calculado a partir de duas anotações de nível por meio da régua graduada.

4.1 Volume definido por duas medições diárias de vazão

Neste item, apresenta-se os resultados das análises utilizando duas leituras diárias da carga hidráulica sobre os vertedores para estimar o volume real da água utilizada para irrigação de arroz, para verificar a aplicabilidade da metodologia proposta para a medição de vazão.

Os resultados dos testes serão expostos em dois tópicos com os resultados da área 1 e os da área 2.

4.1.1 Resultados Área 1

A irrigação nesta área teve seu início no dia 26 de novembro de 2013, 20 dias após a semeadura da cultura seguindo os padrões definidos por EMBRAPA (2005), já a supressão da irrigação ocorreu no dia 17 de março de 2014. Entre esse período a irrigação não aconteceu em todos os dias, uma vez que a técnica de manejo de irrigação, utilizada pelo produtor, foi a intermitente. Esta técnica ocorre onde os suprimentos de água à lavoura são realizados em intervalos irregulares (SILVA; PARFITT, 2005).

Desta forma, durante o ciclo da cultura ocorreram cinco períodos de irrigação, totalizando 83 dias. Como citado na metodologia, para cada um dos dias de irrigação realizou-se o teste paramétrico t de Student para uma média, com intuito de comparar o volume real e a média dos sorteios. Parte dos resultados obtidos nas comparações dos volumes reais com as médias dos sorteios de duas medições diárias, utilizando vertedores como estruturas medidoras de vazão em canais de irrigação, podem ser visualizadas na tabela 5. Já as análises para todos os dias são apresentados no apêndice C.

Na tabela 5 estão exibidas as datas que houve irrigação; as médias dos volumes dos sorteios para cada dia; o desvio padrão das médias; o número de sorteios; os intervalos de confiança; o volume real de cada dia, definido com todos os dados dos sensores automáticos conforme o item 3.8.1 e o p-Valor, que demonstra se houve diferença significativa ou não na comparação entre a média dos sorteios e o volume real em cada dia.

Tabela 5 – Resultados da comparação das médias dos sorteios com o volume real área 1.

Data	Média Volume (m³)	Desvio Padrão	N° de Sorteios	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Volume Real (m³)	p-Valor
26/11/13	631,369	18,926	100	627,614	635,124	634,587	0,092
27/11/13	1283,080	66,959	100	1269,794	1296,366	1282,267	0,904
28/11/13	1321,349	15,868	100	1318,201	1324,498	1320,168	0,458
29/11/13	1316,130	16,610	100	1312,834	1319,426	1316,588	0,784
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
12/03/14	503,279	25,932	100	498,134	508,425	501,677	0,538
13/03/14	532,761	10,670	100	530,644	534,878	534,508	0,105
14/03/14	499,427	14,890	100	496,457	502,397	501,438	0,182
15/03/14	428,073	13,489	100	425,396	430,749	429,429	0,317
16/03/14	368,551	7,646	100	367,034	370,068	369,676	0,145
17/03/14	209,832	7,945	100	208,256	211,408	210,435	0,450

- IC = Intervalo de Confiança

Para a melhor visualização da comparação das médias dos volumes dos sorteios com o volume real de cada dia, montou-se um gráfico para cada período de irrigação. Como forma de padronizar os dados para plotagem nestes gráficos, realizou-se a divisão dos valores de volume médio dos sorteios, volume real, volume do IC (-95%) e volume do IC (+95%) pelo valor do volume real de cada dia. Com isso, o valor real de cada dia que serve como referência para a comparação das médias dos sorteios, ficam com o valores igual a 1. Os intervalos de confiança variam de 0,957 a 1,044 e as médias dos volumes dos sorteios oscilam entre 0,995 e 1,006.

Podemos analisar através destes gráficos, intervalos de confiança relativos representados pelas linhas verticais em preto e o valor das médias dos volumes sorteados definidos pelos pontos em laranja, para cada dia. A linha traçada em vermelho que passa pelo valor 1, apresenta-se como a linha de tendência dos valores reais (referência para comparação das médias dos sorteios), uma vez que os valores reais de cada dia foram divididos por eles mesmos.

Considerando os valores de p-Valor obtidos na analise estatística, pode-se afirmar que não ocorre diferença significativa dos volumes estimados por duas medições diárias com o valor real, quando nos gráficos, os intervalos de confiança

correspondentes a cada dia de irrigação cruzarem com a linha traçada em vermelho dos valores reais. Isto é, quando o valor 1 estiver inserido no intervalo de confiança.

Os gráficos dos cinco períodos de irrigação estão apresentados a seguir (Figuras 22 a 26), através destas ilustrações observa-se que em todos os dias em que houve irrigação, os intervalos de confiança referentes às médias dos sorteios de duas medições diárias, passam pela a linha de referência com valor 1, ou seja, para os oitenta e três dias de irrigação não houve diferença significativa dos volumes estimados por duas medições diárias com o valor real, a um nível de significância de 0,05.

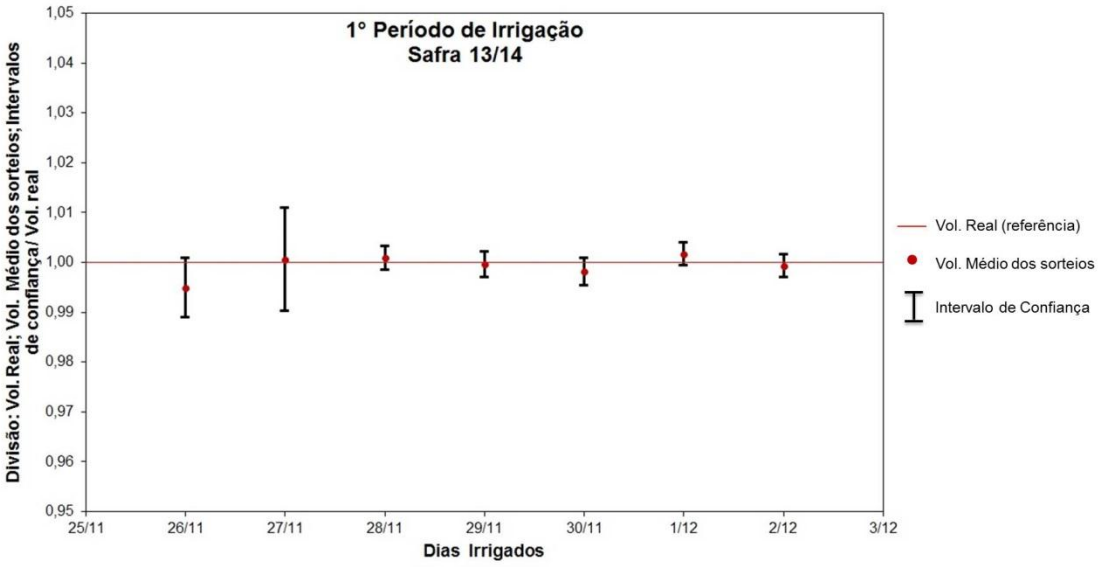

Figura 22 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 1° período de irrigação (26/11/13 a 02/12/13)

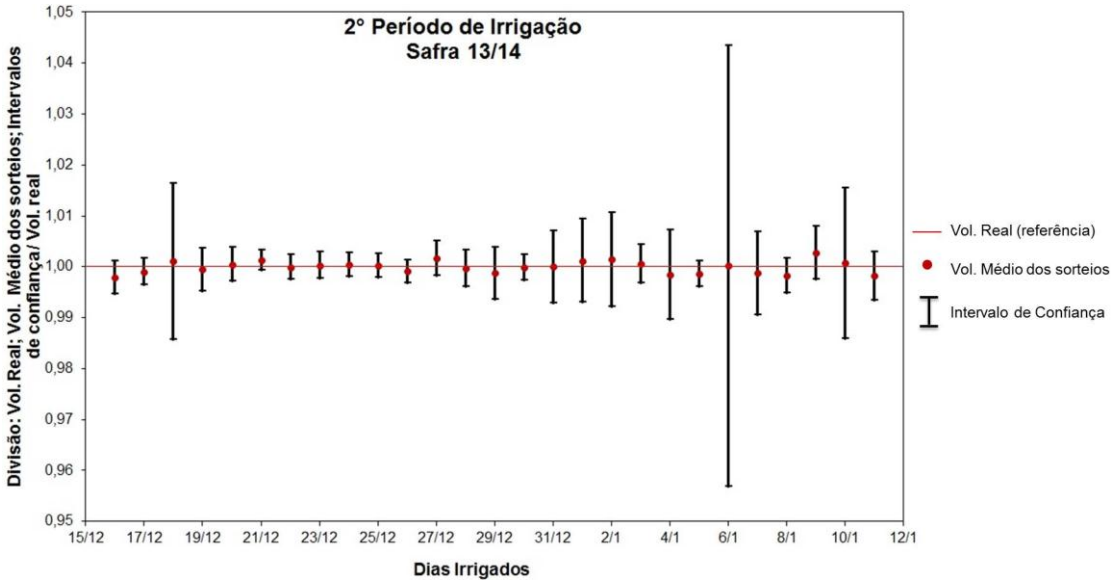

Figura 23 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 2° período de irrigação (16/12/13 a 11/01/14)

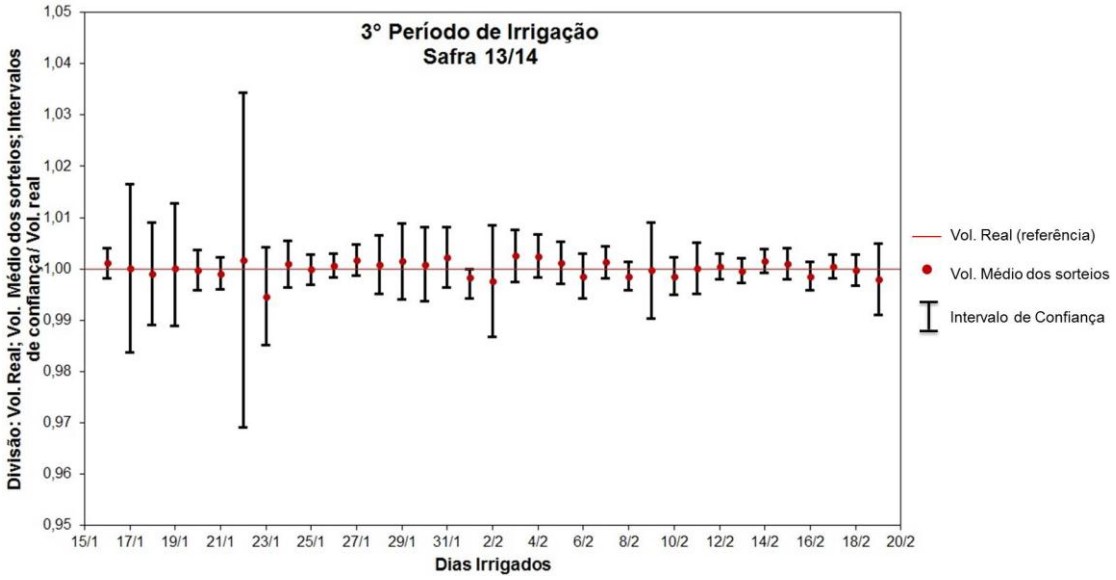

Figura 24 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 3° período de irrigação (16/01/14 a 19/02/14)

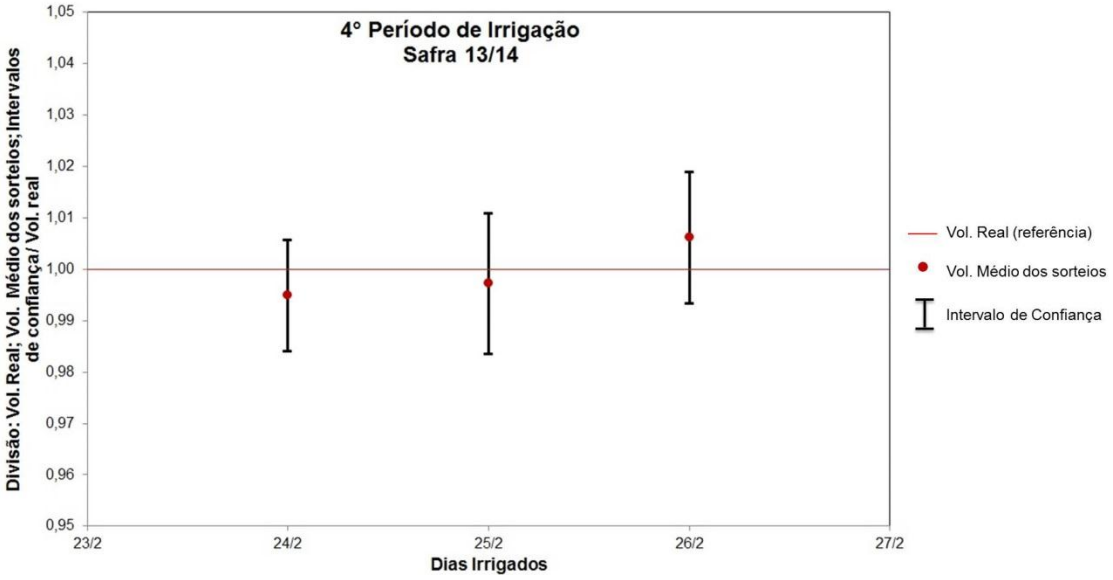

Figura 25 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 4° período de irrigação (24/02/14 a 26/02/14)

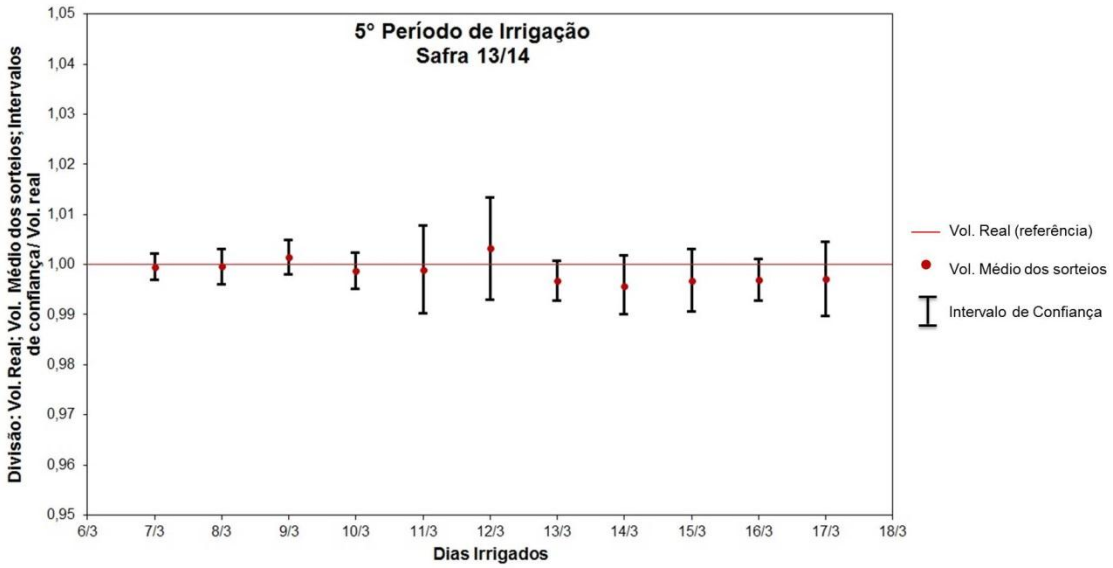

Figura 26 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, 5° período de irrigação (07/03/14 a 17/03/14)

Estes resultados demonstram que duas medições diárias dos níveis, nos canais adutores com água proveniente de reservatório e utilizando como estrutura hidráulica o vertedor triangular, são suficientes para estimar o volume real utilizado.

O grande questionamento que se tinha referente à definição da quantidade de medições diárias era a variação dos níveis nos canais. Essa variação ocorre e pode

ser identificada (Figuras 22 a 26) nos intervalos de confiança, de maneira que quanto maior a diferença do IC positivo para o IC negativo, maior foi essa variação diária, mas como visto pela análise estatística, não interfere significativamente na definição do volume utilizado com apenas duas medições.

A maior variação nos níveis dos canais ocorreu no dia 06/01/2014 (Figura 23) e dia 22/01/2014 (Figura 24) e pode ser analisada separadamente, já que se tratam de casos isolados dentro do conjunto de dias em que ocorreu irrigação. A variação dos níveis nos canais, nesses dois dias, pode ser explicada por algum represamento ocorrido no canal adutor, uma vez que os dias anteriores e posteriores a estas datas não demostraram grande variações nos canais. Analisando os dados destes dias constatou-se aumento no nível do canal por um curto espaço de tempo, e depois o nível voltou a estabilizar, sendo um indicativo de que pode ter ocorrido uma obstrução por algum objeto (animal, pedaços de madeira ou galhos) no vertedor, ocasionando o represamento no canal adutor. Esses dados atípicos das séries monitoradas poderiam ser excluídos e os volumes destes dias refeitos. Mas como o represamento pode ocorrer no dia a dia da lavoura, optou-se por não excluí-los.

Ainda assim, as variações destes dias não influenciaram significativamente na determinação do volume, demostrando que mesmo que ocorram certas variações no nível do canal durante o dia, estas não interferem significativamente na determinação do volume demandado.

Segundo SOSBAI (2010), as dimensões e revestimento dos canais e localização da fonte de captação influenciam na demanda de água requerida pela cultura. Por esse motivo, destaca-se que os resultados obtidos valem para as características desta pesquisa, onde não existe influência da perda de água nos canais de irrigação e a fonte de captação é imediatamente a montante ao monitoramento, características que auxiliam a manter a vazão bastante uniforme durante o período de irrigação. Sendo assim, a realização de duas medições diárias nestas circunstâncias apresentou uma boa representação do todo.

Outro motivo que explica a boa eficiência da determinação do volume total por apenas duas medições, são a qualidade dos dados levantados. A análise foi realizada com os dados dos sensores automáticos de nível da marca SOLINST®, que possui uma boa precisão (0,1% F.S) na determinação dos níveis, esse tipo de sensor já foi utilizado em outras pesquisas para estimar vazão em vertedores, como a de Horn (2012); Luz (2011); Baumhardt (2010), comprovando sua eficiência. Além

da boa precisão do sensor, a instalação em um “poço tranquilizador” aumenta a acurácia dos dados, uma vez que, diminui a influência da correnteza no fluxo de água do canal, determinando a real carga hidráulica sobre o vertedor.

4.1.2 Resultados área 2

Nesta área, a irrigação teve início no dia 03 de janeiro de 2014, vinte e quatro dias após a semeadura da cultura, intervalo dentro do ideal indicado por EMBRAPA (2005) e a supressão da irrigação, ocorreu no dia 10 de março de 2014. O manejo da irrigação apresentado é o mesmo da área 1, caracterizado pelo suprimento de água à lavoura em intervalos irregulares. Desta maneira foram 8 períodos de irrigação com dois dias consecutivos de aporte de água para a lavoura, totalizando 16 dias irrigados.

Da mesma forma que na área 1, para cada um dos dias de irrigação realizou-se o teste paramétrico t de Student para uma média, com intuito de comparar o volume real e a média dos sorteios. Os resultados obtidos nas comparações dos volumes reais com as médias dos volumes dos sorteios de duas medições diárias podem ser visualizados na tabela 6.

Nessa tabela estão exibidas as datas que houve irrigação; as médias dos volumes dos sorteios para cada dia; o desvio padrão das médias; o número de sorteios; os intervalos de confiança; o volume real de cada dia, definido com todos os dados dos sensores automáticos conforme o item 3.8.1 e o p-Valor, que demonstra se houve diferença significativa ou não na comparação entre a média dos sorteios e o volume real em cada dia.

Tabela 6 – Resultados da comparação das médias dos sorteios com o volume real área 2

Data	Média Volume (m³)	Desvio Padrão	N° de Sorteios	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Volume Real (m³)	p-Valor
03/01/2014	1572,114	70,160	100	1558,193	1586,036	1584,916	0,071
04/01/2014	2500,569	120,972	100	2476,565	2524,572	2504,210	0,764
09/01/2014	639,275	27,526	100	633,814	644,737	637,499	0,520
10/01/2014	814,759	27,524	100	809,298	820,221	812,161	0,347
22/01/2014	588,949	17,553	100	585,466	592,432	593,149	0,019
23/01/2014	704,324	113,399	100	681,823	726,825	719,947	0,171
27/01/2014	624,004	14,450	100	621,137	626,871	624,707	0,628
28/01/2014	1691,145	60,854	100	1679,070	1703,220	1686,787	0,476
03/02/2014	1815,467	116,668	100	1792,318	1838,617	1827,150	0,319
04/02/2014	873,789	95,346	100	854,870	892,708	885,778	0,212
11/02/2014	796,070	27,729	100	790,568	801,572	796,062	0,998
12/02/2014	595,267	67,345	100	581,905	608,630	608,630	0,050
18/02/2014	1764,403	59,519	100	1752,593	1776,213	1760,886	0,556
19/02/2014	714,983	66,191	100	701,850	728,117	714,359	0,925
09/03/2014	1595,552	50,101	100	1585,611	1605,493	1587,756	0,123
10/03/2014	1127,240	22,419	100	1122,791	1131,688	1121,509	0,012

- IC = Intervalo de Confiança

Da mesma maneira que na área 1, para melhor visualização da comparação das médias dos volumes dos sorteios com o volume real, plotou-se um gráfico com todos os períodos de irrigação (Figura 27). A padronização dos dados seguiu os mesmos critérios da outra área da pesquisa, sendo assim, o valor real de cada dia os quais servem como referência para a comparação das médias dos sorteios, ficam com o valor igual a 1. Neste caso os intervalos de confiança variam de 0,947 a 1,019 e as médias dos volumes dos sorteios oscilam entre 0,978 e 1,005.

Para analisar os dados da figura 27, definiu-se que não há diferença significativa dos volumes estimados por duas medições diárias com o valor real quando os resultados de p-Valor superam o nível de significância adotado de 0,05, está constatação é verificada no gráfico, quando os intervalos de confiança correspondentes a cada dia de irrigação cruzarem com a linha traçada em vermelho dos valores reais. Isto é, quando o valor 1 estiver inserido no intervalo de confiança.

Analisando a tabela 6, observa-se que em dois dias de irrigação ocorreu diferença significativa entre o volume estimado por duas medições diárias e o volume real. Verifica-se isso, pois os valores do p-Valor destes dias (22/01/14 e 10/03/14) são menores que o nível de significância de 0,05, sendo assim, o volume estimado por duas medições diárias, difere estatisticamente para o nível de significância adotado na pesquisa. Analisando-se o gráfico da figura 27, essa constatação também pode ser identificada, uma vez que, os intervalos de confiança destes dois dias não passam pela linha de referência com o valor 1.

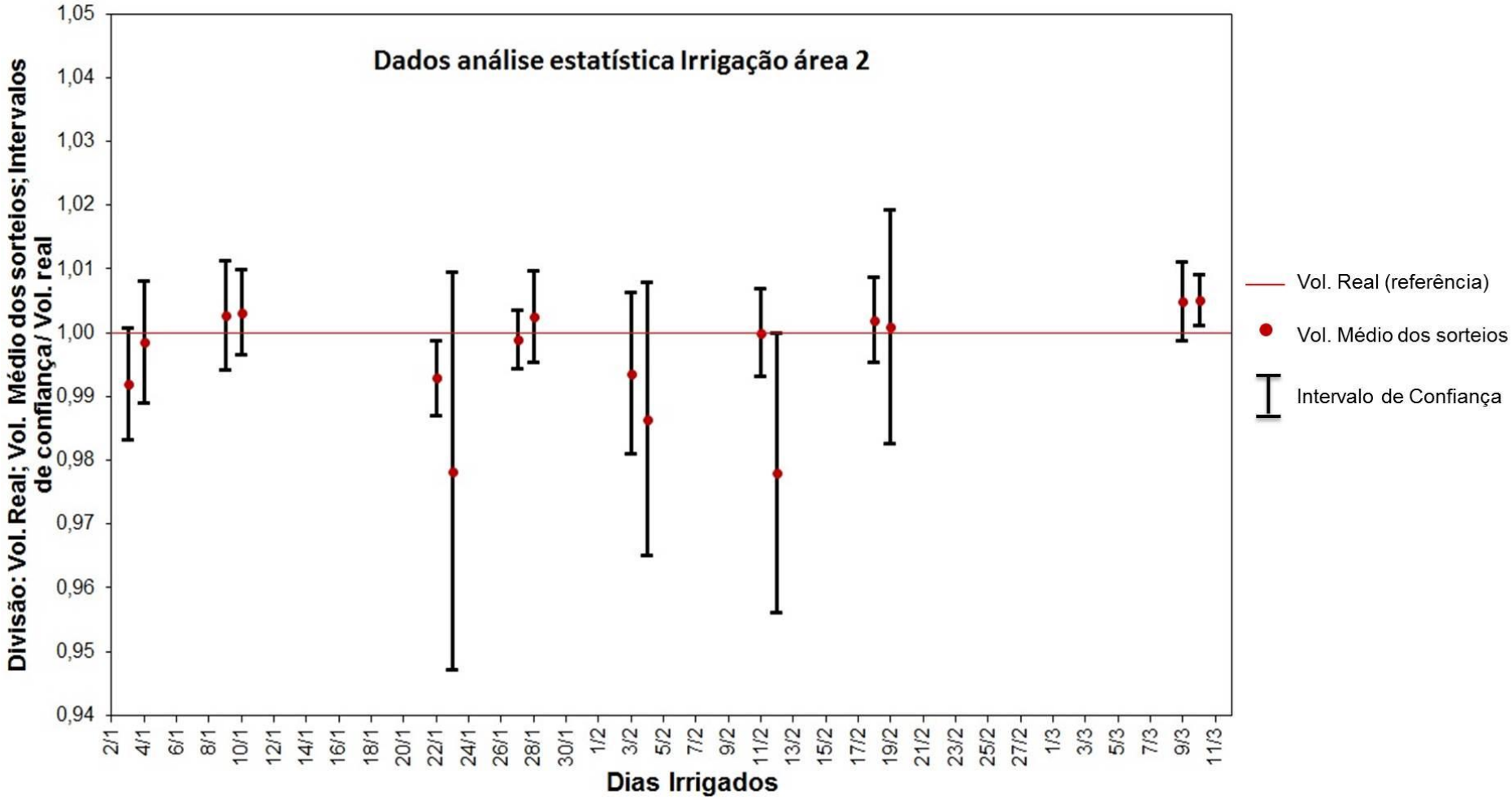

Figura 27 – Avaliação do uso de duas medições diárias para definir o volume real, área 2

Contudo, a diferença estatística encontrada não representa uma grande variação dos volumes na prática, pois a diferença encontrada para o dia 22/01/14 é de 4,2 m³ e no dia 10/03/14 de 5,7 m³, valores que representam apenas 0,71% e 0,51% do volume real de cada dia respectivamente. Com esta observação, busca-se explicar a diferença estatística encontrada da seguinte forma: na tabela 6 nota-se que o valor do desvio padrão destes dois dias é baixo, isso denota que a variação dos dados nesses dias é pequena, ou seja, ocorre pouca variação dos níveis no canal, tendo uma amostra de dados bastante homogênea. Esse fato, desvio padrão muito pequeno, faz com que uma pequena diferença no volume médio dos sorteios com relação ao volume real possa apresentar diferença estatística significativa, apesar da diferença entre os volumes ser realmente muito pequena, como indicam os percentuais citados. Por esse motivo, se pode afirmar que os volumes estimados por duas medições diárias para determinar o volume real de cada dia, para as condições do monitoramento desta área são suficientes.

Este monitoramento tem por característica o bombeamento para vencer a diferença de nível entre a fonte de captação e a área irrigada. Nesses casos, onde a fonte é um curso d'água sujeito a maiores flutuações, pode ocorrer uma maior variação do fluxo no canal adutor, já que esse tipo de sistema é dependente das características de funcionamento das bombas as quais trabalham com diferentes vazões em função das diferentes alturas manométricas. Além disso, outros fatores como tubulações mal dimensionadas, utilização de bombas de baixa eficiência, falta de manutenção, super dimensionamento de bombas, bombas mal instaladas e com baixo fator de potência, potencializam essas flutuações (OCÁCIA et al. 2002).

Referente essa constatação, se verifica na figura 27 que a vazão diária não apresenta a mesma uniformidade que a da área 1, comprovando que existe perda de eficiência nesse tipo de captação de água. A menor uniformidade pode ser verificada, uma vez que, na maioria dos dias de irrigação ocorre uma grande variação entre os intervalos de confiança nesta área. Mas ainda assim, na área 2, a utilização de duas medições por dia dos níveis nos canais é suficiente para estimar o volume real sem diferir estatisticamente para um nível de significância de 0,05, na maioria dos dias (80%).

Ainda na figura 27, visualiza-se que as médias dos sorteios que são identificados pelos pontos em laranja, apresentam uma tendência de ficar abaixo da linha de referência (valor real). Por esse motivo, plotou-se outro gráfico (Figura 28),

onde se estabelece uma linha pontilhada, que representa a média das médias dos sorteios para os 16 dias irrigados, com intuito de demonstrar a tendência dos volumes estimados pelos sorteios em subestimar os volumes realmente utilizados.

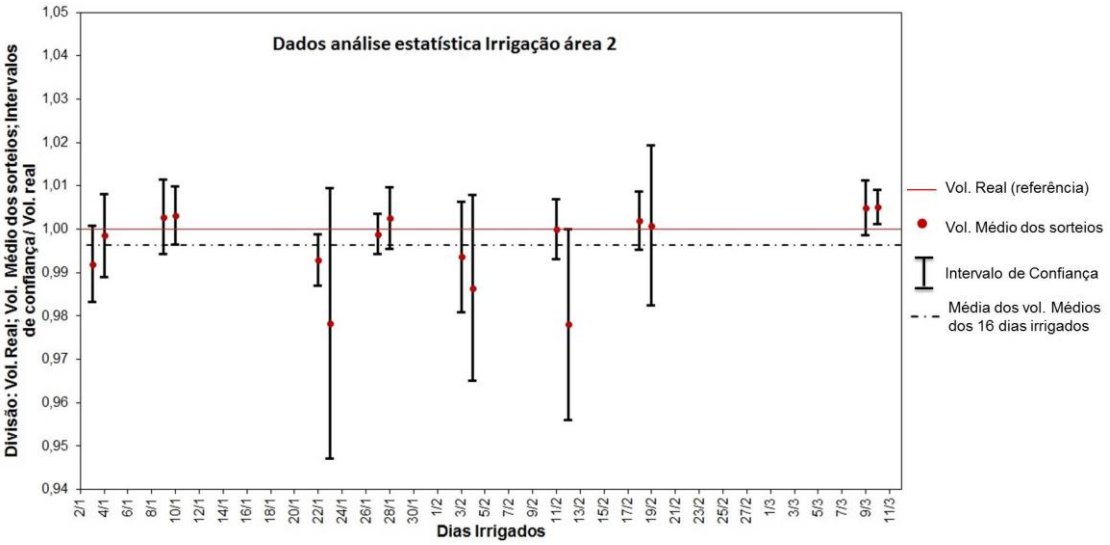

Figura 28 – Gráfico ilustrativo da tendência das médias dos volumes dos sorteios estarem abaixo do valor real, área 2.

Essa tendência é explicada, a partir da construção das curvas de permanência para cada dia com irrigação. Essa curva é uma das análises estatísticas mais simples e importantes da hidrologia. Segundo Cruz (2001), a curva de permanência relaciona a vazão (eixo das ordenadas) e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo período utilizado para sua construção (eixo das abcissas), neste caso, o período é diário. Interpretando as curvas de cada dia, construiu-se a tabela 7, onde estão expostas as porcentagens do tempo em que ocorreram vazões menores que a vazão média de cada dia.

Tabela 7 – Porcentagem do tempo em que ocorreram vazões abaixo da vazão média para cada dia de irrigação

Dias de Irrigação	% do tempo com Vazões abaixo da média do dia
03/01/2014	59
04/01/2014	46
09/01/2014	57
10/01/2014	52
22/01/2014	54
23/01/2014	28
27/01/2014	57
28/01/2014	52
03/02/2014	47
04/02/2014	51
11/02/2014	55
12/02/2014	40
18/02/2014	46
19/02/2014	51
09/03/2014	46
10/03/2014	52

Nesta tabela, observa-se que em grande parte dos dias irrigados (10 dias), na maior parte tempo ocorrem vazões abaixo da vazão média. Com isso, quando se realiza os sorteios aleatórios de duas medições, a probabilidade de estabelecer duas vazões inferiores à média do dia, aumenta. Esse fato explica a tendência em subestimar o volume real. Embora o monitoramento apresente essa característica, essa variação não se mostrou significante para o nível estatístico adotado.

4.2 Avaliação da qualidade dos dados manuais

Para a avaliação da qualidade dos dados foi realizado o teste paramétrico t de Student para uma média. Desta maneira, comparou-se, em cada dia de irrigação, os volumes estimados pelas duas medições manuais realizadas pelo proprietário, com a média dos volumes estimados pelos sorteios de duas vazões diárias. Essa análise ocorreu paras as duas áreas monitoradas e podem ser visualizadas nos apêndices D (área 1) e E (área 2).

Das análises estatísticas realizadas constatou-se que, de 99 dias em que houve irrigação, nas duas áreas, em 94 ocorreu diferença significativa entre o volume estimado por meio das anotações manuais e a média dos volumes dos sorteios, para um nível de significância de 0,05. Observou-se que os dados das anotações manuais não apresentaram precisão suficiente para estimar de forma satisfatória o volume real em um dia de irrigação.

A razão da maioria das análises apresentarem diferença significativa pode ser explicada de duas formas. A primeira hipótese seria a anotação de dados incorretos ou pouco precisos por parte do produtor, isso pode ocorrer, pois o nível é definido pela visualização da marcação da água na régua graduada, podendo não serem identificadas pequenas alterações dos níveis ao olho nu. Ou seja, não se têm para as anotações manuais o mesmo padrão de precisão da medida realizada pelo sensor. O que reforça essa hipótese é a análise das planilhas de anotações manuais (Apêndice A – área 1; Apêndice B – área 2), onde identifica-se que em quase todos os dias a anotação da primeira medição é igual a da segunda, comprovando que existe dificuldade em identificar algumas variações de nível nos canais ao olho nu ou ainda, o produtor por identificar que a variação ao longo do dia é baixa, acaba repetindo o mesmo valor nas duas medições.

A segunda possibilidade refere-se à turbulência ocasionada pelo fluxo de água nos canais adutores, podendo mascarar os dados das anotações manuais, pois a régua é instalada diretamente na parede do canal. Já os sensores, como foram instalados no interior de um cano de PVC que funciona como um “poço tranquilizador”, não tem a influência desta turbulência. Ocasionando uma maior precisão nos dados dos sensores, quando comparados com os dados das anotações manuais.

Contudo, não se pode descartar o uso da medição manual só porque ela acusa diferença significativa quando comparado os volumes dia a dia. Para analisar esta afirmação, realizou-se mais um teste para confirmar se as duas medições diárias manuais são suficientes para estimar o volume total de irrigação. Na tabela 8 e 9, apresentam-se as estatísticas descritivas dos volumes de irrigação calculados: médias dos volumes calculados pelas anotações manuais de nível; média dos volumes reais; média das médias dos volumes estimados pelos sorteios dos dados dos sensores automáticos; intervalos de confiança; o número total de dias que ocorreu irrigação; desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 8 – Medidas descritivas dados área 1

Volume	N° de Dias	Média Volumes (m³)	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Desvio Padrão	Coeficiente Variação
MANUAL	83	1379.628	1201.135	1558.121	817.440	59.250
SORTEIOS	83	1331.421	1155.819	1507.024	804.202	60.401
REAL	83	1330.820	1155.125	1506.514	804.624	60.460

- IC = Intervalo de Confiança

Tabela 9 – Medidas descritivas dados área 2

Volume	N° de Dias	Média Volumes (m³)	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Desvio Padrão	Coeficiente Variação
MANUAL	16	1177.461	844.090	1510.831	625.621	53.133
SORTEIOS	16	1151.119	838.096	1464.143	587.437	51.032
REAL	16	1154.094	841.539	1466.649	586.559	50.824

- IC = Intervalo de Confiança

Depois de ter os dados organizados e as médias gerais de cada processo, realizou-se as comparações duas a duas devido o conjunto de dados não representar um experimento e sim comparações entre os volumes estimados por diferentes métodos. Já nas tabelas 8 e 9, pode se observar que os resultados não terão diferenças significativas quando comparados dois a dois, pois as médias gerais de cada sorteio estão entre os valores do intervalo de confiança definidos para um nível de significância de 0,05.

Para expressar os resultados das análises estatísticas, as tabela 10 (área 1) e 11 (área 2) demonstram que em todos os casos de comparação não houve diferença significativa. As tabelas apresentam as três comparações realizadas duas a duas; a média dos volumes de toda irrigação de cada procedimento; o número de

dias que houve irrigação; o desvio padrão de cada procedimento e o p-Valor, o qual será comparado com o nível de significância conforme explicado no item 3.9.

Tabela 10 – Comparações das médias de todo período de irrigação duas a duas da área 1

Comparações Grupo 1 x Grupo 2	Média 1 (m^3)	Média 2 (m^3)	N° de dias 1	N° de dias 2	Desvio Padrão 1	Desvio Padrão 2	p-Valor
MANUAL X SORTEIOS	1379.628	1331.421	83	83	817.440	804.202	0,702
MANUAL X REAL	1379.628	1330.820	83	83	817.440	804.624	0.698
SORTEIOS X REAL	1331.421	1330.820	83	83	804.202	804.624	0.996

Tabela 11 – Comparações das médias de todo período de irrigação duas a duas da área 2

Comparações Grupo 1 x Grupo 2	Média 1 (m^3)	Média 2 (m^3)	N° de dias 1	N° de dias 2	Desvio Padrão 1	Desvio Padrão 2	p-Valor
MANUAL X SORTEIOS	1177.461	1151.119	16	16	625.621	587.4371	0.903
MANUAL X REAL	1177.461	1154.094	16	16	625.621	586.5588	0.914
SORTEIOS X REAL	1151.119	1154.094	16	16	587.437	586.5588	0.988

Nas tabelas, observa-se que para as duas áreas, nas três comparações não houve diferença significativa entre as médias dos volumes de todo período de irrigação, já que o p-Valor das comparações é maior que o nível de significância de 0,05.

Analisando a comparação em ambas às áreas, entre a média de todo período irrigado dos volumes derivados dos sorteios, com a média dos volumes estimados pelas anotações de nível manual, nota-se que a diferença não foi significativa e no item anterior, quando comparado dia por dia houve diferença significativa na maioria dos dias. Ou seja, o erro que possivelmente ocorreu nas medidas manuais não se

torna significativo para determinar o volume final de água utilizado durante todo o ciclo da cultura.

Reforça-se esta constatação, quando analisa-se a outra comparação estabelecida nas tabelas 9 e 10, onde a média de todo período irrigado dos volumes reais e a média dos volumes estimados por anotações manuais também não diferem estatisticamente. Com isso, pode-se inferir que as variações diárias nos níveis dos canais nas duas áreas e os possíveis erros nas anotações manuais, no final tornam-se insignificantes. Visto que, o volume total da irrigação estimado por duas medições diárias manualmente, são satisfatórios para o limite de erro estabelecido de 0,05, nas duas áreas.

Quando compara-se as médias dos volumes reais, com as médias dos volumes derivados dos sorteios, têm-se uma diferença não significativa. Assim, mais uma vez comprova-se que a metodologia de duas medições diárias, apresenta-se eficiente para estimar o volume total de água demandada neste período. Ou ainda, que duas medições por período de irrigação estimam com precisão o volume de água total gasto em um ciclo da cultura do arroz.

Em suma, pode-se afirmar que os dados manuais com duas medições diárias, possuem qualidade satisfatória para o nível de significância adotado pela pesquisa, estimando com precisão a demanda hídrica da lavoura orizícola. Com essa constatação, o objetivo da pesquisa foi alcançado, uma vez que, se valida o sistema simplificado e de baixo custo para automonitoramento de quantidades de água utilizadas em lavouras de arroz utilizando vertedores triangulares, contribuindo para a gestão de recursos hídricos. Onde poderá servir como instrumento para a formação de um banco de dados das demandas orizícolas das bacias hidrográficas, além de auxiliar nas possíveis fiscalizações dos volumes outorgados.

4.3 Avaliação da resposta da metodologia proposta nas diferentes captações de água

Como descrito na metodologia, nas duas diferentes formas de captação de água para irrigação foram realizados os mesmos procedimentos, desde a instalação das estruturas hidráulicas com mesmas dimensões (Figura 11 – item 3.2), o

monitoramento sistemático das vazões e as análises dos dados. Os procedimentos foram realizados da mesma forma nas duas áreas, com o intuito de responder se a metodologia proposta pode ser utilizada para esses dois tipos de captação.

Com os resultados apresentados nos itens 4.1 e 4.2, pode-se verificar que para as duas áreas, a metodologia apresentou resultados satisfatórios. O resumo destes resultados podem ser visualizados nas tabelas 9 (área 1) e 10 (área 2) do item 4.2, onde são apresentadas as comparações dos volumes estimados pelas metodologias propostas e o volume real considerando todo o período de irrigação, que para a área 1 foi de 83 dias e para a área 2 de 16 dias.

Sendo assim, mais um dos objetivos é alcançado, pois apresentando resultados satisfatórios da metodologia para as duas áreas, verifica-se que a implantação do automonitoramento em arranjo de irrigação com captação direta em rios ou barragens mostra-se igualmente eficiente. Vale destacar, que esses resultados são válidos para as características desta pesquisa, onde as estruturas de medição de vazão estão instaladas diretamente após as tomadas d'água nas duas áreas, com pouca perda de água e pequena variação dos níveis ao longo do canal de irrigação.

4.4 Volumes utilizados para irrigação

Os resultados da demanda hídrica nas lavouras monitoradas podem ser visualizados na tabela 12. Nesta tabela, estão apresentadas as áreas monitoradas; o volume de Irrigação, o qual corresponde ao valor monitorado pelos vertedores; o volume precipitado; o volume da entrada secundária (somente área 1 – calha Parshall); e o volume de drenagem (perdas).

O volume precipitado corresponde ao volume total das chuvas nas áreas monitoradas no período de irrigação, contendo o volume drenado. Sendo assim, para determinar a demanda hídrica das lavouras monitoradas realiza-se a subtração do volume perdido por drenagem superficial do volume precipitado. Vale salientar que a precipitação contribui na irrigação do arroz apenas nas lavouras de arroz em que o manejo de água é intermitente, que é o caso das duas áreas monitoradas. No

manejo de irrigação contínuo todo volume precipitado é perdido por drenagem superficial.

Tabela 12 – Volume irrigado (m^3 ha^{-1}), volume precipitado (m^3 ha^{-1}), volume de perdas (m^3 ha^{-1}) e volume utilizado (m^3 ha^{-1}) nas duas áreas de várzea na cultura de arroz irrigado durante a safra 2013/14. São Pedro do Sul, RS, 2014.

Áreas	**Vol. irrigado ($m^3.ha^{-1}$)**	**Vol. entrada secundária ($m^3.$ ha^{-1})**	**Vol. precipitado ($m^3.$ ha^{-1})**	**Vol. de perdas ($m^3.$ ha^{-1})**	**Vol. total ($m^3.ha^{-1}$)**
Área 1	4.091	2.135	4.430	1.720	8.935
Área 2	7.102	-	3.710	1.720	9.092

A irrigação e precipitação foram registradas no volume utilizado (Tabela 12) como fluxos de entrada. Já as perdas foram registradas como fluxo de saída. Estas perdas estão associadas à drenagem superficial. Nas duas áreas houve o extravasamento total de duas precipitações ocorridas durante o tempo de irrigação. Conforme o produtor, este extravasamento está ligado com a lâmina superficial, pois o mesmo cessou a irrigação no momento inicial da precipitação, ocasionando assim, a perda total do volume precipitado nas ocasiões.

Os solos encontrados na área 2, em relevo plano próximo ao leito do rio Ibicuí-Mirin, podem ser classificados por Gleissolos e não apresentam o horizonte de impedimento Btg. Já para a área 1, por estar localizada em superfícies levemente mais elevadas, ocorrem solos com horizonte superficial com textura média que transiciona abruptamente para horizontes argilosólicos, também gleizados, que podem ser classificados como Planossolo (KLANT, 2001).

Segundo Lorensi (2011), a quantificação do volume utilizado, em lavouras orizícolas, tem relação com a classe do solo, onde um aumento do teor de argila nos horizontes A, E, C, diminui o volume de água necessária para a irrigação. Além disso, a altura do horizonte de impedimento tem relação diretamente proporcional ao volume utilizado e quando não ocorre esse horizonte, a demanda hídrica é maior quando comparada com solos que apresentam o Btg. A partir dessa constatação, realizou-se o estudo dos perfis do solo nas duas áreas, afim de, determinar a textura

do solo nas áreas monitoradas e a definição da altura da camada de impedimento, se ocorrer. Na tabela 13, apresentam-se as informações definidas por meio dos perfis realizados a campo.

As classes de solo foram definidas através do levantamento realizado por Klant (2001), os horizontes e classes textural por meio dos perfis efetuados a campo (Tabela 10). Conclui-se que os resultados encontrados estão adequados e são próximos aos obtidos por Lorensi (2011) e Luz (2011), que encontram valores que variam entre 8.565,148 m^3. ha^{-1} a 10,207 m^3. ha^{-1} para Planossolos e 9.987,25 $m^3.ha^{-1}$ a 11.509 $m^3.ha^{-1}$, para Gleissolos que não apresentam o horizonte de impedimento.

Tabela 13 – Resultados perfil dos solos

Parcelas Monitoradas	Horizontes	Prof. em (cm)	Granulometria média[1]			Classe Textural[2]	Classificação do solo
			Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)		
Área 1	A	0 – 41	56,40	28,75	14,85	Franca arenosa	Planossolo
	E_1	41 – 63	62,84	25,66	11,50	Franca arenosa	
	E_2	63 - 115^+	65,28	24,52	10,20	Franca arenosa	
	Btg	63 +	60,12	14,2	25,68	Arenosa	
Área 2	A	0 – 27	15,88	48,37	35,75	Franca siltosa	Gleissolo
	C_{g1}	27 –60	28,99	45,76	22,25	Franca argilosa	
	Cg2	60 +	34,41	27,62	37,98	Argiloso	

[1] Granulometria realizada no Laboratório de Análises Físicas do Departamento de Solos seguindo a metodologia descrita por EMBRAPA (1997)
[2] Classificação textural segundo Santos et al. (2005).

Observa-se para o solo onde não há a presença do horizonte Btg (Gleissolo – Área 2) um maior volume total de água demandado, corroborando com o que diz Lorensi (2011). Contudo, o acréscimo de volume de água nesta área é apenas 2% maior que na área 1. Essa pequena diferença, explica-se, pois, mesmo o solo da área 1 (Planossolo), apresentando o horizonte de impedimento, este apresenta baixo teor de argila, que segundo a autora é uma grandeza inversamente

proporcional ao consumo de água. Já o solo da área 2, mesmo não apresentando camada de impedimento, possui maior teor de argila nos horizontes. Sendo assim, as características dos dois solos acabam se compensando, justificando a proximidade nos volumes encontrados.

Os resultados encontrados também apresentam semelhança, com os obtidos por Machado et al. (2006) e Sartori et al. (2013), quando referido somente o volume aplicado pela irrigação. Desta forma, subtraindo o volume de contribuição das chuvas, têm-se para área 1 um volume aplicado de 6.225 $m^3.ha^{-1}$ e para área 2 o total irrigado foi de 7.102 $m^3.ha^{-1}$. Comprovando a semelhança com os resultados dos estudos citados anteriormente, que variam de 5.487 $m^3.ha^{-1}$ a 8.453 $m^3.ha^{-1}$.

Em suma, os valores encontrados estão coerentes com valores observados na literatura, sendo que sua variação tem provável relação com o tipo de solo de cada área e fatores climáticos. Quanto ao efeito do clima, a safra de 2013/2014 no Rio Grande do Sul enfrentou fortes ondas de calor, vários dias seguidos, onde as máximas ficaram acima de 40ºC, ocorrendo quebra de recordes históricos em algumas cidades (SIAS, 2014). Este fato contribuiu provavelmente para um maior índice de evapotranspiração para esta safra.

4.5 Comparação dos volumes outorgados e os encontrados pelo automonitoramento

Através das informações do documento de outorga, apresentado no anexo 1, calculou-se os volumes outorgados para a propriedade (Tabela 14). Para definir o volume por hectare, que serve como referência, bastou realizar a divisão do volume total pelo somatório das áreas. Realizando esse procedimento, encontrou-se um volume outorgado de 8.000 $m^3.ha^{-1}$ ou uma lâmina irrigada de 800 mm.

Tabela 14 – Volumes outorgados para a propriedade

Captações	Vazão (m^3/s)	Área	Volume (m^3)
Rio 1	0,022	24	192.000
Rio 2	0,003	3	24.000
Barragem 1	0,001	1	8.000
Barragem 2	0,011	12	96.000
SOMA	0,037	40	320.000

Quando se compara o volume outorgado com os utilizados na irrigação nas duas áreas monitoradas (Tabela 15), constata-se que o volume irrigado é menor que o outorgado, apresentando um consumo 22% menor na área 1 e 11% na área 2.

Tabela 15 – Total irrigado nas parcelas

Áreas	Volume irrigado ($m^3.ha^{-1}$)	Volume outorgado ($m^3.ha^{-1}$)	(%) utilizada do Vol. outorgado
Área 1	6.226	8.000	78
Área 2	7.102	8.000	89

O menor volume utilizado na irrigação quando comparado com o outorgado, indica que as lavouras monitoradas apresentam um bom manejo de irrigação, caracterizando o produtor como um bom usuário da água.

Ainda se observa por meio dos dados da estação climatológica de Santa Maria (mais próxima da área de pesquisa), que o volume demandado para irrigação nessa safra poderia ser menor, pois as precipitações acumuladas nos meses de dezembro, janeiro e março foram respectivamente, 35, 19 e 14% menores que a médias para estes meses (Figura 29). Com isso, houve menor contribuição de água pelas chuvas, indicando que precisou aplicar um maior volume de água do que em safras que as precipitações estão dentro da normalidade.

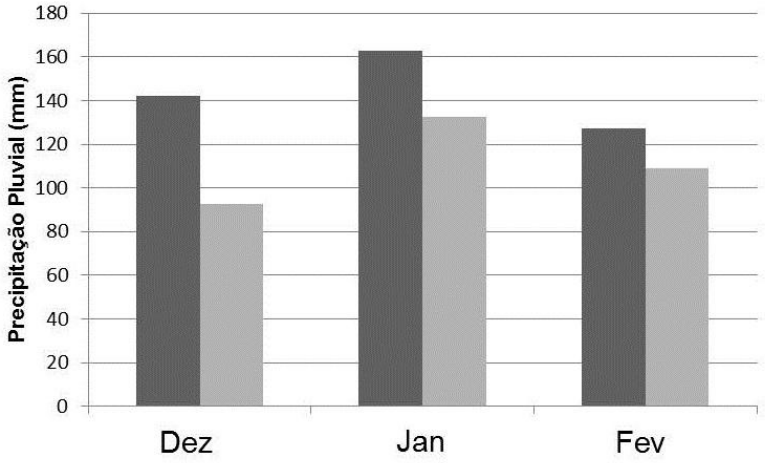

Figura 29 – Precipitação para a safra 2013/14

Fonte: Dados da Rede do INMET

Por fim, observa-se mais um ponto positivo no automonitoramento em lavouras orizícolas, que é o conhecimento da realidade do consumo da água na propriedade relacionado à outorga emitida. Onde nesse caso foi menor que o volume outorgado, sendo assim o volume não utilizado poderá ser disponibilizado para a o balanço hídrico da bacia hidrográfica, contribuindo para liberação de possíveis novas outorgas de uso da água.

5 CONCLUSÕES

O sistema de automonitoramento por meio de vertedores triangulares, com a realização de apenas duas medições diárias dos níveis dos canais adutores mostrou-se eficiente na estimativa do volume total de água demandado pela cultura orizícola, apresentando representatividade satisfatória da variação diária no nível de água verificado nos canais.

Quando se realiza o automonitoramento com dados levantados por meio de sensores automáticos, o volume de água estimado tem maior precisão que o volume calculado por meio de dados definidos pela leitura dos níveis visualizados nas réguas graduadas. Mesmo assim, o uso das réguas é eficiente para definir o volume de água total da cultura orizícola, além de apresentar um custo menor quando comparado aos sensores.

Para as diferentes formas de captação de água analisadas (rio e barragem), a metodologia proposta mostrou-se igualmente satisfatória, comprovando que as possíveis diferenças nas dinâmicas de fluxo nos canais adutores entre esses dois tipos de captação não foram significativas. Isso denota que o sistema de automonitoramento pode ser utilizado para os dois modelos de captação.

O valor observado pelo sistema de automonitoramento apresenta similaridade com outras pesquisas de determinação do volume de água utilizado em lavouras orizícolas para o mesmo tipo de solo, comprovando a eficiência da técnica utilizada neste estudo.

Além de apresentar confiabilidade nos dados, a técnica consiste numa alternativa simples, e viável, tanto técnica quanto economicamente na determinação do volume usado no período de irrigação em áreas de arroz irrigado e que poderá ser implementada tanto pelo pequeno quanto pelo grande produtor de arroz irrigado.

A realização da comparação do volume realmente utilizado com o volume outorgado mostrou-se de suma importância, pois demostra que o volume de outorga é uma estimativa e não representa de forma ideal demanda real das áreas monitoradas, que neste caso é menor que o volume outorgado. Sendo assim, com a utilização do automonitoramento os volumes outorgados podem ser revisados e os

volumes não utilizados, ficam disponíveis para o balanço hídrico da bacia hidrográfica.

Em suma, a quantificação do volume utilizado em lavouras orizícolas, por meio do sistema de automonitoramento com métodos simplificados de medição de vazão propostos, nos diferentes arranjos de irrigação apresentados, mostrou-se adequado para uso em grande escala para aferição dos volumes outorgados, como subsídio à gestão de recursos hídricos.

6 RECOMENDAÇÕES

Para aumentar a abrangência do uso da técnica do automonitoramento por meio de vertedores triangulares, com duas medições diárias dos níveis dos canais adutores, em próximas pesquisas deve-se testar a metodologia proposta em lavouras onde a fonte de captação não seja imediatamente a montante da área irrigada. Dessa forma, poderão ser avaliadas as perdas de água nos canais adutores e influência dessa redução na variação dos níveis em canais com maiores distâncias.

Visualizou-se na pesquisa que um dos motivos do sensor apresentar maior qualidade nos dados levantados é está inserido em um poço tranquilizador, que diminui a influência da possível interferência da turbulência do fluxo da água do canal. Desta forma, recomenda-se instalar a régua graduada em um poço tranquilizador transparente, para que assim possua maior precisão na definição dos níveis de carga hidráulica.

Vale ressaltar, que a qualidade das anotações da carga hidráulica sobre os vertedores e da precipitação é de vital importância para a eficiência da técnica do automonitoramento. Esta técnica não exige mão de obra qualificada, mas sim responsabilidade no momento das anotações, pois o simples esquecimento de anotar um valor compromete todo o estudo do período irrigado.

Por esse motivo, no caso de possíveis fiscalizações por parte do órgão gestor utilizando a técnica do automonitoramento, recomenda-se o uso de sensores automáticos durante certo período para confrontar depois com as anotações. Mas isso não descarta a importância da leitura dos níveis visualizados nas réguas graduadas, visto que, gera uma conscientização por parte dos produtores, uma vez que tendo o conhecimento do uso da água em suas lavouras, podem buscar formas de aumentar a eficiência da irrigação. Atrelado a isso, as informações servem para a formação de um banco de dados das demandas hídricas das lavouras orizícolas para as bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Notícias**. Estudo faz diagnóstico atualizado da situação da água e de sua gestão no Brasil. 17 de julho 2011. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=9386>. Acesso em 12 de set. 2013.

_____. **O Estado das Águas no Brasil.** Edição Comemorativa do Dia Mundial da Água – Brasília: ANA, 2003.

_____. **Diagnóstico da outorga de direito de Uso de Recursos Hídricos no Brasil e Fiscalização dos Usos de Recursos Hídricos no Brasil.** Cadernos de Recursos Hídricos – Volume 4. Brasília: ANA, 2007.

AGROLINK. **Culturas:** Arroz, solo. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/solo.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2014.

BARROS, W. P. **A Água na Visão do Direito**. Porto Alegre: Tribunal de Justiça – Departamento de Artes Gráficas, 2005.

BAUMHARDT, E. **Balanço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do rs.** 2010. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BAUMHARDT, E. et al. Influência da maré barométrica nos dados de cota para monitoramento de pequenas bacias. In: XIVth IWRA WORLD WATER CONGRESS, 25 a 29 de set. 2011, Recife, PE. **Anais**. IWRA, 2011. v.1, p.1 – 9.

BRASIL. Lei Federal n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Politica Nacional e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 18 de fev. 2013.

CAETANO, M. Técnica aplicada no plantio de arroz no RS detém invasora e aumenta produtividade. **Revista Globo Rural**, 29 de mai. 2011. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT222681-18283,00.html>. Acesso em: 08 de mai. 2014.

CARVALHO, T. M de. Técnicas de medição de vazão por meio convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 1, n. 1, p. 73-85, mai./ago. 2008.

CONEJO, J. G. L. A outorga de usos da água como instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos. In: **Revista de Administração Pública**, v. 1, n. 1, p. 28-62, abr./jun. 1993.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais.** 2001. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - IPH/URGS. Porto Alegre, RS. 2001.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Pioneira Thomsom Learning, 2006

EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm > Acesso em 25 de nov. 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat:** agricultural data. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es# DOWNLOAD > Acesso em: 25 nov. 2013.

FREITAS, V. P. (Org.). **Águas: Aspectos Jurídicos e Ambientais.** Curitiba: Juruá, 2000.

FUGLIE, K.; WANG, S. L. **Productivity Growth in Global Agriculture Shifting to Developing Countries.** The Magazine of Food, Farm, and Resource Issues, v. 27, n. 4. 4th Quarter 2012.

FURTADO, D. A.; KONIG, A. **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos**. 1. ed. Campina Grande, PB. Gráfica Agenda, 115p. 2008.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES, E. A. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 21. ed. Brasília, DF. Embrapa Informações Tecnológica, 899p, 2004.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de Águas - Disciplina Jurídica das Águas Doces.** 3a. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

HERNANDEZ, M. G. R. et al. Consumo e eficiência do uso da água e componentes de rendimento do arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 413-418, 1997.

HORN, J. F. C. **Regime hidrológico de duas microbacias contíguas: um comparativo entre uso urbano e rural.** 2012. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

INCONTROL. **Manual de instalação e operação Calha Parshall:** Medidor de vazão em canais abertos. São Paulo – SP. Cód: 073AA-025-122M – Rev. B. Nov. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades.** Rio Grande do Sul > São Pedro do Sul > Informações completas. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431940&search=rio-grande-do-sul|sao-pedro-do-sul>. Acesso em: 05 de mai. 2014.

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. Safra 2013/14: produção total deve ficar em 8,1 milhões de toneladas. **Revista Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 62, n. 462, p. 10-13, abr. - jun. 2014.

IRGA - **Instituto Riograndense do Arroz**. 2002. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/ arquivos/20060626143337.pdf >. Acesso em: 10 de abr. 2014.

KLAMT, E.; FLORES, C. A.; CABRAL, D .R. **Solos do Município de São Pedro do Sul. Santa Maria**: Depto. De Solos/CCR/UFSM, 2001. 96p.

KÖPPEN, W. Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra. **Climatology**. Laboratory of Climatology. New Gersey, 1948.

LANNA, A. E. et al. Análise de critérios de outorga de direitos de uso da água. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997, Vitoria, ES. **Anais**. São Paulo: ABRH, 1997. p. 145-152.

LENCASTRE, A. **Manual de Hidráulica geral**. São Paulo. Edgard Blucher, Ed. Da Universidade de São Paulo. 1972.

LORENSI, R. P. **Automonitoramento dos recursos hídricos em lavouras orizícolas**. 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

LORENSI, R. P. **Relações entre atributos do solo e uso de água em arroz irrigado.** 2011. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LORENSI, R. P. et al. **Comparação do volume utilizado em lavouras orizícolas com o método do balanço hídrico.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p .9 -18, 2013.

LUZ, G, O. **Comparação entre dois sistemas hidráulicos de medição de água de irrigação de arroz.** 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

LUZ, G. O.; CRUZ, J. C.; ELTZ, F. L. F.; LORENSI, R. P. **Comparação de dois sistemas hidráulicos para medição de água de irrigação de arroz**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, Al.. Anais. Porto Alegre: ABRH, 2011. v. 1. p. 1-17, 2011.

MACHADO, S. L. et al. **Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 65-71, 2006.

MARCHEZAN, E. et al. **Consumo de água e desempenho de cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo**. (2005). Informe Técnico Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, RS. n. 3. 10 p. In: Levantamento bibliográfico do uso de água na cultura de arroz irrigado 1997-2006. CD-ROM.

MARCOLIN, E. e MACEDO V. R. M. **Consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado**. (2001). In: Levantamento bibliográfico do uso de água na cultura de arroz irrigado 1997-2006. CD-ROM.

MARCOLIN, E. et al. **Volume de água usado na lavoura de arroz em função das épocas de início de irrigação por inundação**. IV Reunião Sul-brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. v. 1. p. 365-367. 2005.

MARCOLIN, E. et al. **Uso de água em duas lavouras comerciais de arroz irrigado por inundação no RS**. V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXVII Reunião da Cultura de Arroz Irrigado, Pelotas, v. 1, p. 477-479. 2007.

MEIRELLES, F. S. C. **Cobrança por volume em sistemas coletivos de irrigação como instrumento de gestão da água**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2009.

MENEZES, D. J. et al. Zoneamento Geoambiental do Município de São Pedro do Sul – RS. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1833 – 1844, 2012.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação dos recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3. p. 370-374, fev. 2002.

MOTTA, F. S. et al. **Informação climática planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio do Sul**. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p. 3-6, set./out. 1990.

OCÁCIA G. C. et al. Uso racional de energia em estações de bombeamento de água para irrigação de arroz. In: IV Encontro de Energia no Meio Rural, 2002, Campinas, SP. **Anais**. Enc. Energ. Meio Rural, 2002.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Destaque:** População mundial deve atingir 9,6 bilhões em 2050, diz novo relatório da ONU, 13 jun. 2013. Disponível em <http://www.onu.org.br/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/> Acesso em 10 jun. 2014.

PAZ, V. P. S. et al. **Recursos Hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 3. set- dez, 2000.

PLANETA ARROZ. A natureza cobra seu preço. **Licenciamento ambiental e uso da água entram na planilha de custos do produtor**. Rio Grande do Sul: Jornal do Povo, Revista, v. 7, 2003, Disponível em: <http://www.planetaarroz.com.br/flip/ed07/>. Acesso em 04 de dez. 2012.

PORTO, M. F. A. **Sistemas de Gestão da Qualidade das Águas: uma proposta para o caso brasileiro.** 2002. 131 f. Tese (Livre Docência em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RAVANELLO, M. M. **Análise técnica, legal e social para subsídios à outorga de direito de uso dos Recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Ibicuí – RS.** 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Constituição do Estado do Rio Grande do Sul, 1989. Promulgada em 03 de novembro de 1989. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/prop/Legislacao/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em 22 de nov. 2012.

_____. Lei no 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://comitelagoguaiba.net/legislacao/LEI%20N%C2%BA%2010.350-94.pdf>. Acesso em: 22 de nov. 2012.

_____. Decreto no 37.033, de 21 de novembro de 1996. Regulamenta a outorga do direito de uso da agua no estado do RS, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da lei estadual no 10.350. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=408&cod_conteudo=6927>. Acesso em: 22 de nov. 2012.

_____. Lei No 11.362, de 29 de julho de 1999. Dispõe sobre a Secretaria do Meio Ambiente – SEMA. Disponível em: <http://www.geocities.ws/ambientche/lei_11362.html>. Acesso em: 22 de nov. 2012.

ROSÁRIO DO SUL EM FOTOS. **Blogspot**, 21 de fev. 2012. Disponível em: <http://rosariodosulemfotos.blogspot.com.br/2012/02/plantacao-de-arroztapete-bordado-na.html>. Acesso em: 10 de jun. 2014.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p.

SARTORI, G. M. S. et al. **Rendimento de grãos e efi ciência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 397 – 403, 2006.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização urbana: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias.** 2006. 101f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SIAS, E. Semana de calor histórico começa com intensos temporais no Sul. **METSUL – Meteorologia**, 03 fev. 2014. Disponível em: < http://www.metsul.com/blog2012/Home/home/529/Semana_de_calor_hist%C3%B3rico_come%C3%A7a_com_intensos_temporais_no_Sul>. Acesso em: 25 de jun. 2014.

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. **Irrigação por inundação intermitente para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. 2005.

Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular técnica. n. 46. dez., 2005.

SOSBAI. Arroz irrigado: **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil.** Sociedade Sul-Brasileira de arroz irrigado; IV Congresso Brasileiro de arroz irrigado, XXVI Reunião da cultura do arroz irrigado - Santa Maria. 159p. 2005.

_____. Arroz irrigado: **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil.** Sociedade Sul-Brasileira de arroz irrigado, XXVI Reunião da cultura do arroz irrigado - Bento Goncalves - RS. 188p. 2010.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado** / Luis Fernando Stone. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 48 p. – (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 176).

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2002.

UFGRS. Terra do Arroz. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus/terradearroz/referencias.htm> Acesso em 30 de out. 2012.

UFSM/FINEP. **Bacias Vertentes: Estratégias Metodológicas para Monitoramento, Modelagem e Gestão.** Cruz, J. C. (coordenador) Relatório Técnico Final. Convênio: UFSM/IPH/UFRGS/EPUSP. Santa Maria, UFSM, 269 p. 2012.

UFSM/CNPq. **Diferença no Uso da Água entre Sistemas de Manejo em Lavouras Orizícolas com Auxílio do Sistema de Automonitoramento**. ELTZ, F. L. F. (coordenador) Relatório Final. Convênio MCT/CNPq/CT-HIDRO/SEAP – PR n0. 35/2007. Santa Maria. 2007.

UFSM/FINEP. **Implantação Plena da outorga: Análise das condições de contorno ao balanço hídrico em sistema de apoio a decisão, em bases socialmente sustentáveis – SIOGA – Bacia do Rio Ibicuí**. Cruz, J. C. (coordenador). Relatório Final. Convênio FNDCT/CT-Hidro/FATEC/HDS-UFSM. Santa Maria, 3 vol. Conv. 01.04.0950.0. 2007.

UFSM/FINEP. **Metodologia para Iniciar a Implantação de Outorga em Bacias Carentes de Dados de Disponibilidade e Demanda** – IOGA – Bacia do rio Ibicuí. Silveira, G. L. (coordenador). Relatório Técnico. Convenio FINEP/CT-Hidro/FATEC/HDS-UFSM. Santa Maria, 3 vol. Conv. 01.04.0056.00. 2005.

UFSM/SEMA. **Desenvolvimento das ações de apoio necessárias à implantação da outorga de uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria**. SILVEIRA, G. L. (coordenador). Rel. Técnico 1. Santa Maria, UFSM, 186 p. 2003.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WERLANG, M. K.; PICOLLO, A. Propriedades mecânicas de resistência ao cisalhamento, compressibilidade, permeabilidade e a conformação do relevo no sudoeste do município de São Pedro do Sul – RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 261-274, dez. 2013.

WERLANG, M. K. et al. Modelado do relevo do setor sudoeste do município de São Pedro do Sul – RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-44, 2005.

ANEXOS

Anexo A – Documento de Outorga dos recursos hídricos da propriedade

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

PORTARIA DRH N[redacted]

O Diretor do Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria do Meio Ambiente, no uso de suas atribuições legais e em cumprimento aos dispositivos da letra "a", inciso II, do artigo 11 e do parágrafo 1º do artigo 29 da Lei Estadual nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994, regulamentado pelo Decreto nº 37.033 de 21 de novembro de 1996 e à vista da Portaria SEMA nº 007/03 de 04 de fevereiro de 2003.
OUTORGA:

Art. 1º - Autorização à [redacted] e à [redacted] para captação de água superficial no rio Ibicuí Mirim e para reservação e captação de águas superficiais e pluviais, através de duas barragens de terra construídas em cursos da água sem denominação específica, no distrito de Passo da Cruz, no município de São Pedro do Sul, Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí, neste Estado, conforme processo nº[redacted]

Art. 2º - A finalidade de uso é irrigação de arroz.

Art. 3º - A captação 1 no rio Ibicuí Mirim é de 0,022 m³/s, para irrigar 24 ha, no ponto de coordenadas geográficas [redacted] e coordenadas planas [redacted] E com um regime de bombeamento de 24 horas por dia, 7 (sete) dias da semana, durante novembro à março.

Art. 4º - A captação 2 no rio Ibicuí Mirim é de 0,003 m³/s, para irrigar 3 ha, no ponto de coordenadas geográficas [redacted] e coordenadas planas [redacted] E com um regime de bombeamento de 24 horas por dia, 7 (sete) dias da semana, durante novembro à março.

Art. 5º - A outorga é concedida para as barragens com as seguintes características técnicas:

Barramentos	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Planas		Volume de Água Armazenado (m³)
	S	W	N	E	
1	29º 40' 27"	54º 08' 19"	6713868	776943	7.386
2	29º 40' 29"	54º 08' 12"	6713819	777114	93.185

Art. 6º - A captação na barragem 1 é de 0,00093 m³/s, para irrigar 1,0 ha, no ponto de coordenadas geográficas [redacted] e coordenadas planas [redacted] E com um regime de 24 horas por dia, 7 (sete) dias da semana, no período de novembro a março.

Art. 7º - A captação na barragem 2 é de 0,01 m³/s, para irrigar 12 ha, ponto de coordenadas geográficas [redacted] e coordenadas planas [redacted] E, com um regime de 24 horas por dia, 7 (sete) dias da semana, no período de novembro a março.

Art. 8º - Deverá ser mantida, à jusante das barragens, a vazão mínima para manutenção da vida aquática e de outros usos de água existentes.

[redacted]

Secretaria do Meio Ambiente – SEMA, Rua Carlos Chagas, 55 – 11º andar – Sala 1109 CEP - 90030-020 P[redacted]

Art. 9º - Esta autorização está condicionada à execução de proteção nos taludes de montante das barragens 1, 2 cujo projeto da solução adotada deverá ser encaminhado a este Departamento, num prazo de 6 meses.

Art. 10º - Esta autorização poderá ser suspensa no caso da constatação de conflitos de uso da água ou de informações contraditórias ao que consta no processo nº [redacted]

Art. 11º - A presente autorização é concedida em caráter precário podendo ser revogada a qualquer momento e não dispensa nem substitui as demais licenças ambientais, alvarás ou certidões de qualquer natureza exigidas pelas legislações Municipal, Estadual ou Federal.

Art. 12º - Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação.

Porto Alegre, 20 de janeiro de 2009

[redacted]

Diretor do Departamento de Recursos Hídricos

APÊNDICES

Apêndice A – Tabela dos dados das anotações manuais área 1.

Método de Preparo e Semeadura CULTIVO MÍNIMO							
Sistema de condução da água: (x) Gravidade ( ) Bombeamento **Forma de Abastecimento: ( ) Rio (x) Barragem ( ) Outros** **Anotador: [redacted] Município: Passo da Cruz - São Pedro do Sul** **Vertedor Triangular de Soleira Delgada / α = 90° Área = 27 hectares**							
Data	**Hora**	**Nível (m)**	**Observações**	**Nível Médio**	**Tempo(h)**	**Vazão (m³/s)**	**Volume (m³)**
26/11/2013	11:35	0,140	1° Medição	0,140	12,416	0,010	458,981
26/11/2013	19:00	0,140	2° Medição				
27/11/2013	09:00	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
27/11/2013	18:00	0,150	2° Medição				
28/11/2013	08:10	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
28/11/2013	18:00	0,150	2° Medição				
29/11/2013	09:10	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
29/11/2013	20:00	0,150	2° Medição				
30/11/2013	07:30	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
30/11/2013	20:00	0,150	2° Medição				
01/12/2013	08:00	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
01/12/2013	20:00	0,150	2° Medição				
02/12/2013	08:05	0,150	1° Medição	0,150	8,083	0,012	354,319
02/12/2013	fechada		2° Medição				
16/12/2013	10:35	0,140	1° Medição	0,140	13,416	0,010	495,948
16/12/2013	19:00	0,140	2° Medição				
17/12/2013	08:30	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
17/12/2013	17:00	0,140	2° Medição				
18/12/2013	09:00	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
18/12/2013	18:00	0,150	2° Medição				
19/12/2013	08:10	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
19/12/2013	17:00	0,150	2° Medição				
20/12/2013	08:05	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
20/12/2013	19:00	0,150	2° Medição				
21/12/2013	08:00	0,150	1° Medição	-	24,000	0,019	1676,842
21/12/2013	17:30	0,240	2° Medição				
22/12/2013	07:30	0,240	1° Medição	0,240	24,000	0,039	3358,996
22/12/2013	18:30	0,240	2° Medição				
23/12/2013	08:10	0,240	1° Medição	0,240	24,000	0,039	3358,996
23/12/2013	18:00	0,240	2° Medição				
24/12/2013	09:10	0,230	1° Medição	0,230	24,000	0,035	3023,816
24/12/2013	18:30	0,230	2° Medição				
25/12/2013	07:30	0,230	1° Medição	0,230	24,000	0,035	3023,816
25/12/2013	21:00	0,230	2° Medição				
26/12/2013	08:00	0,230	1° Medição	0,225	24,000	0,033	2864,036
26/12/2013	18:00	0,220	2° Medição				
27/12/2013	08:30	0,220	1° Medição	0,220	24,000	0,031	2709,391
27/12/2013	18:30	0,220	2° Medição				

28/12/2013	08:10	0,220	1° Medição	0,220	24,000	0,031	2709,391
28/12/2013	18:00	0,220	2° Medição				
29/12/2013	07:30	0,220	1° Medição	0,215	24,000	0,030	2559,827
29/12/2013	18:00	0,210	2° Medição				
30/12/2013	07:30	0,210	1° Medição	0,205	24,000	0,026	2275,725
30/12/2013	18:30	0,200	2° Medição				
31/12/2013	07:30	0,200	1° Medição	0,200	24,000	0,025	2141,074
31/12/2013	19:00	0,200	2° Medição				
01/01/2014	07:00	0,200	1° Medição	0,195	24,000	0,023	2011,283
01/01/2014	19:30	0,190	2° Medição				
02/01/2014	08:10	0,190	1° Medição	0,190	24,000	0,022	1886,293
02/01/2014	19:10	0,190	2° Medição				
03/01/2014	08:00	0,210	1° Medição	0,210	24,000	0,028	2415,290
03/01/2014	19:30	0,210	2° Medição				
04/01/2014	10:00	0,210	1° Medição	0,200	24,000	0,025	2141,074
04/01/2014	18:00	0,190	2° Medição				
05/01/2014	09:30	0,190	1° Medição	0,190	24,000	0,022	1886,293
05/01/2014	18:30	0,190	2° Medição				
06/01/2014	08:30	0,190	1° Medição	0,180	24,000	0,019	1650,482
06/01/2014	19:30	0,170	2° Medição				
07/01/2014	09:10	0,160	1° Medição	0,155	24,000	0,013	1140,793
07/01/2014	18:30	0,150	2° Medição				
08/01/2014	08:00	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
08/01/2014	19:00	0,140	2° Medição				
09/01/2014	08:30	0,130	1° Medição	0,130	24,000	0,009	738,801
09/01/2014	19:30	0,130	2° Medição				
10/01/2014	10:00	0,130	1° Medição	0,125	24,000	0,008	670,587
10/01/2014	19:00	0,120	2° Medição				
11/01/2014	09:15	0,120	1° Medição	0,120	9,250	0,007	233,666
11/01/2014	fechada		2° Medição				
16/01/2014	14:00	0,170	1° Medição	0,170	10,500	0,017	627,010
16/01/2014	aberta		2° Medição				
17/01/2014	08:00	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
17/11/2014	19:00	0,170	2° Medição				
18/01/2014	07:30	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
18/01/2014	18:30	0,170	2° Medição				
19/01/2014	07:10	0,180	1° Medição	0,180	24,000	0,019	1650,482
19/01/2014	19:30	0,180	2° Medição				
20/01/2014	07:20	0,190	1° Medição	0,195	24,000	0,023	2011,283
20/01/2014	19:00	0,200	2° Medição				
21/01/2014	07:40	0,200	1° Medição	-	24,000	0,013	1096,554
21/01/2014	19:30	0,120	2° Medição				
22/01/2014	07:20	0,120	1° Medição	0,115	24,000	0,006	545,772
22/01/2014	16:00	0,110	2° Medição				

23/01/2014	07:50	0,110	1° Medição	0,115	24,000	0,006	545,772
23/01/2014	18:00	0,120	2° Medição				
24/01/2014	06:25	0,120	1° Medição	-	24,000	0,042	3606,618
24/01/2014	20:00	0,275	2° Medição				
25/01/2014	07:30	0,270	1° Medição	-	24,000	0,040	3494,442
25/01/2014	16:15	0,170	2° Medição				
26/01/2014	09:00	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
26/01/2014	19:00	0,170	2° Medição				
27/01/2014	08:00	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
27/01/2014	18:00	0,170	2° Medição				
28/01/2014	08:30	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
28/01/2014	18:00	0,170	2° Medição				
29/01/2014	08:00	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
29/01/2014	18:30	0,170	2° Medição				
30/01/2014	08:30	0,165	1° Medição	0,165	24,000	0,015	1331,291
30/01/2014	19:00	0,165	2° Medição				
31/01/2014	09:00	0,160	1° Medição	0,160	24,000	0,014	1233,855
31/01/2014	19:30	0,160	2° Medição				
01/02/2014	09:00	0,150	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
01/02/2014	19:00	0,150	2° Medição				
02/02/2014	08:00	0,145	1° Medição	0,145	24,000	0,011	967,535
02/02/2014	19:30	0,145	2° Medição				
03/02/2014	08:00	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
03/02/2014	19:30	0,140	2° Medição				
04/02/2014	09:00	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
04/02/2014	19:00	0,140	2° Medição				
05/02/2014	08:00	0,140	1° Medição	0,138	24,000	0,010	848,585
05/02/2014	19:00	0,135	2° Medição				
06/02/2014	08:00	0,135	1° Medição	0,135	24,000	0,009	810,984
06/02/2014	19:00	0,135	2° Medição				
07/02/2014	10:40	0,135	1° Medição	-	24,000	0,022	1865,654
07/02/2014	19:30	0,220	2° Medição				
08/02/2014	08:00	0,220	1° Medição	-	24,000	0,027	2325,137
08/02/2014	17:50	0,160	2° Medição				
09/02/2014	08:10	0,155	1° Medição	0,150	24,000	0,012	1052,042
09/02/2014	20:00	0,145	2° Medição				
10/02/2014	07:30	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
10/02/2014	18:00	0,140	2° Medição				
11/02/2014	07:20	0,135	1° Medição	0,135	24,000	0,009	810,984
11/02/2014	18:00	0,135	2° Medição				
12/02/2014	11:10	0,130	1° Medição	-	24,000	0,017	1446,677
12/02/2014	20:00	0,197	2° Medição				
13/02/2014	09:00	0,190	1° Medição	0,190	24,000	0,022	1886,293
13/02/2014	20:00	0,190	2° Medição				

14/02/2014	08:00	0,180	1° Medição	0,180	24,000	0,019	1650,482
14/02/2014	18:00	0,180	2° Medição				
15/02/2014	07:50	0,180	1° Medição	0,180	24,000	0,019	1650,482
15/02/2014	18:20	0,180	2° Medição				
16/02/2014	09:10	0,180	1° Medição	0,180	24,000	0,019	1650,482
16/02/2014	20:00	0,180	2° Medição				
17/02/2014	08:00	0,175	1° Medição	0,175	24,000	0,018	1539,542
17/02/2014	20:30	0,175	2° Medição				
18/02/2014	07:30	0,170	1° Medição	0,170	24,000	0,017	1433,166
18/02/2014	18:00	0,170	2° Medição				
19/02/2014	16:15	0,170	1° Medição	0,170	16,250	0,017	970,373
19/02/2014	fechada	0,170	2° Medição				
24/02/2014	19:00	0,160	1° Medição	0,160	5,000	0,014	257,053
24/02/2014	aberta		2° Medição				
25/02/2014	07:00	0,150	1° Medição	0,145	24,000	0,011	967,535
25/02/2014	18:20	0,140	2° Medição				
26/02/2014	12:05	0,125	1° Medição	0,125	12,083	0,008	337,613
26/02/2014	fechada		2° Medição				
07/03/2014	14:45	0,150	1° Medição	0,150	9,250	0,012	405,475
07/03/2014	aberta		2° Medição				
08/03/2014	08:30	0,150	1° Medição	0,148	24,000	0,012	1009,262
08/03/2014	18:00	0,145	2° Medição				
09/03/2014	10:50	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
09/03/2014	18:30	0,140	2° Medição				
10/03/2014	09:10	0,140	1° Medição	0,140	24,000	0,010	887,205
10/03/2014	16:30	0,140	2° Medição				
11/03/2014	08:10	0,135	1° Medição	0,135	24,000	0,009	810,984
11/03/2014	16:30	0,135	2° Medição				
12/03/2014	09:00	0,130	1° Medição	0,130	24,000	0,009	738,801
12/03/2014	17:00	0,130	2° Medição				
13/03/2014	07:50	0,130	1° Medição	0,130	24,000	0,009	738,801
13/03/2014	18:00	0,130	2° Medição				
14/03/2014	08:10	0,120	1° Medição	0,120	24,000	0,007	606,269
14/03/2014	15:00	0,120	2° Medição				
15/03/2014	08:00	0,120	1° Medição	0,119	24,000	0,007	587,722
15/03/2014	18:30	0,117	2° Medição				
16/03/2014	08:00	0,123	1° Medição	0,122	24,000	0,007	625,160
16/03/2014	17:30	0,120	2° Medição				
17/03/2014	08:30	0,120	1° Medição	0,120	12,250	0,007	309,450
17/03/2014	12:15	0,120	2° Medição				
						TOTAL	114.509,15 m³

Apêndice B – Tabela dos dados das anotações manuais área 2.

Método de Preparo e Semeadura CULTIVO MÍNIMO							
Sistema de condução da água: ( ) Gravidade (x) Bombeamento							
Forma de Abastecimento: (x) Rio ( ) Barragem ( ) Outros:							
Anotador: [redacted] **Município: Passo da Cruz - São Pedro do Sul**							
Vertedor Triangular de Soleira Delgada / α = 90°							
Data	**Hora**	**Nível (m)**	**Observações**	**Nível Médio**	**Tempo(h)**	**Vazão (m³/s)**	**Volume (m³)**
03/01/2014	11:50	0,24	1° Medição	0,24	12,167	0,039	1702,824
03/01/2014	19:30	0,24	2°Medição				
04/01/2014	00:00	0,24	1° Medição	0,24	20,666	0,039	2892,375
04/01/2014	07:30	0,24	2°Medição				
09/01/2014	18:15	0,23	1° Medição	0,23	5,750	0,035	724,456
09/01/2014	00:00	0,23	2°Medição				
10/01/2014	00:00	0,23	1° Medição	0,23	8,000	0,035	1007,939
10/01/2014	08:00	0,23	2°Medição				
22/01/2014	18:30	0,22	1° Medição	0,22	5,500	0,031	620,902
22/01/2014	00:00	0,22	2°Medição				
23/01/2014	00:00	0,22	1° Medição	0,22	6,166	0,031	696,088
23/01/2014	01:20	0,22	2°Medição				
27/01/2014	18:40	0,22	1° Medição	0,22	5,333	0,031	602,049
27/01/2014	00:00	0,22	2°Medição				
28/01/2014	00:00	0,22	1° Medição	0,22	15,500	0,031	1749,815
28/01/2014	15:30	0,22	2°Medição				
03/02/2014	09:45	0,22	1° Medição	0,22	14,250	0,031	1608,701
03/02/2014	00:00	0,22	2°Medição				
04/02/2014	00:00	0,22	1° Medição	0,22	7,833	0,031	884,311
04/02/2014	07:50	0,22	2°Medição				
11/02/2014	17:50	0,22	1° Medição	0,22	6,916	0,031	780,756
11/02/2014	00:00	0,22	2°Medição				
12/02/2014	09:10	0,22	1° Medição	0,22	4,916	0,031	554,974
12/02/2014		0,22	2°Medição				
18/02/2014	08:35	0,22	1° Medição	0,22	14,333	0,031	1618,071
18/02/2014	21:00	0,22	2°Medição				
19/02/2014		0,22	1° Medição	0,22	7,000	0,031	790,239
19/02/2014	07:00	0,22	2°Medição				
09/03/2014	10:20	0,22	1° Medição	0,22	12,583	0,031	1420,511
09/03/2014	22:30	0,22	2°Medição				
10/03/2014	00:00	0,22	1° Medição	0,22	10,500	0,031	1185,359
10/03/2014	10:30	0,22	2°Medição				
						TOTAL	18.839,37 m³

Apêndice C – Tabela com os dados da análise estatística da comparação das médias dos volumes estimados pelos sorteios com o volume real na área 1.

Data	Média Volume (m³)	Desvio Padrão	N° de Sorteios	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Volume Real (m³)	p-Valor
26/11/2013	631,369	18,926	100	627,614	635,124	634,587	0,092
27/11/2013	1283,080	66,959	100	1269,794	1296,366	1282,267	0,904
28/11/2013	1321,349	15,868	100	1318,201	1324,498	1320,168	0,458
29/11/2013	1316,130	16,610	100	1312,834	1319,426	1316,588	0,784
30/11/2013	1298,901	17,682	100	1295,392	1302,409	1301,220	0,193
01/12/2013	1301,655	14,783	100	1298,721	1304,588	1299,377	0,127
02/12/2013	442,827	5,239	100	441,787	443,866	443,106	0,595
16/12/2013	719,285	11,617	100	716,979	721,590	720,813	0,191
17/12/2013	1314,721	17,641	100	1311,220	1318,221	1315,961	0,484
18/12/2013	1093,985	84,715	100	1077,176	1110,795	1092,829	0,892
19/12/2013	907,855	19,315	100	904,022	911,687	908,366	0,792
20/12/2013	866,971	14,446	100	864,105	869,838	866,589	0,792
21/12/2013	1482,908	14,747	100	1479,982	1485,834	1481,022	0,204
22/12/2013	3002,900	36,633	100	2995,632	3010,169	3003,026	0,973
23/12/2013	3024,816	40,570	100	3016,766	3032,866	3023,899	0,822
24/12/2013	3004,806	36,426	100	2997,579	3012,034	3003,548	0,731
25/12/2013	2935,298	34,278	100	2928,497	2942,100	2934,692	0,860
26/12/2013	2856,973	31,686	100	2850,686	2863,260	2859,566	0,415
27/12/2013	2699,145	45,882	100	2690,041	2708,248	2694,643	0,329
28/12/2013	2475,451	44,583	100	2466,605	2484,298	2476,319	0,846
29/12/2013	2108,913	54,864	100	2098,026	2119,799	2111,571	0,629
30/12/2013	2134,151	26,744	100	2128,844	2139,457	2134,357	0,939
31/12/2013	2044,672	72,996	100	2030,188	2059,156	2044,730	0,994
01/01/2014	1704,760	70,165	100	1690,838	1718,682	1702,674	0,767
02/01/2014	1799,261	83,514	100	1782,690	1815,832	1796,685	0,758
03/01/2014	2186,112	41,545	100	2177,869	2194,356	2184,717	0,738
04/01/2014	2121,974	94,189	100	2103,285	2140,664	2125,136	0,738
05/01/2014	1802,914	22,950	100	1798,360	1807,468	1805,436	0,274
06/01/2014	1408,172	307,172	100	1347,222	1469,121	1407,841	0,991
07/01/2014	1012,000	41,602	100	1003,745	1020,255	1013,254	0,764
08/01/2014	902,288	15,246	100	899,263	905,313	903,836	0,313
09/01/2014	780,595	20,250	100	776,576	784,613	778,470	0,297
10/01/2014	657,351	49,067	100	647,615	667,087	656,887	0,925
11/01/2014	259,214	6,280	100	257,967	260,460	259,682	0,457
16/01/2014	558,038	8,261	100	556,399	559,677	557,403	0,444
17/01/2014	1501,553	124,007	100	1476,947	1526,159	1501,379	0,989
18/01/2014	1665,879	83,823	100	1649,247	1682,511	1667,520	0,845
19/01/2014	1660,607	99,333	100	1640,796	1680,419	1659,210	0,889
20/01/2014	2115,603	42,401	100	2107,190	2124,016	2116,045	0,917
21/01/2014	956,416	14,799	100	953,479	959,352	957,270	0,565
22/01/2014	438,622	71,966	100	424,342	452,901	437,845	0,914

23/01/2014	217,183	10,462	100	215,107	219,259	218,352	0,266
24/01/2014	3654,592	84,497	100	3637,826	3671,358	3651,139	0,684
25/01/2014	3778,998	56,003	100	3767,886	3790,111	3779,535	0,924
26/01/2014	1507,223	17,284	100	1503,793	1510,652	1506,312	0,599
27/01/2014	1433,766	21,877	100	1429,425	1438,107	1431,416	0,285
28/01/2014	1351,321	38,886	100	1343,605	1359,036	1350,117	0,758
29/01/2014	1397,280	52,445	100	1386,874	1407,687	1395,251	0,700
30/01/2014	1338,467	48,554	100	1328,833	1348,101	1337,281	0,808
31/01/2014	1284,836	38,123	100	1277,272	1292,401	1281,896	0,442
01/02/2014	1264,442	24,459	100	1259,191	1266,524	1266,524	0,433
02/02/2014	943,697	52,117	100	933,355	954,038	945,960	0,665
03/02/2014	828,899	21,180	100	824,696	833,102	826,796	0,323
04/02/2014	802,894	16,605	100	799,599	806,189	800,880	0,228
05/02/2014	821,072	16,716	100	817,755	824,389	820,072	0,551
06/02/2014	720,124	16,095	100	716,930	723,318	721,145	0,527
07/02/2014	1700,777	26,698	100	1695,480	1706,075	1698,511	0,398
08/02/2014	2161,787	29,380	100	2155,958	2167,617	2164,849	0,300
09/02/2014	937,980	44,466	100	929,157	946,803	938,264	0,949
10/02/2014	735,640	13,703	100	732,921	738,359	736,704	0,439
11/02/2014	651,205	16,319	100	647,966	654,443	651,130	0,964
12/02/2014	1296,869	15,912	100	1293,712	1300,027	1296,281	0,712
13/02/2014	1876,552	23,075	100	1871,973	1881,130	1877,276	0,754
14/02/2014	1738,544	20,841	100	1734,408	1742,679	1735,904	0,208
15/02/2014	1615,777	24,629	100	1610,890	1620,663	1614,129	0,505
16/02/2014	1499,084	20,589	100	1494,999	1503,170	1501,187	0,310
17/02/2014	1400,315	16,746	100	1396,992	1403,638	1399,634	0,685
18/02/2014	1280,362	19,427	100	1276,507	1284,216	1280,724	0,852
19/02/2014	744,428	26,260	100	739,217	749,638	745,977	0,556
24/02/2014	219,496	12,049	100	217,105	221,887	220,615	0,355
25/02/2014	928,244	64,378	100	915,470	941,018	930,834	0,688
26/02/2014	283,460	18,085	100	279,872	287,048	281,727	0,340
07/03/2014	369,188	4,867	100	368,222	370,153	369,374	0,703
08/03/2014	890,443	15,909	100	887,287	893,600	890,821	0,813
09/03/2014	834,474	14,594	100	831,578	837,369	833,213	0,390
10/03/2014	813,016	14,837	100	810,072	815,960	813,974	0,520
11/03/2014	795,726	35,207	100	788,740	802,712	796,529	0,820
12/03/2014	503,279	25,932	100	498,134	508,425	501,677	0,538
13/03/2014	532,761	10,670	100	530,644	534,878	534,508	0,105
14/03/2014	499,427	14,890	100	496,457	502,397	501,438	0,182
15/03/2014	428,073	13,489	100	425,396	430,749	429,429	0,317
16/03/2014	368,551	7,646	100	367,034	370,068	369,676	0,145
17/03/2014	209,832	7,945	100	208,256	211,408	210,435	0,450

Apêndice D – Tabela com os dados da análise estatística da comparação das médias dos volumes estimados pelos sorteios com o volume estimado pelos dados manuais na área 1.

Data	Média Volume (m³)	Desvio Padrão	N° de Sorteios	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Volume Real (m³)	p-Valor
26/11/2013	631,369	18,926	100	627,614	635,124	458,981	0,000
27/11/2013	1283,080	66,959	100	1269,794	1296,366	1052,042	0,000
28/11/2013	1321,349	15,868	100	1318,201	1324,498	1052,042	0,000
29/11/2013	1316,130	16,610	100	1312,834	1319,426	1052,042	0,000
30/11/2013	1298,901	17,682	100	1295,392	1302,409	1052,042	0,000
01/12/2013	1301,655	14,783	100	1298,721	1304,588	1052,042	0,000
02/12/2013	442,827	5,239	100	441,787	443,866	354,319	0,000
16/12/2013	719,285	11,617	100	716,979	721,590	495,948	0,000
17/12/2013	1314,721	17,641	100	1311,220	1318,221	887,205	0,000
18/12/2013	1093,985	84,715	100	1077,176	1110,795	1052,042	0,000
19/12/2013	907,855	19,315	100	904,022	911,687	1052,042	0,000
20/12/2013	866,971	14,446	100	864,105	869,838	1052,042	0,000
21/12/2013	1482,908	14,747	100	1479,982	1485,834	1676,842	0,000
22/12/2013	3002,900	36,633	100	2995,632	3010,169	3358,996	0,000
23/12/2013	3024,816	40,570	100	3016,766	3032,866	3358,996	0,000
24/12/2013	3004,806	36,426	100	2997,579	3012,034	3023,816	0,000
25/12/2013	2935,298	34,278	100	2928,497	2942,100	3023,816	0,000
26/12/2013	2856,973	31,686	100	2850,686	2863,260	2864,036	0,028
27/12/2013	2699,145	45,882	100	2690,041	2708,248	2709,391	0,028
28/12/2013	2475,451	44,583	100	2466,605	2484,298	2709,391	0,000
29/12/2013	2108,913	54,864	100	2098,026	2119,799	2559,827	0,000
30/12/2013	2134,151	26,744	100	2128,844	2139,457	2275,725	0,000
31/12/2013	2044,672	72,996	100	2030,188	2059,156	2141,074	0,000
01/01/2014	1705,366	70,259	100	1691,353	1719,379	2011,283	0,000
02/01/2014	1799,261	83,514	100	1782,690	1815,832	1886,293	0,000
03/01/2014	2186,112	41,545	100	2177,869	2194,356	2415,290	0,000
04/01/2014	2121,974	94,189	100	2103,285	2140,664	2141,074	0,045
05/01/2014	1802,914	22,950	100	1798,360	1807,468	1886,293	0,000
06/01/2014	1408,172	307,172	100	1347,222	1469,121	1650,482	0,000
07/01/2014	1012,000	41,602	100	1003,745	1020,255	1140,793	0,000
08/01/2014	902,288	15,246	100	899,263	905,313	887,205	0,000
09/01/2014	780,595	20,250	100	776,576	784,613	738,801	0,000
10/01/2014	657,351	49,067	100	647,615	667,087	670,587	0,008
11/01/2014	259,214	6,280	100	257,967	260,460	233,666	0,000
16/01/2014	558,038	8,261	100	556,399	559,677	627,010	0,000
17/01/2014	1501,553	124,007	100	1476,947	1526,159	1433,166	0,000
18/01/2014	1665,879	83,823	100	1649,247	1682,511	1433,166	0,000
19/01/2014	1660,607	99,333	100	1640,796	1680,419	1650,482	0,313
20/01/2014	2115,603	42,401	100	2107,190	2124,016	2011,283	0,000

21/01/2014	956,416	14,799	100	953,479	959,352	1096,554	0,000
22/01/2014	438,622	71,966	100	424,342	452,901	545,772	0,000
23/01/2014	217,183	10,462	100	215,107	219,259	545,772	0,000
24/01/2014	3654,592	84,497	100	3637,826	3671,358	3606,618	0,000
25/01/2014	3778,998	56,003	100	3767,886	3790,111	3494,442	0,000
26/01/2014	1507,223	17,284	100	1503,793	1510,652	1433,166	0,000
27/01/2014	1433,766	21,877	100	1429,425	1438,107	1433,166	0,784
28/01/2014	1351,321	38,886	100	1343,605	1359,036	1433,166	0,000
29/01/2014	1397,280	52,445	100	1386,874	1407,687	1433,166	0,000
30/01/2014	1338,467	48,554	100	1328,833	1348,101	1331,291	0,143
31/01/2014	1284,836	38,123	100	1277,272	1292,401	1233,855	0,000
01/02/2014	1264,442	26,459	100	1259,191	1269,692	1052,042	0,000
02/02/2014	943,697	52,117	100	933,355	954,038	967,535	0,000
03/02/2014	828,899	21,180	100	824,696	833,102	887,205	0,000
04/02/2014	802,894	16,605	100	799,599	806,189	887,205	0,000
05/02/2014	821,072	16,716	100	817,755	824,389	848,585	0,000
06/02/2014	720,124	16,095	100	716,930	723,318	810,984	0,000
07/02/2014	1700,777	26,698	100	1695,480	1706,075	1865,654	0,000
08/02/2014	2161,787	29,380	100	2155,958	2167,617	2325,137	0,000
09/02/2014	937,980	44,466	100	929,157	946,803	1052,042	0,000
10/02/2014	735,640	13,703	100	732,921	738,359	887,205	0,000
11/02/2014	651,205	16,319	100	647,966	654,443	810,984	0,000
12/02/2014	1296,869	15,912	100	1293,712	1300,027	1446,677	0,000
13/02/2014	1876,552	23,075	100	1871,973	1881,130	1886,293	0,000
14/02/2014	1738,544	20,841	100	1734,408	1742,679	1650,482	0,000
15/02/2014	1615,777	24,629	100	1610,890	1620,663	1650,482	0,000
16/02/2014	1499,084	20,589	100	1494,999	1503,170	1650,482	0,000
17/02/2014	1400,315	16,746	100	1396,992	1403,638	1539,542	0,000
18/02/2014	1280,362	19,427	100	1276,507	1284,216	1433,166	0,000
19/02/2014	744,428	26,260	100	739,217	749,638	970,373	0,000
24/02/2014	219,496	12,049	100	217,105	221,887	257,053	0,000
25/02/2014	928,244	64,378	100	915,470	941,018	967,535	0,000
26/02/2014	283,460	18,085	100	279,872	287,048	337,613	0,000
07/03/2014	369,188	4,867	100	368,222	370,153	405,475	0,000
08/03/2014	890,443	15,909	100	887,287	893,600	1009,262	0,000
09/03/2014	834,474	14,594	100	831,578	837,369	887,205	0,000
10/03/2014	813,016	14,837	100	810,072	815,960	887,205	0,000
11/03/2014	795,726	35,207	100	788,740	802,712	810,984	0,000
12/03/2014	503,279	25,932	100	498,134	508,425	738,801	0,000
13/03/2014	532,761	10,670	100	530,644	534,878	738,801	0,000
14/03/2014	499,427	14,890	100	496,457	502,397	606,269	0,000
15/03/2014	428,073	13,489	100	425,396	430,749	606,269	0,000
16/03/2014	368,551	7,646	100	367,034	370,068	625,160	0,000
17/03/2014	209,832	7,945	100	208,256	211,408	309,450	0,000

Apêndice E – Tabela com os dados da análise estatística da comparação das médias dos volumes estimados pelos sorteios com o volume estimado pelos dados manuais na área 2.

Data	Média Volume (m³)	Desvio Padrão	N° de Sorteios	IC – (-95 %)	IC – (+95 %)	Volume Real (m³)	p-Valor
03/01/2014	1572,114	70,160	100	1558,193	1586,036	1702,824	0,000
04/01/2014	2500,569	120,972	100	2476,565	2524,572	2892,375	0,000
09/01/2014	639,275	27,526	100	633,814	644,737	724,456	0,000
10/01/2014	814,759	27,524	100	809,298	820,221	1007,939	0,000
22/01/2014	588,949	17,553	100	585,466	592,432	620,902	0,000
23/01/2014	704,324	113,399	100	681,823	726,825	696,088	0,469
27/01/2014	624,004	14,450	100	621,137	626,871	602,049	0,000
28/01/2014	1691,145	60,854	100	1679,070	1703,220	1749,815	0,000
03/02/2014	1815,467	116,668	100	1792,318	1838,617	1608,701	0,000
04/02/2014	873,789	95,346	100	854,870	892,708	884,311	0,272
11/02/2014	796,070	27,729	100	790,568	801,572	780,756	0,000
12/02/2014	595,267	67,345	100	581,905	608,630	554,974	0,000
18/02/2014	1764,403	59,519	100	1752,593	1776,213	1618,071	0,000
19/02/2014	714,983	66,191	100	701,850	728,117	790,239	0,000
09/03/2014	1595,552	50,101	100	1585,611	1605,493	1420,511	0,000
10/03/2014	1127,240	22,419	100	1122,791	1131,688	1185,359	0,000