

ADEQUAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA E DA POTÊNCIA INSTALADA EM SISTEMAS DE RECALQUE PARA O AR- ROZ NA DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

por

Henrique Cunha Corrêa

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Dr. – Ing. Osvaldo König

Santa Maria, RS, Brasil

2007

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

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

**ADEQUAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA E DA POTÊNCIA INSTALADA
EM SISTEMAS DE RECALQUE PARA O ARROZ NA DEPRESSÃO
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por
Henrique Cunha Corrêa

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Oswaldo König, Dr. Ing.
(Presidente Orientador)

Luis Antonio de Avila, Dr. (UFSM)

Luiz Carlos P. Martini, Dr. (UFSC)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Fermino Antonio e Maria Aparecida pela educação e valores a mim transmitidos e aos meus irmãos Vicente e Izabel pelo amor incondicional.

Aos meus tios Pedro e Maria Bernadete por toda ajuda quando mais foram necessárias.

Ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade a mim ofertada.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Ing. Osvaldo König pelos conhecimentos transmitidos, pela dedicação, confiança e amizade a mim depositados.

Aos amigos e colegas de Grupo NUMIR, João Fernando, Paulo, Josué, Toshio pela convivência, amizade e auxílio sempre quando necessário.

Ao Werner e Herbert Arns pela estrutura e apoio dado a coleta de dados na minha querida cidade de Uruguaiana.

Aos demais Professores e colegas do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pelos conhecimentos adquiridos.

A todos que de uma maneira ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

ADEQUAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA E DA POTÊNCIA INSTALADA EM SISTEMAS DE RECALQUE PARA O ARROZ NA DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL.

AUTOR: Henrique Cunha Corrêa

ORIENTADOR: Osvaldo König

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007.

É incontestável a relevância da cultura do arroz para a economia do Rio Grande do Sul. São plantados anualmente em torno de um milhão de hectares, os quais são irrigados por inundação contínua, exigindo elevada demanda hídrica. O suprimento hídrico do cultivo é atendida em 70% da área através de sistemas de recalque (bombeamento), representando uma parcela apreciável do custo de produção e compreendendo, entre custos diretos e indiretos, 27% do custo total. Evidencia-se assim a necessidade de redução no consumo de água e energia, objeto de várias ações oficiais e privadas empreendidas nos últimos anos com vistas a preservar os mananciais, reduzir custos e contornar conflitos no acesso à água. O foco do presente trabalho voltou-se para a busca de uma ferramenta de planejamento de fácil e ágil aplicação, visando subsidiar os dimensionamentos de sistemas de recalque para a irrigação do arroz. Partiu-se de dados reais típicos relativos ao sistema solo-planta-clima da Região Orizícola da Depressão Central, estabelecendo-se um procedimento de cálculo baseado no balanço hídrico simplificado adaptado ao sistema "lavoura de arroz". Foram calculadas as demandas hídricas instantâneas para as fases de inundação inicial e para a manutenção da inundação até o final do ciclo de irrigação. Objetivando a redução tanto das vazões quanto das potências instaladas, foi adotado um fracionamento das áreas totais estabelecidas na simulação (entre 10 e 190ha, em incrementos de 20ha), com conseqüente escalonamento temporal do processo de irrigação. Atingiu-se dessa forma uma redução de até 64% na vazão de inundação inicial e de até 63% na potência instalada elétrica dos sistemas de recalque, quando comparados a processo de inundação simultânea das áreas totais das lavouras. Aplicando análise de regressão foram ajustadas equações que permitem estimar vazões e potências requeridas em função de áreas totais de lavoura no intervalo de áreas da simulação. Este recurso possibilita o planejamento de lavouras no tocante às vazões mínimas requeridas para inundação inicial e para o suprimento de manutenção, bem como em relação ao pré-dimensionamento das potências elétricas mínimas correspondentes, contemplando sistemas de recalque na modalidade de instalações em paralelo (dois ou mais conjuntos motor-bomba). Foram igualmente calculados os módulos de irrigação (vazões específicas expressas em $l.s^{-1}.ha^{-1}$) para as fases de inundação inicial e de manutenção. Os resultados obtidos permitem aplicações no planejamento regional (alocação de recursos hídricos), no planejamento de formação de lavouras, na estimativa de volumes totais de demanda, em pré-dimensionamentos de estações de bombeamento, em ações de re-engenharia de instalações existentes e no processo de outorga de direito de uso da água.

Palavras Chave: irrigação por inundação, vazão específica, arroz, planejamento.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduation Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria – RS, Brazil

ADJUSTMENT OF THE HYDRIC DEMAND AND INSTALLED POWER OF PUMPING STATION FOR RICE OF THE CENTRAL DEPRESSION IN RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Henrique Cunha Corrêa

ADVISOR: Osvaldo König

Date and local of presentation: Santa Maria, February 28th, 2007.

The rice culture for Rio Grande do Sul economy is of great relevance. Annually, around one million of hectares are planted. As it is a culture irrigated by a continuum flood, the supply of the high hydric demand is done in 70% of the area through pumping station, representing a significant portion of the production costs. Associate with this fact, there is a necessity in reducing water and energy consumption, object of several official and private actions undertaken in the latest years with the object of preserving the sources, reducing costs and contouring conflicts in the water access. The objective of this work was to find an easily and quickly way of planning, trying to help the extensions of the pumping station to rice irrigation. Real known data were used related to the ground-plant-climate system of the Central Depression rice culture region, doing a calculation based in the simplified hydric balance adapted to the “rice farming” system. Instantaneous hydric demands were calculated for the initial flood and for the maintenance of the flood until the end of the irrigation cycle. To reduce either outflows or installed powers was adopted a division of the total areas established in the simulation (between 10 and 190 ha), and after was done a temporal stagger of the sowing and the irrigation process. A reduction of 64% in the outflow of the initial flow was attained and 63% in the installed electrical powers of the pumping station, when compared to the simultaneous flow process of the farming total areas. When it was used the regression analysis, were got equations for outflows adjustment and required power in operation of total areas for estimations in the intervals of the adopted areas in the work. The resource makes possible the previous planning of farmings relating to the instantaneous demand for initial flow and support supply, as well as in relation to the electrical powers, observing pumping stations in installations in parallel (two or more pump motor system) sets. Another possible application refers to the procedures of elaborating “Basin Administrative Committees and corresponding processes of warranting right of water use, in order to offer basic and trustful information to establish maximum cultivable areas because of the minimum availabilities established regionally to the activity.

Key words: flood irrigation, specific flow, rice, planning

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Sistema de captação de água, por área (ha) e percentual (%) nas regiões orizícolas do RS – safra 2004/2005.....	15
TABELA 2- Características gerais dos horizontes selecionados de solo de Unidade de Mapeamento Vacacaí do RS.....	21
TABELA 3- Parâmetros agronômicos e hídricos de entrada para a simulação.....	31
TABELA 4- Resultados físico-hídricos de um Planossolo (unidade de mapeamento Vacacaí, RS). Média de quatro repetições.....	38
TABELA 5- Valores calculados de: (Qit) vazão mínima de inundação inicial simultânea da área total; (Qin) vazão máxima de inundação inicial escalonada e (Qrm) vazão reduzida média de manutenção da inundação, para áreas totais de lavoura de 10 a 190 ha.....	42
TABELA 6- Vazões específicas (módulos de irrigação) para a fase de inundação inicial na modalidade escalonada para áreas totais irrigadas de 10 a 190ha.	45
TABELA 7- Valores calculados das potências elétricas totais instaladas [Pm = motor(es)] , em kW, para áreas totais de lavoura de 10 a 190 ha, correspondentes às vazões de inundação simultânea, escalonada e de manutenção.	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Esquema do balanço hídrico no sistema “lavoura de arroz” .	20
FIGURA 2- Esquema simplificado parcial de lavoura de arroz irrigado (perfil edáfico e dinâmica hídrica).	31
FIGURA 3- Esquema do progresso da inundação inicial em relação à área total	33
FIGURA 4- Vazões calculadas (Q_{it}, Q_{in} e Q_{rm}) para as áreas de 10 a 190 ha.	43
FIGURA 5- Regressão linear das vazões de inundação inicial simultânea da área total (Q_{it}) e áreas totais entre 10 e 190 ha.	43
FIGURA 6- Regressão linear das vazões de inundação inicial escalonada (Q_{in}) e áreas totais de 10 a 190 ha.	44
FIGURA 7- Regressão linear das vazões reduzidas de manutenção (Q_{rm}) e áreas totais de lavoura selecionadas na simulação.	44
FIGURA 8- Regressões das vazões específicas aparente e efetiva	46
FIGURA 9- Regressão linear da potência instalada (P_m) para vazão de inundação inicial simultânea da área total (Q_{it}).	47
FIGURA 10- Regressão da potência elétrica instalada (P_m) para vazão de inundação inicial escalonada (Q_{in}).	48
FIGURA 11- Regressão linear da potência elétrica instalada (P_m) para vazão reduzida de manutenção (Q_{rm}).	48
FIGURA 12- Fracionamento das potências elétricas totais instaladas (P_m) para as vazões de inundação inicial escalonada (Q_{in}) e de manutenção (Q_{rm}) por área total de lavoura.	49

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Evaporação da água medida no Tanque Classe 'A' (ECA) instalado na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, para os meses de outubro de 2005 a dezembro 2005.	60
APÊNDICE B - Evaporação da água medida no Tanque Classe 'A' (ECA) instalado na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, para os meses de janeiro de 2006 a março de 2006.	61
APÊNDICE C - Adequação de instalações de bombeamento para irrigação do arroz – inundação contínua.	62
APÊNDICE D - Resumo dos resultados das vazões Q_{it} , Q_{ni} e Q_{rm} , para área de 90 ha	63
APÊNDICE E - Diâmetros das tubulações para as vazões Q_{it} , Q_{ni} e Q_{rm} , para área de 90 ha.	64
APÊNDICE F - Seleção da bomba hidráulica e da potência do motor para a vazão Q_{it} para área de 90 ha.	65
APÊNDICE G - Seleção da bomba hidráulica e da potência do motor para a vazão Q_{in} para área de 90 ha.	66
APÊNDICE H - Seleção da bomba hidráulica e da potência do motor para a vazão Q_{rm} para área de 90 ha.	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. A situação orizícola na Depressão Central do Rio Grande do Sul.	15
2.2. Irrigação por superfície (ou gravidade).....	16
2.3. Demanda hídrica em lavoura de arroz	17
2.4. Modelos para estimativa da demanda da hídrica.....	18
2.4.1. Saturação do solo (ΔW)	20
2.4.2. Profundidade de irrigação (perfil de interesse agrônômico)	21
2.4.3. Lâmina de inundação superficial (L).....	21
2.4.4. Perdas de água pelo “sistema lavoura de arroz”	22
2.4.5. Evapotranspiração máxima da cultura (ET _m)	23
2.5. Estações elevatórias para irrigação do arroz e potências instaladas.....	24
2.6. Dimensionamento das tubulações	25
2.7. Custo anual do bombeamento.....	26
2.8. Solos	28
2.8.1. Planossolo Hidromórfico eutrófico Vacacaí (Unidade de Mapeamento Vacacaí).....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Método de cálculo adotado na simulação das demandas hídricas.....	30

3.1.1. Procedimento de cálculo da demanda hídrica instantânea (vazão) para a fase de inundação inicial da lavoura.	32
3.1.1.1 Volume unitário para saturar o solo (perfil acima da camada de impedimento) (V_1)	32
3.1.1.2. Volume unitário para formar a lâmina superficial média de água (V_2)	32
3.1.1.3. Volume unitário para repor as perdas por evaporação durante a inundação (V_3)	32
3.1.1.4. Demanda hídrica de inundação inicial simultânea da área total da lavoura	33
3.1.1.5. Procedimento de cálculo para a redução da vazão de inundação inicial.....	34
3.1.2. Procedimento de cálculo da vazão reduzida de manutenção da inundação, depois de completada a inundação inicial da lavoura.	35
3.2. Solo	37
3.3. Caracterização climática	38
3.4. Cultivar.....	38
3.5. Áreas totais de lavoura (A_T)	39
3.6. Prazo para inundação inicial (P_i)	39
3.7. Evapotranspiração da cultura do arroz (ET_m).....	39
3.8. Jornada de trabalho do sistema (J_t).....	40
3.9. Lâmina superficial de inundação (h_i)	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Demandas hídricas instantâneas para a inundação inicial e posterior manutenção da inundação.....	41
4.2. Análise de regressão das vazões calculadas.....	43
4.3. Vazões específicas (módulos de irrigação).....	45

4.4. Demandas de potência instalada para os sistemas de recalque simulados.....	46
4.5. Análise de regressão das potências instaladas calculadas.	47
5. CONCLUSÕES	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é a atividade humana que mais consome os recursos hídricos do planeta. Este consumo se deve, em grande parte, à irrigação. Cerca de 18% das áreas utilizadas no mundo para a agricultura são irrigadas. No entanto, a agricultura irrigada contribui com aproximadamente metade do valor da produção mundial dos alimentos. Em 1995, a área irrigada no mundo era de 254 milhões de hectares, com expectativa de aumento de 30% até 2025. Entretanto, a proporção de água utilizada na agricultura deverá diminuir devido principalmente ao aumento na demanda da indústria e do uso público (SHIKLOMANOV, 1998). Dos 18% das terras cultivadas no mundo com irrigação, aproximadamente 56% são irrigados por métodos de superfície (ou gravidade). Em 2002 estimou-se uma área irrigada no Brasil de 3,15 milhões de hectares, distribuídos entre os seguintes métodos: irrigação por superfície (33,65%), irrigação sub-superficial (18,23%), irrigação por aspersão convencional (19,54%), irrigação por pivô central (20,69%) e irrigação localizada (7,89%) (CHRISTOFIDIS 2002).

Dentre as práticas agrícolas atualmente em uso, a irrigação é provavelmente uma das mais antigas. O seu surgimento confunde-se com o aparecimento das mais antigas civilizações. A irrigação dos campos com objetivos agrícolas sempre foi intensamente praticada pela maioria dos povos que habitaram a terra, em diferentes épocas e continentes (TESTESLAF, 1992).

Cultivado em 150 milhões de hectares, com uma produção mundial de 600 milhões de toneladas em base de casca, o arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004). Atualmente considerado o alimento de maior importância na maioria dos países em desenvolvimento, constitui dieta básica para aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas e, segundo estimativas, necessita-se aumentar sua oferta para atender a demanda do dobro desta população até 2050. Em 2004, o Brasil ocupava a nona posição entre os maiores produtores mundiais de arroz, contribuindo com 2,2% do total produzido no mundo (FAO, 2004).

Difundido largamente no país, o arroz é cultivado praticamente em todos os estados e consumido por todas as classes sociais, principalmente pelas de mais bai-

xa renda. O arroz ocupa posição de destaque do ponto de vista econômico e social, sendo responsável por suprir a população brasileira com um considerável aporte de calorias e proteínas na sua dieta básica (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

Atualmente, 70% da irrigação do arroz irrigado no Rio Grande do Sul é efetuada mediante sistemas de recalque mecanizados (bombas hidráulicas) e o custo direto da irrigação corresponde a cerca de 11,5% do custo total, tornando-se assim a água um dos fatores que contribui de forma significativa para o alto custo de produção hoje verificado (IRGA, 2006).

A irrigação por inundação é o método de irrigação em que a aplicação de água é feita mediante construção de bacias ou tabuleiros, ou seja, áreas quase planas, de tamanho variado, limitadas por diques ou taipas. É o principal método de irrigação usado na cultura do arroz, com inundação contínua ou permanente, durante grande parte do ciclo dessa cultura (BERNARDO, 2006). Nesse método, a distribuição de água é feita por gravidade, sendo que necessita de uma série de estruturas hidráulicas que assegurem um consumo hídrico de maneira regular. Exige ainda perfeito conhecimento da quantidade de água necessária e o tipo de abastecimento que se pretende fazer. O maior entrave é o custo inicial, na maioria das vezes, muito elevado. Para a elaboração de um projeto de irrigação, deve-se observar que a instalação deverá ser a mais eficiente, adaptável e econômica possível (BERTINI, 1976).

Em trabalho realizado por Marcolin (2000) na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, constatou-se que as potências nominais instaladas estavam entre 200% e 4250% acima das necessárias e que há desperdício de energia na irrigação de lavoura de arroz. Deve-se ressaltar que o acentuado crescimento da demanda de energia elétrica está se aproximando de forma preocupante à capacidade de oferta disponível no sistema elétrico.

Vianna (1997) destaca o aspecto histórico (a energia barata até a primeira crise mundial do petróleo, em 1973), sendo que as instalações de irrigação existentes foram implantadas quando o petróleo valia menos de US\$ 2/barril sendo compreensível que apresentasse, na época, uma eficiência extremamente baixa, assim sendo eram altamente consumidoras de energia e levando a um desperdício que em muitos casos superavam a 50% do consumo, gerando aumento considerável do cus-

to de produção e, conseqüentemente, reduzindo a já escassa lucratividade da atividade agrícola orizícola.

O presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver, avaliar e propor um procedimento de cálculo, mediante simulação com base em dados reais, através do qual se possa adequar agronômica e regionalmente as demandas hídricas instantâneas (vazões) para as fases de inundação inicial e de posterior manutenção da inundação em lavouras de arroz na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Com tal adequação visou-se subsidiar tecnicamente os processos de planejamento e de redimensionamento de sistemas elevatórios, contemplando a redução das demandas hídricas e das correspondentes potências instaladas dos sistemas de recalque mecânico destinadas à irrigação do arroz na região considerada.

Objetivos específicos:

1. Simular as demandas instantâneas (vazões mínimas de inundação inicial e reduzida de manutenção) para diferentes extensões totais de áreas de lavouras de arroz, cultivado nas condições edafo-climáticas da Depressão Central do Rio Grande do Sul;
2. Calcular as correspondentes potências elétricas instaladas mínimas requeridas, para adequar o dimensionamento de conjuntos elevatórios (pré-dimensionamento de sistemas de recalque) ao suprimento das vazões encontradas na simulação (1);
3. Ajustar equações a partir dos resultados obtidos nas simulações (1 e 2), para estimar, em 1ª aproximação, vazões e potências instaladas em função de áreas totais de lavoura no intervalo de áreas abrangido pelo estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A situação orizícola na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Na região da Depressão Central, a distribuição da área plantada correspondeu a 15% da produção do Estado do Rio Grande do Sul na safra 2004/2005, com um total plantado de 159.326 hectares (IRGA, 2006).

Ainda IRGA (2006), na Depressão Central existem 3.375 lavouras, distribuídas entre os municípios de Cachoeira do Sul, Rio Pardo, Candelária, Agudo, Restinga Seca, Santa Maria, São Sepé, Formigueiro, São Pedro do Sul e Caçapava do Sul.

O sistema de captação de água por instalação mecânica com acionamento por motor elétrico é utilizado para irrigar 56,6% da área total do estado, seguido pelo sistema natural (escoamento por gravidade), com 30% e por fim, o sistema mecânico com acionamento por motor de combustão a óleo diesel, com 13,4%. Na região da Depressão Central 43,8% da área é abastecida com sistema por gravidade, 34,3% com o sistema mecânico elétrico e 21,9% com sistema mecânico diesel (tabela 1).

Tabela 1- Sistema de captação de água, por área (ha) e percentual (%) nas regiões orizícolas do RS – safra 2004/2005.

Rio Grande do Sul	Mecânica diesel		Mecânica elétrica		Natural		Total
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	
Fronteira Oeste	16.831	6,7	198.502	79,0	35.826	14,3	251.159
Campanha	35.945	20,7	30.571	17,6	106.799	61,7	173.315
Depressão Central	34.786	21,9	54.574	34,3	65.519	43,8	158.879
Planície Costeira interna	14.372	11,1	56.412	43,7	58.414	45,2	129.198
Planície costeira externa	23.530	18,4	89.918	70,4	14.355	11,2	127.803
Zona Sul	10.201	6,0	142.678	83,3	18.336	10,7	171.215
SOMA	135.665		572.655		303.249		1.011.569
MÉDIA		13,4		56,6		30,0	

Fonte: IRGA, Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul: safra 2004/05, Equipe da Política Setorial e Núcleo de Assistência Técnica e Extensão (Nate).

Na Depressão Central predomina o sistema de captação mecânica de água (elevação por bombeamento), cobrindo 56,2% da área de plantio. No Estado do Rio Grande do Sul a irrigação por bombeamento já atinge 70% do total da área cultivada (IRGA 2006).

2.2. Irrigação por superfície (ou gravidade)

De acordo com Testeslaf (1992), o método de irrigação por superfície recebe também o nome de irrigação por gravidade, uma vez que a água é aplicada diretamente sobre a superfície e distribui-se na área pelo efeito da gravidade. Os métodos de irrigação por superfície, classificados de acordo com o tipo de aplicação de água utilizado, são os seguintes: irrigação por sulcos, por tabuleiros ou inundação e irrigação por faixas.

Bernardo (2006) diz que a irrigação por inundação em tabuleiros retangulares pequenos, em grandes e em tabuleiros em contornos é indicada para cultura do arroz irrigado, pomares, cereais, pastagens e capineiras.

Uma bacia de inundação ou tabuleiro é constituída de uma pequena área cercada de camalhões (taipas), de áreas quase planas, de tamanho variado, limitadas por diques ou taipas (WITHERS e VIPOND, 1977). É um dos métodos mais simples e mais usados, inclusive no Brasil, quando o manejo da irrigação é intermitente, sendo o principal método utilizado na cultura do arroz, com inundação contínua ou permanente, durante grande parte do ciclo dessa cultura (BERNARDO, 2006). Os tabuleiros são em nível ou com reduzidos gradientes de declive, envolvidas por pequenos diques e eles tem por finalidade conter uma pequena lâmina de água com cerca de 10 cm ou mais altura sobre a superfície do solo, sendo esta determinada em função das cultivares utilizadas, grau de infestação de plantas daninhas, condições de micro-relevo e pela necessidade de manter uma determinada temperatura no solo uma vez que a água funciona como um corpo termo-regulador (UFRGS, 1997).

Segundo Marcolin (2000), entre os sistemas de irrigação mais utilizados na lavoura arrozeira do Rio Grande do Sul estão a irrigação por inundação contínua dinâmica, isto é, em forma de fluxo circulante e a inundação por inundação contínua

estática, na qual é mantida uma lâmina de água estagnada nos quadros de arroz, do início até a maturação da cultura.

2.3. Demanda hídrica em lavoura de arroz

O consumo de água na lavoura de arroz irrigado por inundação contínua, é excessivo e pode ser reduzido, ocasionando um uso eficiente dos recursos hídricos (BELTRAME e GONDIN, 1982)

UFRGS (1997) diz que apesar deste método de irrigação ser conveniente para as condições do Estado, uma vez que apresenta potencial de produzir ótimos rendimentos, no cálculo das necessidades de irrigação da cultura raramente se considera os processos de evapotranspiração, retenção e movimento de água no solo.

Em geral no planejamento das lavouras, em especial no que diz respeito a quantificação da(s) vazão(ões) de projeto, são negligenciados aspectos e particularidades regionais/locais, sendo ainda adotados valores empíricos estipulados por Bernardes (1956), ou seja: vazões entre 1,7 e 3,0 l.s⁻¹. ha⁻¹.

Mais recentemente foram efetuados alguns estudos que aproximaram módulos médios de irrigação para os principais solos de várzea, referidos ao ciclo da cultura. Destacam-se neste sentido os trabalhos de Beltrame e Gondim (1982), e Beltrame e Louzada (1991), os quais se referem ao Planossolo hidromórfico eutrófico Vacacai (Streck et al.,2002), ocorrente na Depressão Central do Estado. Os módulos médios encontrados situam-se entre 1,02 l.s⁻¹.ha⁻¹ quando computada a contribuição da precipitação pluvial provável e 1,44 l.s⁻¹.ha⁻¹ sem a contribuição da precipitação, no primeiro caso. No segundo foi encontrado um valor de 1,72 l.s⁻¹.ha⁻¹.

Ainda UFRGS (1997) afirma que a água fornecida a uma lavoura de arroz irrigada por inundação contínua deve ser suficiente para manter o solo saturado, formar uma lâmina superficial e suprir as demandas relativas à evapotranspiração da cultura, drenagem profunda e percolação horizontal. Portanto, quantidades superiores às necessárias para atender os itens anteriores serão desperdiçadas, pois as mesmas simplesmente circularão na lavoura, sendo após eliminadas pelo sistema de drenagem superficial.

Para a situação do Rio grande do Sul, Dreyer (1972) estima as necessidades de irrigação do arroz em 1.500 mm, considerando um período de 100 dias de inundação contínua.

É evidente que quanto maior o consumo de água, isto é, a vazão média aduzida, tanto maior será a potencia média requerida, e por conseqüência, a energia total consumida (VIANNA, 1997). O mesmo autor diz ainda que a experiência mostra que, em geral, quanto maior a capacidade de suprimento, menos cuidado se tem com o manejo da água de irrigação, ampliando-se apenas as perdas e sem ganhos de produtividades.

2.4. Modelos para estimativa da demanda da hídrica

Vários modelos para estimativa da demanda hídrica para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul foram desenvolvidos, particularmente ao longo dos últimos 25 anos. Dentre eles destacam-se os propostos por Beltrame e Gondim (1982), Preussler et al. (1982), Fietz et al. (1986), Beltrame e Louzada (1991). Todos os modelos, porém, seguem essencialmente a expressão geral do balanço hídrico, baseada no princípio da conservação de massa, a qual, segundo Brunini et al. (1981) pode ser escrita na forma seguinte:

$$\int_{t_i}^{t_f} (P+I)dt = \int_{t_i}^{t_f} (ET+D_p)dt + \Delta W + S_R$$

em que:

t_i e t_f = intervalo de tempo (T);

P = precipitação ($L.T^{-1}$);

I = irrigação ($L.T^{-1}$);

ET = evapotranspiração ($L.T^{-1}$);

D_p = drenagem profunda ($L.T^{-1}$);

ΔW = variação no armazenamento de água do solo (L);

S_R = escoamento superficial (L).

De acordo com MOLEN & HOORN, citados por BELTRAN (1981), a expressão geral do balanço hídrico, quando aplicada ao sistema radicular de uma cultura irrigada, num determinado período de tempo, toma a seguinte configuração:

$$P+I+G=ET+R+S_R+\Delta W$$

em que:

P = precipitação (L);

I = irrigação (L);

G = ascensão capilar(L);

ET = evapotranspiração (L);

R = drenagem profunda (L);

S_R = escoamento superficial (L);

ΔW = variação no armazenamento de água do solo (L).

Destacam-se as seguintes considerações específicas para o caso do “sistema lavoura de arroz irrigado por inundação contínua”:

- û O termo ΔW representará a lâmina de água necessária para saturar o solo acima da camada de impedimento ao fluxo (barreira), mais a componente lâmina de inundação superficial (L);
- û A ascensão capilar (G) pode ser tomada como nula, uma vez que, estando o solo saturado, não existe a componente matricial (Ψ_m) do potencial de água no solo;
- û O componente de escoamento superficial (SR) pode ser considerado nulo, pois a lâmina de água superficial estará contida entre as taipas (ou diques), sendo desprezível o fluxo através das mesmas.
- û Faz-se necessário acrescentar a componente “percolação lateral” (QL), representando o fluxo horizontal sub-superficial que escoo lateralmente para fora da área da lavoura.

Uma forma simplificada do modelo citado é apresentada por UFRGS (1997), sintetizada na expressão abaixo, referida ao esquema da Figura 1, que ilustra os componentes do balanço hídrico:

$$I = \Delta W + L + Dp + ETm + QL - P$$

em que:

P = precipitação (mm);

I = irrigação (mm);

ΔW = lâmina necessária para saturar o solo (mm);

L = lâmina superficial de inundação (mm);

Dp = drenagem profunda (vertical) (mm);

ETm = evapotranspiração máxima da cultura (mm);

QL = percolação horizontal (lateral) (mm).

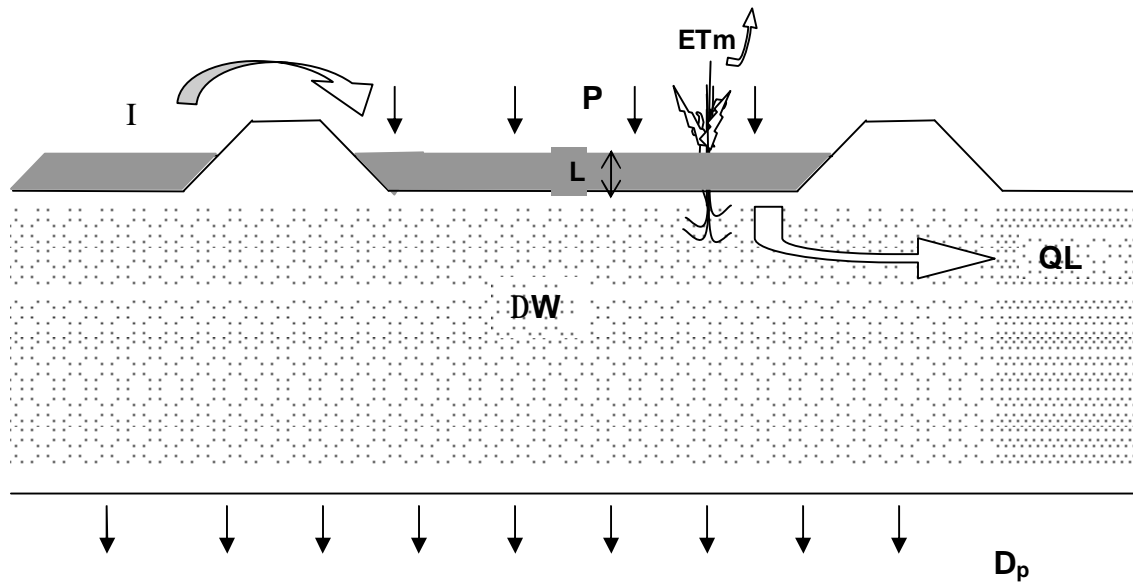


Figura 1- Esquema do balanço hídrico no sistema “lavoura de arroz”.

A fundamentação do modelo é descrita a seguir, seguindo em essência a equação acima, porém contemplando algumas adaptações e obedecendo a certas condições prévias que serão estabelecidas em função do propósito do presente estudo.

2.4.1. Saturação do solo (ΔW)

No cálculo da lâmina de água necessária para saturar o solo (perfil acima da camada de impedimento), emprega-se a seguinte expressão:

$$\Delta W = (q_s - q_i) \cdot PE$$

em que:

ΔW = lâmina de saturação (mm);

θ_s = umidade de saturação ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

θ_i = umidade do solo no início da irrigação ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

PE = profundidade efetiva do solo (mm).

Considera-se como profundidade efetiva a espessura do solo até o início da camada de impedimento (barreira), enquanto a umidade de saturação é assumida como equivalente ao volume da porosidade média da mesma camada do solo, expressa em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Para o conteúdo de água no solo no início da irrigação pode-se

adotar o equivalente à capacidade de campo, expressa em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, ou então considerar que o solo esteja no nível de 50% de saturação (0,5 Pt).

2.4.2. Profundidade de irrigação (perfil de interesse agrônômico)

A umidade excessiva dos solos de várzea está associada a um lençol freático próximo à superfície devido ao relevo e à presença de camadas impermeáveis no subsolo (KLAMT, 1985).

Predominam na Unidade de Mapeamento Vacacaí solos cuja drenagem é deficiente. A presença de lençol freático próximo à superfície é constante ao longo do ano (BELTRAME, et al., 1979). A principal característica desses solos de várzea é a deficiente drenagem natural, normalmente associada a um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a subsuperficial é praticamente impermeável (PAULETTO et al., 1998). Segundo Freitas (1978) apud Beltrame et al. (1979), a existência de uma camada impermeável à profundidade aproximada de 1000 mm é característica desta unidade, que faz parte da chamada várzea arrozeira do Estado.

Os solos da Unidade de Mapeamento Vacacaí com ocorrência na região da Depressão Central, possuem uma profundidade conforme Brasil (1973), que vai de 0 a 120 cm de espessura distribuídos nos horizontes que vão de A a Btg (tabela 2).

Tabela 2- Características gerais dos horizontes selecionados de solo de Unidade de Mapeamento Vacacaí do RS.

Classificação	Un. de Mapeamento	Horizontes	Espessura (cm)	Granulometria (%)			pH da água	Matéria Orgânica (%)	Ocorrência
				Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)			
Planossolos	Vacacaí	A	0-30	64	26	10	5,0	1,19	Depressão central
Textura média		E	45-60	67	29	4	5,3	0,24	
		Btg	70-120	44	22	34	5,4	0,47	

Fonte: BRASIL (1973)

2.4.3. Lâmina de inundação superficial (L)

Segundo Gomes et al (2004), no RS as lâminas adotadas variam de 5 a 15 cm e são selecionadas em função das variedades cultivadas, equidistância entre taipas e grau de infestação de ervas daninhas na lavoura.

Lâminas de água maiores que 10 cm, reduzem o número de perfilhos, as plantas de arroz se tornam mais altas, o que facilita o acamamento, aumentam as perdas de água por percolação e infiltração lateral e, em consequência de maior armazenamento de energia térmica, provocando também maior evaporação durante a noite (GOMES et al., 1998).

2.4.4. Perdas de água pelo “sistema lavoura de arroz”

As perdas de água numa lavoura de arroz estão representadas por 3 frações: evaporação, percolação ou drenagem profunda e percolação lateral.

a) Evaporação

É a perda verificada à partir da superfície de água resultante da inundação, a qual será mais pronunciada na fase de inundação inicial da lavoura e pode ser estimada pela equação:

$$h_{ev} = E_V * A * n$$

em que:

h_{ev} = perda por evaporação (m³/dia);

E_V = taxa de evaporação média diária (m);

A = área da superfície líquida (m²);

n = dias do intervalo considerado (fase de inundação).

b) Drenagem profunda (percolação vertical)

A perda de água por drenagem profunda representa a saída de água do sistema (Figura 1) através da camada de impedimento (barreira), mais comumente denominada de “camada impermeável”.

A quantificação do fluxo vertical descendente pode ser estimada através da aplicação da equação de Darcy, desde que se conheçam a condutividade hidráulica do perfil quanto o gradiente do potencial total ao longo da camada transmissora de água.

$$D_p = K_V * i$$

em que:

D_p = drenagem profunda (mm/d);

K_v = condutividade hidráulica saturada média (harmônica) do perfil (mm/d);
 $i = \frac{\Delta y}{\Delta L}$ = gradiente hidráulico vertical ao longo do perfil saturado incluindo a camada de impedimento.

c) Percolação lateral (fluxo horizontal sub-superficial)

Outra fração de perdas de água pelo sistema ocorre no contorno da lavoura no sentido direcional da área não irrigada (Figura 1). Da mesma forma como a percolação profunda, esta perda pode ser estimada pela equação de Darcy, adaptada ao fluxo horizontal (UFRGS, 1997):

$$Q_L = K_h * i * P_E * P_A$$

em que:

Q_L = percolação lateral (m³/ha.dia);

K_h = condutividade hidráulica saturada horizontal do solo (média ponderada) (m/d);

$i = \frac{\Delta y}{\Delta L}$ = gradiente hidráulico

P_E = profundidade do solo até a camada de impedimento (m);

P_A = relação perímetro (da lavoura)/área da lavoura (m/ha), obtido pela divisão do perímetro da lavoura (m) pela área da mesma (ha).

2.4.5. Evapotranspiração máxima da cultura (ET_m)

Doorenbos e Pruitt (1976) propõem que o cálculo da evapotranspiração máxima de uma cultura seja efetivado através da seguinte expressão:

$$E_{tm} = E_{to} \cdot K_c$$

em que:

E_{tm} = evapotranspiração máxima da cultura, em mm;

E_{to} = evapotranspiração de referência, em mm (referida no exemplo à evaporação do tanque Classe "A" ($E_{to} = E_{VA} * K_p$), sendo K_p = coeficiente de ajuste segundo tamanho e condições da bordadura do tanque, velocidade média do vento e umidade relativa do ar no entorno.

K_c = coeficiente cultural de demanda, adimensional; (médio para o ciclo ou por estágio de desenvolvimento) conforme tabela 3.

Tabela 3- Valores do coeficiente cultural Kc.

<i>Período da cultura</i>	<i>Kc</i>
12 primeiros dias	1,6
12° dia até diferenciação do primórdio floral	1,6
<i>Período vegetativo</i>	1,6
Diferenciação do primórdio floral à floração	2,1
Floração à maturação	1,4
<i>Período reprodutivo</i>	1,7

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1976)

2.5. Estações elevatórias para irrigação do arroz e potências instaladas.

No suprimento de água para irrigação do arroz por sistemas de recalque (estações de bombeamento), são empregadas bombas centrífugas, tanto de fluxo radial, fluxo misto e fluxo axial, de médias a altas vazões, as quais são acionadas ou por motores elétricos ou por motores de combustão a óleo diesel.

O conjunto elevatório (bomba-motor) deverá vencer a diferença de nível entre o nível dinâmico da água no manancial (rio, açude ou poço tubular) e o ponto de descarga da tubulação de recalque (canal principal de distribuição) mais as perdas de carga em todo o percurso (perda por atrito ao longo da canalização e perdas localizadas devidas às peças especiais) (AZEVEDO NETTO, 1998).

A potência instalada do conjunto é a potência do motor que aciona a bomba, a qual é determinada em função da potência requerida pela bomba visando atender a uma vazão previamente calculada. Esta potência é expressa em CV ou em HP e é calculada segundo a expressão:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_{man}}{75 \cdot \eta}$$

em que:

P = potência em CV ou, praticamente em HP*;

γ = peso específico do líquido a ser elevado;

Q = vazão ou descarga, em m³. s⁻¹;

H_{man} = altura manométrica total em m;

η = rendimento global do conjunto elevatório; ($\eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$)

O rendimento global das instalações de bombeamento que empregam bombas centrífugas varia de acordo com o tamanho, tipo da bomba e condições de operação, podendo variar entre 40% (pequenas bombas) e superiores a 85% (grandes bombas). Valores aceitáveis para bombas pequenas e médias estão entre 60% e 75%, respectivamente (MACINTYRE, 1982).

Segundo Vianna (1997), o desperdício verificado nas instalações em lavouras de arroz no Rio Grande do Sul, em muitos casos supera 50% do consumo energético, sendo a causa desse desperdício uma combinação de: a) excessivo consumo de água (em média 20% maior que o necessário), b) altura manométrica total muito alta (falhas no dimensionamento das tubulações), baixo rendimento da transmissão (acoplamento motor-bomba) e rendimentos baixos das próprias bombas (problemas na seleção dos equipamentos).

Isto demonstra a importância do adequado dimensionamento tanto das demandas hídricas requeridas pela cultura, expressas em vazões a serem recalçadas, quanto das instalações de bombeamento, nas quais as tubulações representam um fator importante.

2.6. Dimensionamento das tubulações

Segundo Gomes (1997), entre as várias etapas necessárias para a elaboração de um projeto irrigação pressurizado se encontra a de dimensionamento das tubulações. Estas devem ser capazes de transportar e abastecer em cada tomada de água a vazão requerida pelo projeto, à pressão adequada para a irrigação. A solução do problema se baseia na hidráulica dos condutos forçados e possui também um componente econômico fundamental, como é habitual na maioria dos problemas existentes na engenharia.

Existe um diâmetro conveniente para o qual o custo das instalações será mínimo. Este diâmetro pode ser aproximado pela fórmula de Bresse, correspondente a um funcionamento de 24 horas do sistema de bombeamento (SOUZA, 1982).

em que:
$$D = K \sqrt{Q}$$

K = 0,7 a 1,6;

D = diâmetro econômico em m;

Q = vazão do sistema em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Ainda Souza (1982), diz que a fixação do valor de K equivale à fixação de uma velocidade econômica, dada pela fórmula:

$$V = \frac{4}{pK^2}$$

em que:

V = velocidade em m.s⁻¹.

A velocidade nas canalizações de recalque geralmente é superior a 0,55 m.s⁻¹, e não devendo ultrapassar 2,40 m.s⁻¹. Nas tubulações de recalque de grande extensão a velocidade deve ser baixa, 0,65 a 1,30 m.s⁻¹.

Quando o funcionamento da instalação de recalque não é contínuo (menos de 24 horas por dia), o diâmetro econômico pode ser aproximado pela fórmula de Forchheimer (NEVES, 1970).

$$D = 1,46 \cdot X^{0,25} \cdot \sqrt{Q}$$

em que:

D = diâmetro da tubulação, em m;

Q = vazão do sistema, em m³. s⁻¹;

X = número de horas de trabalho da instalação dividido por 24 horas.

No dimensionamento das tubulações dos sistemas de recalque hidráulicos, talvez o erro mais freqüente seja o uso de tubos de diâmetro muito pequeno para as vazões aduzidas, o que eleva excessivamente a velocidade de escoamento, às vezes para mais de 3m.s⁻¹, aumentando muito as perdas de carga, já que estas são proporcionais ao quadrado daquela velocidade (VIANNA, 1997). O mesmo autor diz que a questão aqui é que a redução do investimento inicial, pelo uso de tubulação de menor diâmetro, acaba não compensando economicamente, porque acarreta custos operacionais (anuais) muito elevados.

2.7. Custo anual do bombeamento.

A irrigação é uma técnica que consome muita energia, particularmente na cultura do arroz, tendo em vista a magnitude das vazões requeridas. Diversas são as fontes de energia para acionamento de sistemas de bombeamento, dentre as quais as da eletricidade, e as dos combustíveis fósseis (diesel, gasolina e gás natural). Embora existam várias fontes de energia para acionamento dos motores, a hidroele-

tricidade e o diesel são as mais utilizadas no Brasil e, portanto, mais enfatizadas nos trabalhos envolvendo custos de sistemas elevatórios (ZOCOLER, 2003)

Segundo Azevedo (1983), a agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos para captação, transporte, controle e distribuição da água, além de gastos com energia e mão-de-obra para operação do sistema, que representam importantes custos adicionais na produção. Atualmente, os custos das tarifas de energia elétrica e dos combustíveis vêm despertando preocupação nos produtores irrigantes, pois passaram a influenciar com maior peso no custo de produção de lavouras irrigadas.

O custo da irrigação em lavoura de arroz deve ser dividido em custo direto, referente, no caso, ao suprimento de água por bombeamento e custos indiretos, compreendendo as estruturas e operações exigidas para a execução da irrigação na modalidade específica de inundação contínua, os quais compreendem: canais e condutos, taipas e remontes, aplainamento, aguador (operário) e drenagem. Tais necessidades estão vinculadas ao processo de irrigação, pois na ausência desta não seriam necessárias. Conforme estudo de custo da produção referido à safra 2005/06, elaborado pelo IRGA (RS), os valores dos itens acima apresentaram a composição mostrada na tabela 4.

Tabela 4-Resumo dos itens do custo de produção referentes à irrigação (safra 2005/06 – Rio Grande do Sul).

<i>Item</i>	<i>R\$/ha</i>	<i>%</i>
Irrigação (direto)	372,50	11,49
Canais e condutos	94,44	2,91
Taipas e remontes	141,27	4,36
Aplainamento	119,03	3,67
Aguador	56,92	1,76
Drenagem	106,52	3,29
Sub-total irrigação	890,68	27,48

Fonte: IRGA (2006)

Fica evidente a expressiva participação da irrigação na composição do custo total de uma lavoura, o que tem motivado estudos para a busca da redução dos cus-

tos, principalmente, através da adequação da demanda hídrica e da potência requerida no acionamento da(s) bomba(s).

2.8. Solos

O solo é um recurso que suporta toda a cobertura vegetal da terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Nessa cobertura, incluem-se não só as culturas como todos os tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem (BERTONI, 1968).

O termo planossolo lembra áreas planas. São solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em áreas de várzea, com relevo plano a suavemente ondulado (STRECK et al., 2002), mediana profundidade, predominância da cor cinza (gleizados), textura argilosa, mal drenada e com excesso de umidade na maior parte do ano (BRASIL, 1973). No Rio Grande do Sul, estes solos abrangem cerca de sete milhões de hectares, correspondendo a 25% da área total do estado (GOMES et al., 1992).

Segundo Klamt et al. (1985), os solos de várzea são aqueles encontrados nas planícies adjacentes aos rios e lagos onde se desenvolveram sobre sedimentos. Como estes sedimentos apresentam grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, os solos desenvolvidos a partir deles apresentam grande variação de características de um local para outro, as quais se refletem na aptidão de uso dos mesmos.

O mesmo autor, diz que além do exposto, os solos hidromórficos do Rio Grande do Sul apresentam, em sua maioria, densidade naturalmente elevada e relação micro/macroporos muito alta, além da fertilidade de média a baixa, o que contribui de forma negativa para o cultivo, na atualidade de espécies de sequeiro, sendo utilizados prioritariamente com o binômio arroz irrigado-pecuária de corte.

2.8.1. Planossolo Hidromórfico eutrófico Vacacaí (Unidade de Mapeamento Vacacaí)

Predominam nessa unidade solos mal a imperfeitamente drenados, bastante influenciados pela presença da água, condicionada pelo relevo, o que ocasiona fe-

nômenos de redução, com o desenvolvimento no perfil de cores cinzentas, características de gleização (BRASIL, 1973).

Apresentam como características bem evidentes: presença de horizontes glei, transição abrupta entre horizontes A e B e horizonte B, textura média a argilosa, com estrutura prismática fortemente desenvolvida. Os solos dessa unidade de mapeamento situam-se nas várzeas ao longo de rios e arroios. Ocorrem em quase todos os rios da Depressão Central e em alguns da Serra do Sudeste e Campanha (STRECK et al., 2002).

Esta Unidade de Solo ocupa uma área de 16.340km², o que representa aproximadamente, 6,06% da área do Estado do Rio Grande do Sul. A melhor utilização desses solos é como vem sendo feita atualmente, para pastagem em rotação com a cultura do arroz irrigado (BRASIL, 1973).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo desenvolvido consistiu na simulação de dimensionamentos de demandas hídricas e de potências instaladas para recalque, relativas a diferentes áreas totais de lavoura de arroz para as condições edafo-climáticas da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Os parâmetros de solo, agronômicos e agro-meteorológicos utilizados no trabalho se basearam parte em dados levantados na bibliografia técnico-científica recente, parte determinados ou observados no Campus da UFSM em Santa Maria, RS. Descrevem-se a seguir as bases metodológicas, dados, informações e procedimentos adotados nessa simulação.

3.1. Método de cálculo adotado na simulação das demandas hídricas

O volume de água a ser fornecido para uma lavoura de arroz irrigado por inundação contínua, conforme descrito em 2.4, deverá atender as seguintes necessidades parciais:

- a) Promover a saturação do solo acima da camada de impedimento;
- b) Formar a lâmina superficial de inundação da lavoura;
- c) Repor as perdas de água durante o ciclo de irrigação, compreendendo a evaporação, a percolação profunda (para além da camada de impedimento) e as perdas laterais no contorno da lavoura;
- d) Atender as necessidades fisiológicas das plantas na formação da sua fitomassa.

Com base na figura 2 e a tabela 5 é apresentada a seguir a seqüência de cálculos adotada na simulação das demandas hídricas, em termos de volumes e vazões correspondentes, seguindo-se a ela o detalhamento das variáveis envolvidas com as respectivas justificativas.

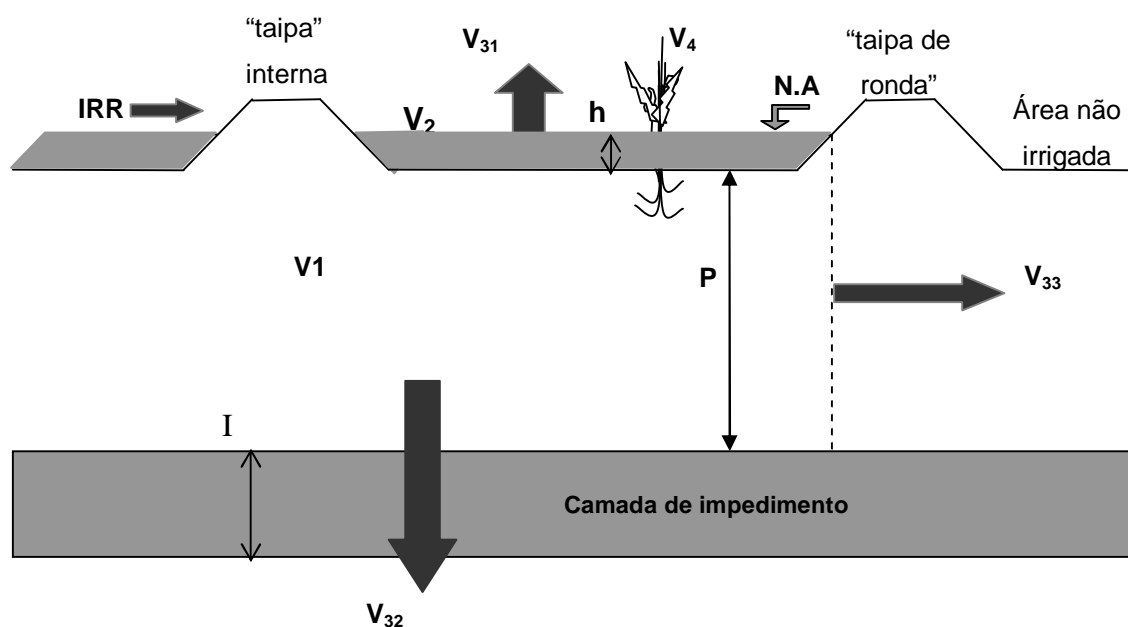


Figura 2- Esquema simplificado parcial de lavoura de arroz irrigado (perfil edáfico e dinâmica hídrica).

Tabela 5- Parâmetros agrônômicos e hídricos de entrada para a simulação.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor
Ciclo da cultura	Cc	dia	115
Ciclo de irrigação	Ci	dia	90
Área total a irrigar	At	ha	10-190
Prazo para inundação inicial	Pi	dia	10
Evaporação máxima média	he	mm.dia ⁻¹	6
Evapotranspiração máxima média	ETm	mm.dia ⁻¹	9,9
Jornada de trabalho Iho (sistema)	Jt	h.dia ⁻¹	21
Propriedades do solo (unidade de mapeamento)	UM	-	Vacacaí
Porosidade total	Pt	%	40

média			
Densidade	ds	g.cm ⁻³	1,5
Profundidade a irrigar	p	m	0,90
Lâmina superficial média (inundação)	hl	m	0,10
Cultivares		BR-IRGA 417	

3.1.1. Procedimento de cálculo da demanda hídrica instantânea (vazão) para a fase de inundação inicial da lavoura.

3.1.1.1 Volume unitário para saturar o solo (perfil acima da barreira de impedimento) – (V_1)

$$V_1 = (P_t * 0,5) * d_s * p * A_U \quad (\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1})$$

em que:

P_t = porosidade total média do solo (em decimal);

0,5 = 50% de saturação da P_t (assumida) – recomendável determinar previamente;

d_s = densidade média do solo (= densidade aparente);

p = profundidade média do solo (perfil) a irrigar (m);

A_U = área unitária a ser irrigada (1ha = 10.000 m²).

3.1.1.2 Volume unitário para formar a lâmina superficial média de água – (V_2)

$$V_2 = h_l * A_U \quad (\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1})$$

em que:

h_l = lâmina média superficial de inundação (m).

3.1.1.3 Volume unitário para repor as perdas por evaporação durante a inundação – (V_{31})

$$V_{31} = h_e * P_i * A_U \quad (\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1})$$

em que:

h_e = lâmina média de evaporação (m/d).

3.1.1.4 Demanda hídrica de inundação inicial simultânea da área total da lavoura

a) Volume total de água necessário para promover a inundação inicial simultânea da área total – (V_{it})

$$V_{it} = (V_1 * A_t) + (V_2 * A_t) + \left[\frac{(V_{31} * A_t)}{2} \right] \quad (m^3)$$

Observação: No cômputo do volume V_{31} toma-se a metade, pois a lavoura só estará inundada no todo ao final do período de " P_i " dias. (vide figura 3)

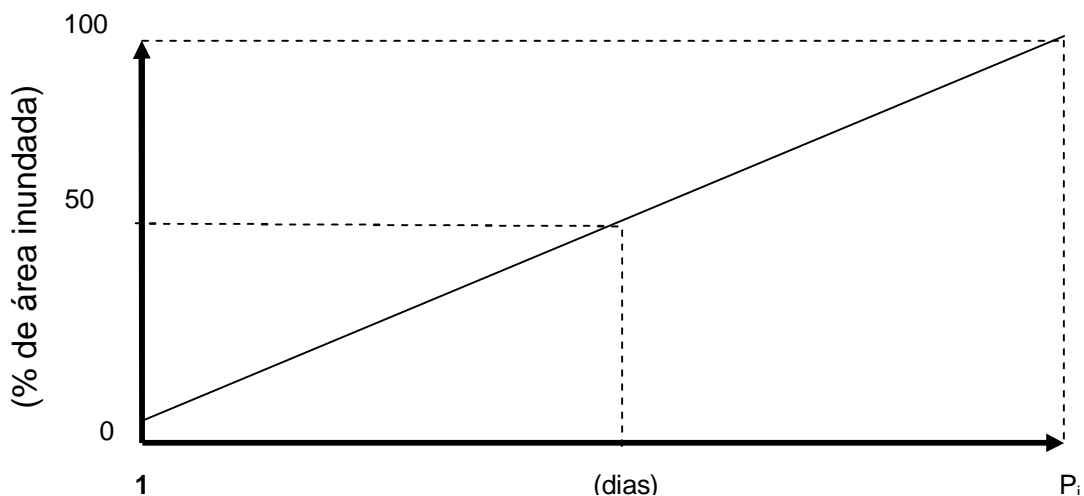


Figura 3- Esquema do progresso da inundação inicial em relação à área total

b) Vazão mínima para a inundação inicial simultânea da área total da lavoura – (Q_{it})

$$Q_{it} = \frac{(V_{it} * 1000)}{(P_i * J_t * 3600)} \quad (l.s^{-1})$$

Comentário: a vazão Q_{it} é o parâmetro para a seleção da(s) bomba(s) e respectivo dimensionamento das instalações do sistema de recalque, na opção de inundação simultânea da área total da lavoura.

3.1.1.5 Procedimento de cálculo para a redução da vazão de inundação inicial

No sentido de reduzir a vazão de inundação inicial e assim diminuir a demanda de potência do(s) conjuntos(s) elevatórios(s), adotou-se a divisão da área total das lavouras em glebas (ou talhões ou blocos). Assim sendo, o processo de inundação seria temporalmente escalonado, obedecidos concomitantemente: (a) o prazo para a inundação inicial da gleba (“Pi” dias) e (b) o intervalo regionalmente recomendado para a semeadura (neste caso entre 11/10 – 10/12).

As áreas parciais destas glebas poderão ter extensões iguais ou não. Em condições reais predominará aquela de glebas de áreas diferentes, porém, na presente simulação optou-se em considerar um fracionamento em glebas de igual área, visto que são indeterminadas as possibilidades de combinações possíveis em termos de diferentes extensões parciais.

A alternativa considerando a divisão em 4 glebas de igual área parcial está graficamente traduzida no esquema abaixo:

$$A_{GL} = \frac{A_t}{4} \quad (\text{ha})$$

Área total (AT)			
Gleba A	Gleba B	Gleba C	Gleba D

Assim sendo, a vazão de inundação inicial necessita ser re-dimensionada, já que a área a ser inundada simultaneamente foi reduzida para ¼ da área total da lavoura. Para tanto adotou-se o seguinte procedimento:

- a) Vazão para inundar a **Gleba A** (GI A) – do dia 1 ao dia Pi:

$$Q_{iA} = \frac{Q_{it}}{4} \quad (\text{l.s}^{-1})$$

b) Vazão para inundar a **Gleba B** (Gl B) – do dia P_i ao dia $(2 \times P_i)$:

$$Q_{iB} = \frac{Q_{it}}{4} + he_A \quad (l.s^{-1})$$

em que: he_A = perda por evaporação na gleba A, já inundada, durante inundação da Gleba B.

Sendo:

$$he_A = \frac{(A_{glA} * he * 1000)}{(J_t * 3600)} \quad (l.s^{-1})$$

em que: Ag_{IA} = área da gleba A (igual a AG_{IB} e Ag_{ID})

Observação: No caso específico de áreas parciais iguais, este valor de perdas (he_A) equivalerá às perdas correspondentes nas demais glebas.

c) Vazão para inundar a Gleba C (Gl C) – do dia $(2 \times P_i)$ ao dia $(3 \times P_i)$:

$$Q_{iC} = \frac{Q_{it}}{4} + he_A + he_B \quad (l.s^{-1})$$

em que: he_B = perda por evaporação na gleba B, durante inundação da gleba C.

d) Vazão para inundar a Gleba D (Gl D) – do dia $(3 \times P_i)$ ao dia $(4 \times P_i)$:

$$Q_{iD} = \frac{Q_{it}}{4} + he_A + he_B + he_C \quad (l.s^{-1})$$

Comentário: A vazão Q_{iD} é o parâmetro alternativo para a seleção da(s) bombas(s) e respectivo dimensionamento das instalações do sistema de recalque, na opção da inundação escalonada da lavoura, visando reduzir a potência instalada.

3.1.2. Procedimento de cálculo da vazão reduzida de manutenção da inundação, depois de completada a inundação inicial da lavoura.

Após concluída a inundação da área total da lavoura, o suprimento de água poderá ser reduzido, tendo em vista que devem ser atendidas somente duas necessidades, a saber: 1º) a manutenção da lâmina superficial de inundação + o consumo de água pelas plantas e 2º) a reposição das perdas de água por percolação profunda

e lateral no solo. A partir deste momento passa-se a computar as demandas da cultura através da estimativa da evapotranspiração máxima da cultura (ETm):

a) Volume e módulo médios para atender ao consumo da V_4 e Q_{et} após a inundação inicial:

$$V_4 = A_t * ETm * [C_i - (n * P_i)] \quad (m^3)$$

em que: n = número total de glebas da divisão efetuada

$$Q_{et} = \frac{(V_{et} * 1000)}{[C_i - (n * P_i)] * (J_t * 3600)} \quad (l.s^{-1})$$

b) Volume para compensar as perdas por percolação profunda e lateral (V_{32} e V_{33})

A determinação dessas necessidades hídricas é tarefa da pesquisa, a qual deverá procurar aproximar o montante das perdas, através da aplicação de modelos hidrológicos e principalmente de estudos de campo regionalizados. Na atividade prática de rotina, deve-se recorrer aos resultados desses estudos, para poder estabelecer volumes e vazões adequados. No presente caso não foram assumidos valores para estas perdas, justificando-se esta decisão pelo fato de inexistirem, até o momento, indicações confiáveis, resultantes de estudos específicos apoiados num consistente volume de medições/determinações de campo, relativamente à sua quantificação. As estimativas encontradas na literatura são de caráter especulativo, carecendo de confiabilidade científica.

Considerando que as perdas efetivamente ocorrerão ao longo do ciclo de irrigação (C_i), optou-se em assumir como aceitável admitir a compensação destas perdas parcialmente pela precipitação pluvial a ocorrer durante o ciclo da cultura (e não computada na presente simulação), e, parcialmente pelo manejo operacional do sistema de irrigação (bombas). Esse manejo deveria ser controlado a partir da observação do nível da lâmina superficial de inundação (h_i) nos quadros ou tabuleiros e efetuado mediante acréscimos no tempo efetivo de operação do sistema de recalque ou ainda mediante ativação do(s) conjunto(s) reserva do sistema, quando o mesmo es-

tiver composto de mais de um conjunto elevatório (associação de bombas em paralelo).

A demanda hídrica instantânea média após a inundação inicial da área total da lavoura (*vazão reduzida média* - Q_{rm}) consistiria, portanto, na quantificação da demanda de evapotranspiração máxima já definida no item anterior. Assim teríamos como parâmetro adicional para o dimensionamento da instalação de recalque:

c) Vazão reduzida média para o período [$C_i - (n \cdot T_i)$]

$$Q_{rm} = Q_{et} \quad (l.s^{-1})$$

Cabe aqui salientar que esta demanda não será fixa ao longo do período considerado e sim crescente, na medida em que as plantas crescem, sendo menor que a média calculada pela expressão acima na fase inicial do desenvolvimento vegetativo e maior na fase reprodutiva e de formação dos grãos. Em condições de demanda maior, o atendimento dar-se-á igualmente através do manejo operacional do sistema de recalque na forma acima descrita [3.1.2 b)].

3.2. Solo

O solo escolhido para o presente estudo da simulação foi o Planossolo hidromórfico eutrófico Vacacaí (Streck et al., 2002) da Depressão Central como unidade de mapeamento Vacacaí. A escolha dessa unidade de mapeamento deve-se em vista que esse solo possui características das várzeas arrozeiras do Rio Grande do Sul, o que é predominantemente composto nesta região.

Na simulação das demandas hídricas do presente estudo foi considerado uma profundidade de irrigação (perfil de interesse) média de 0,90m.

Para a simulação, foi adotada, uma densidade média (d_s) de $1,5 \text{ g/cm}^3$ e uma porosidade total média (P_t) de 40% conforme a tabela 6. Estes valores são aproximadamente a média desses parâmetros, no perfil de interesse considerado.

Tabela 6- Resultados físico-hídricos de um Planossolo (unidade de mapeamento Vacacaí, RS). Média de quatro repetições.

Profundidade (cm)	Densidades g/cm ³			Porosidade (%)	
	De Partic.	do Solo	Total	Macro	Micro
0-15	2,53	1,50	40,71	0,88	39,83
15-30	2,54	1,51	40,55	0,13	40,42
30-45	2,56	1,48	42,18	6,75	35,43
45-60	2,56	1,56	39,06	4,76	34,30
60-75	2,56	1,46	42,29	2,05	40,24
75-90	2,49	1,41	43,37	0,66	42,71
90-105	2,46	1,35	45,12	0,54	44,58
105-120	2,51	1,47	41,43	0,01	41,42

Fonte: RIGHES et al. (1983).

3.3. Caracterização climática

O clima predominante na região da Depressão Central, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa (clima subtropical, úmido, sem estação seca definida) (MORENO, 1961). A precipitação média anual da região varia entre 1322 e 1769 mm (BERLATO, 1992).

A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro, com temperatura de 24,8°C, e a do mês mais frio em junho com 14,1°C. Quanto à média normal das máximas, esta é de 30,4°C em janeiro e de 19,2° em junho. A média das temperaturas mínimas do mês mais quente é de 18,7° em dezembro e 9,3°C a do mês mais frio, em junho (BRASIL, 1992).

3.4. Cultivar

A cultivar escolhida para a simulação foi a que usualmente é utilizada em lavouras da região da Depressão Central do Estado, a cultivar BR-IRGA 417, com um ciclo precoce de 115 dias da emergência à maturação. Ela apresenta uma sensibilidade média a toxicidade por ferro, bem como ao frio na fase reprodutiva das plantas. Essa cultivar ocupou uma área correspondente a 20% dos 970 mil hectares cultiva-

dos com arroz irrigado no Rio Grande do Sul (TERRES et al., 2004). O período favorável de semeadura recomendado, vai de 11 de outubro a 10 de dezembro (CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., 2005, Santa Maria).

3.5. Áreas totais de lavoura (A_T)

Para a simulação das demandas hídricas e de potências instaladas, foram estipuladas as seguintes áreas totais de lavoura: 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170 e 190 ha. Os valores escolhidos abrangem a maioria das extensões das lavouras na Depressão Central do RS.

3.6. Prazo para inundação inicial (P_i)

A irrigação do arroz é iniciada quando as plantas apresentarem 4 folhas, o que, em geral, se verifica até os 15 DAE (dias após a emergência), dependendo da cultivar e das condições ambientais (CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., 2005, Santa Maria). Moscareli & Rosinha (1967) apud Gomes et al (2004) recomendam que o início da submersão do solo, em uma lavoura de arroz irrigado, deverá ocorrer 10 a 20 dias após a emergência das plântulas. Este início deve estar relacionado com o melhor controle, na atualidade, das plantas daninhas, face ao uso mais racional de herbicidas.

Já a formação da lâmina superficial de inundação nos tabuleiros deveria ser estabelecida num prazo máximo de 5 dias, em função da aplicação prévia da adubação nitrogenada. Neste trabalho, estabeleceu-se um prazo (P_i) de 10 (dez) dias para completar a inundação inicial nas glebas, o que resultaria, em termos médios, aos 5 dias acima mencionados, considerando o processo escalonado adotado na semeadura.

3.7. Evapotranspiração da cultura do arroz (ET_m)

O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para o dimensionamento e manejo do sistema de irrigação da cultura do arroz. Isto se justifica pelo fato da evapotranspiração representar, na maioria das vezes, a componente de maior importância na demanda hídrica do arroz inundado.

No trabalho, foram utilizados no cálculo da evapotranspiração, dados obtidos através de leituras diárias de evaporação em Tanque Classe “A,” da estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, nos meses referentes a 11 de outubro de 2005 a 31 de março de 2006 (correspondente à semeadura e ao término do ciclo do arroz). Extraiu-se uma média de evaporação nesse período de $6,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ e adotados os coeficientes de cultura (K_c) médios para os períodos referentes às fases vegetativa e reprodutiva da cultura.

A cultivar BR-IRGA 417 possui um ciclo precoce de 115 dias. Segundo Doorenbos e Pruitt (1976), no período vegetativo, o valor de K_c médio é de 1,6, com aproximadamente 58 dias de duração. Para o período reprodutivo o valor médio de K_c é de 1,7, com aproximadamente 57 dias de duração.

Para se obter uma evapotranspiração média ponderada foi calculada uma evapotranspiração máxima para cada uma das fases, tendo-se obtido os valores de $9,6 \text{ mm/dia}$ para o período vegetativo e $10,2 \text{ mm/dia}^{-1}$ para o período reprodutivo. A evapotranspiração média ponderada para o ciclo da cultura é de $9,90 \text{ mm.dia}^{-1}$.

3.8. Jornada de trabalho do sistema (J_t)

O horário de ponta de consumo é o período de 3 (três) horas consecutivas compreendido entre 18 a 21 horas, exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária em função das características de seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados. O “horário fora de ponta” corresponde às demais 21 horas do dia (PROCEL, 2001).

3.9. Lâmina superficial de inundação (h_i)

A profundidade da lâmina de água é um aspecto importante a ser considerado no manejo de água em arroz irrigado, visto que ela afeta, entre outros, a distribuição e a economicidade da água de irrigação.

Para a simulação do trabalho, foi fixada uma altura de lâmina de água de 10 cm, que significa uma lâmina média, que poderia ser utilizada durante todo o seu ciclo ou podendo sofrer uma alteração para menos (7 a 10 cm) apenas para o início do ciclo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento de cálculo adotado no presente estudo foi uma simulação efetuada com base em dados reais, em relação às características regionais de solo, clima e planta da Depressão Central. Meta central consistiu a obtenção de redução das vazões demandadas, principalmente as de inundação inicial das lavouras, no sentido de diminuir a correspondente potência instalada dos conjuntos elevatórios. Para tal propósito, adotou-se a divisão da área total das lavouras em glebas parciais (talhões ou blocos), em fracionamento crescente em função da área crescente das lavouras, a partir de 2 até o máximo de 4 glebas. O planejamento de semeadura deveria obedecer à divisão adotada, sendo executada de forma temporalmente escalonada, observados o período recomendado de semeadura e o prazo para completar a inundação inicial de cada gleba. Conseqüentemente, o processo de irrigação seguiria o mesmo escalonamento, permitindo assim a redução das vazões de inundação inicial em relação à inundação simultânea da área total. Por fim, estabeleceu-se a adoção de sistemas de recalque compostos de mais de um conjunto bomba-motor (instalações em paralelo), fracionando as potências totais exigidas em 2 ou mais conjuntos. Esta medida permitiria a flexibilização operacional bem como propiciaria a disposição de equipamento reserva para imprevistos (falhas nos equipamentos em operação) ou para complementar eventuais picos de demanda, não suficientemente atendidos.

4.1. Demandas hídricas instantâneas para a inundação inicial e posterior manutenção da inundação.

Empregando a metodologia descrita no capítulo anterior, com as simplificações e condições ali previamente estabelecidas, no sentido de adaptá-lo ao propósito do presente estudo, procedeu-se o cálculo das vazões instantâneas requeridas para atender as demandas respectivas às áreas totais de lavoura adotadas na simulação, entre 10 e 190 ha, em incrementos de 20 ha. Obtiveram-se assim as vazões apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7- Valores calculados de: (Q_{it}) vazão mínima de inundação inicial simultânea da área total; (Q_{in}) vazão máxima de inundação inicial escalonada e (Q_{rm}) vazão reduzida média de manutenção da inundação, para áreas totais de lavoura de 10 a 190 ha.

Áreas Totais (ha)		Vazões (L.s-1)										
		1 Gleba		2 Glebas			3 Glebas			4 Glebas		
		Q _{it}	Q _{rm}	Q _{it}	Q _{iBi}	Q _{rm}	Q _{it}	Q _{iCi}	Q _{rm}	Q _{it}	Q _{iDi}	Q _{rm}
10		52,91	13,10									
30		158,73	39,29									
50				264,55	152,12	65,48						
70				370,37	212,96	91,67						
90							476,19	206,35	117,86			
110							582,01	252,20	144,05			
130							687,83	298,06	170,24			
150										793,65	287,70	196,43
170										899,47	326,06	222,62
190										1005,29	364,42	248,81

Observações: Q_{it} é a vazão mínima para obter inundação inicial da área total de forma simultânea no prazo estipulado de 10 dias do P_i (prazo de inundação); Q_{in} é a vazão máxima de inundação na modalidade escalonada, sendo a vazão para inundar a última gleba (n) da divisão; Q_{rm} é a vazão reduzida média para manutenção da inundação após completada a inundação inicial da lavoura.

As vazões de inundação inicial simultânea da área total (Q_{it}) servem de referência para a confrontação com as vazões de inundação escalonada (Q_{in}), cujo propósito, conforme descrito em 3.1.2, é o de obter redução tanto das demandas instantâneas de água para inundação quanto da respectiva potência instalada do sistema de recalque. Observou-se que, para as condições estabelecidas, é obtida uma redução entre 42,5% a 63,74% na demanda instantânea de inundação inicial (Q_{it} versus Q_{in}), sendo que a redução aumenta à medida que aumenta o número de divisões (glebas) do escalonamento. A não divisão em glebas das áreas totais menores (entre 10 e 30 ha) no presente trabalho, foi uma decisão orientada no caráter prático de manejo, sendo uma exceção à regra. Por outro lado, a limitação do número de divisões em 4 glebas, mesmo para áreas grandes, é respaldada pelo fato de que devem ser observados, concomitantemente: 1º) o *prazo para a inundação inicial* (P_i =10 dias por gleba) e 2º) o *período recomendado de semeadura*, para evitar risco de ultra-

passar a época ótima relativa ao zoneamento agro-climático, no presente caso de 11 de outubro a 10 de dezembro.

A figura 4 mostra os intervalos entre áreas de 10 a 190 ha com as 3 diferentes categorias de vazão (Q_{it} , Q_{in} e Q_{rm}) e suas respectivas vazões.

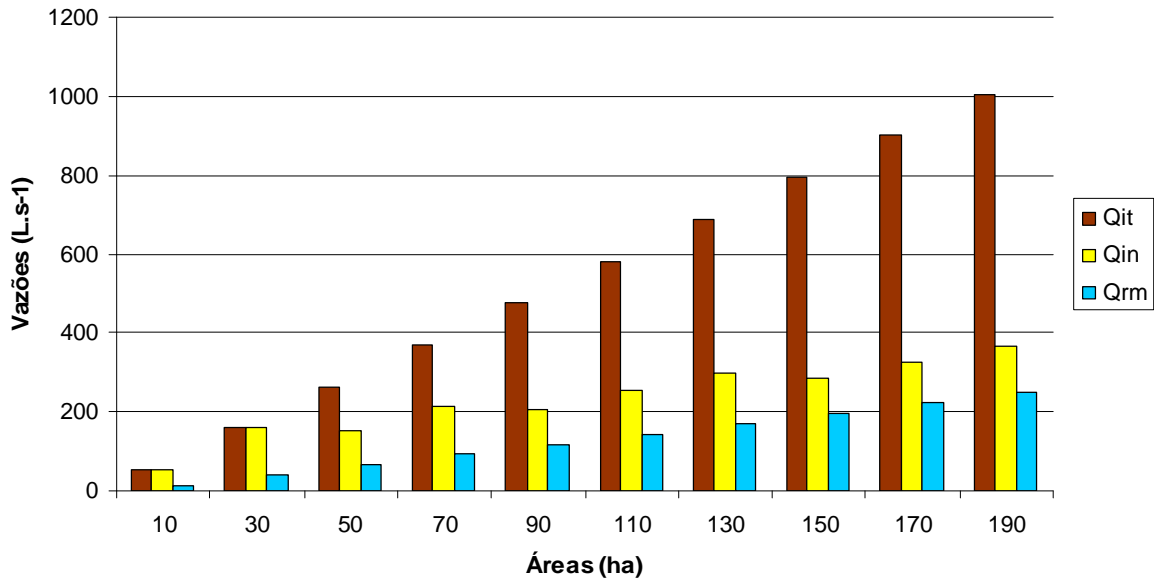


Figura 4- Vazões calculadas (Q_{it} , Q_{in} e Q_{rm}) para as áreas de 10 a 190 ha.

4.2. Análise de regressão das vazões calculadas.

Efetuuou-se a análise de regressão linear com os dados obtidos para as vazões apresentadas, objetivando permitir a estimativa de vazões em função da área total de cultivo. Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os resultados dessa análise.

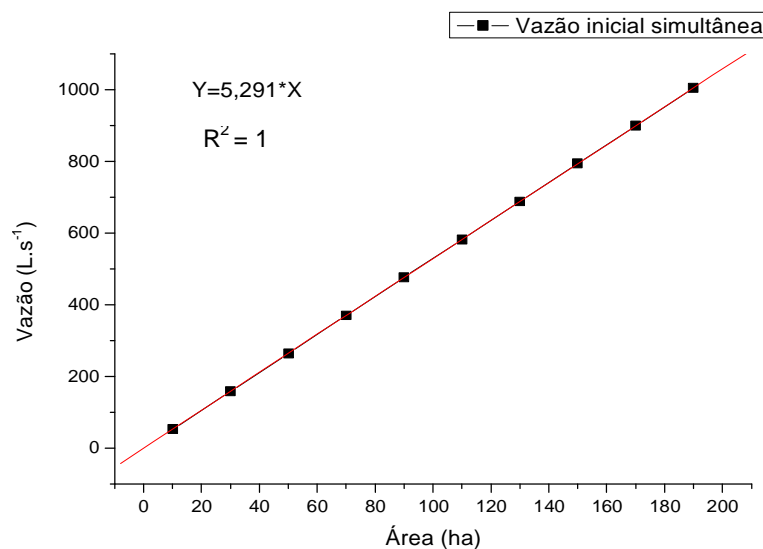


Figura 5- Regressão linear das vazões de inundação inicial simultânea da área total (Q_{it}) e áreas totais entre 10 e 190 ha.

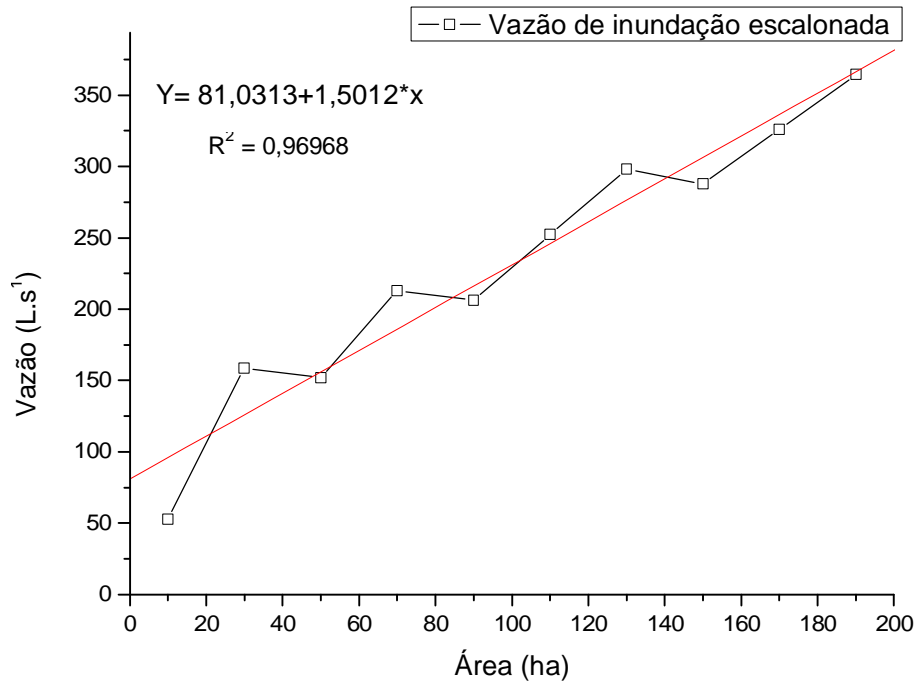


Figura 6- Regressão linear das vazões de inundação inicial escalonada (Q_{in}) e áreas totais de 10 a 190 ha.

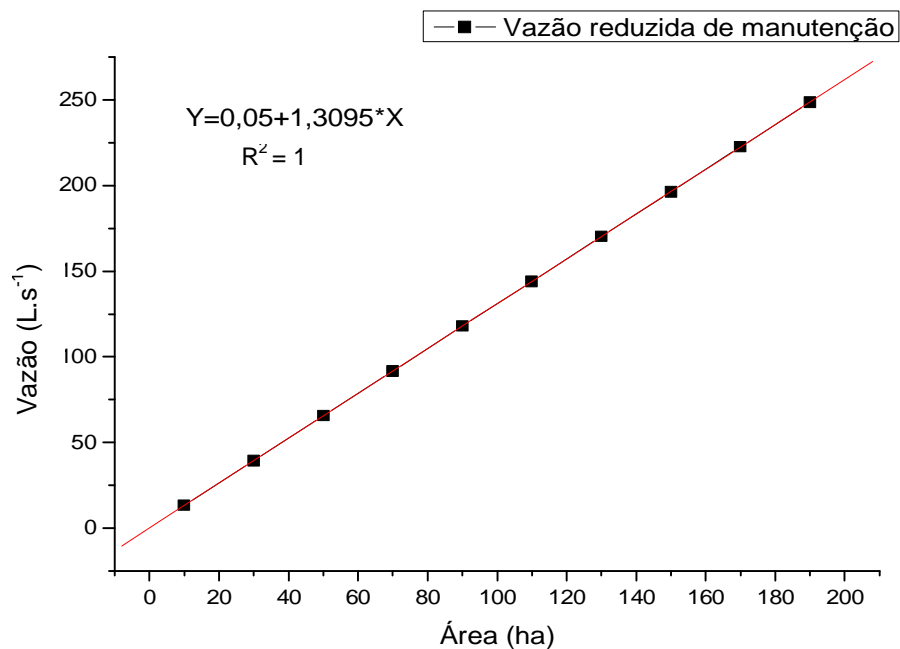


Figura 7- Regressão linear das vazões reduzidas de manutenção (Q_{rm}) e áreas totais de lavoura selecionadas na simulação.

Admite-se como aceitável a aplicação do modelo linear na estimativa das vazões em função da área total irrigada, considerando o propósito do trabalho e o bom

ajuste dos valores calculados ao modelo em questão. Cabe salientar que isto vale para o intervalo de áreas selecionado para a simulação (entre 10 e 190ha). Para áreas totais maiores outros modelos também devem ser testados.

4.3. Vazões específicas (módulos de irrigação).

No sentido de permitir uma generalização na aplicação das estimativas das demandas hídricas em caráter mais amplo, é proposta a introdução do conceito de “vazão específica”, ou seja: vazões por unidade de área, expressas em função da área total da lavoura irrigada (*vazão específica aparente* – Q_{ea}) e da área parcial (gleba) em processo de inundação inicial (*vazão específica efetiva* – Q_{ef}). Essa vazão específica constitui, portanto, um módulo de irrigação, e foi calculado para a fase de inundação inicial na modalidade escalonada. Na Tabela 8 são visualizados os valores destas vazões, calculadas com base nas extensões de áreas selecionadas para a simulação, bem como segundo o escalonamento adotado para o processo de inundação inicial conforme anteriormente descrito (Introdução ao item 4).

Tabela 8-Vazões específicas (módulos de irrigação) para a fase de inundação inicial na modalidade escalonada para áreas totais irrigadas de 10 a 190ha.

Área total- At (ha)	Número de glebas	Área da gleba (ha)	Q_{ea} (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)	Q_{ef} (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
10	1	10,00	5,29	5,29
30	1	30,00	5,29	5,29
50	2	25,00	3,04	6,08
70	2	35,00	3,04	6,08
90	3	30,00	2,29	6,88
110	3	36,67	2,29	6,88
130	3	43,33	2,29	6,88
150	4	37,50	1,92	7,67
170	4	42,50	1,92	7,67
190	4	47,50	1,92	7,67

A vazão específica aparente (Q_{ea}) tem aplicabilidade no planejamento regional de alocação de recursos hídricos como, por exemplo, nos chamados “Planos de Ba-

cia Hidrográfica”, como documento de gestão multi-usuário dos recursos hídricos no nível de Bacia Hidrográfica.

A vazão específica efetiva (Q_{ef}), sendo a vazão real demandada no processo de inundação inicial das lavouras na modalidade escalonada (por glebas), será usada nos pré-dimensionamentos de sistemas de recalque mecânico (instalações de bombeamento) e poderá também servir de base no processo de “Outorga de Direito de Uso da Água”, segundo as disposições legais pertinentes.

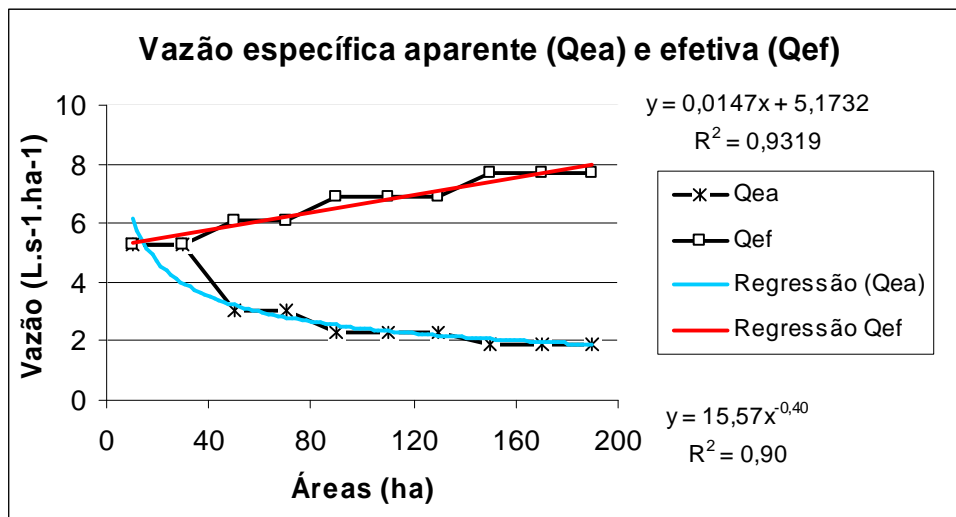


Figura 8- Regressões das vazões específicas aparente e efetiva

4.4. Demandas de potência instalada para os sistemas de recalque simulados.

Partindo das vazões estimadas para as diferentes áreas totais, passou-se a calcular as potências elétricas demandadas (requerida pela bomba e instalada – motor) pelos sistemas de recalque correspondentes. Os valores destas potências são apresentados na Tabela 9. Observar que as condições das instalações foram padronizadas no tocante a alturas de sucção e recalque, comprimento das tubulações e peças especiais, tendo-se variado apenas os diâmetros das tubulações de recalque e sucção em função das vazões a serem recalçadas, numa velocidade de escoamento padrão limitada a $1,5\text{m/s}^{-1}$.

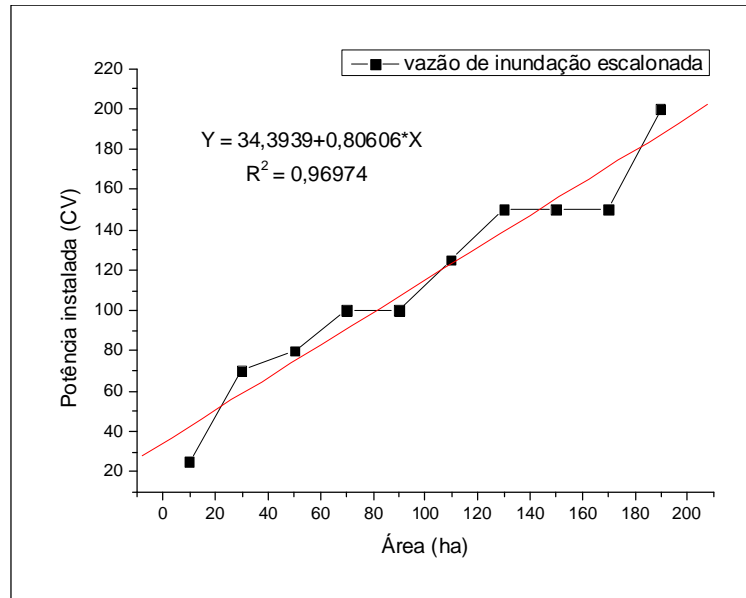


Figura 10- Regressão da potência elétrica instalada (P_m) para vazão de inundação inicial escalonada (Q_{in}).

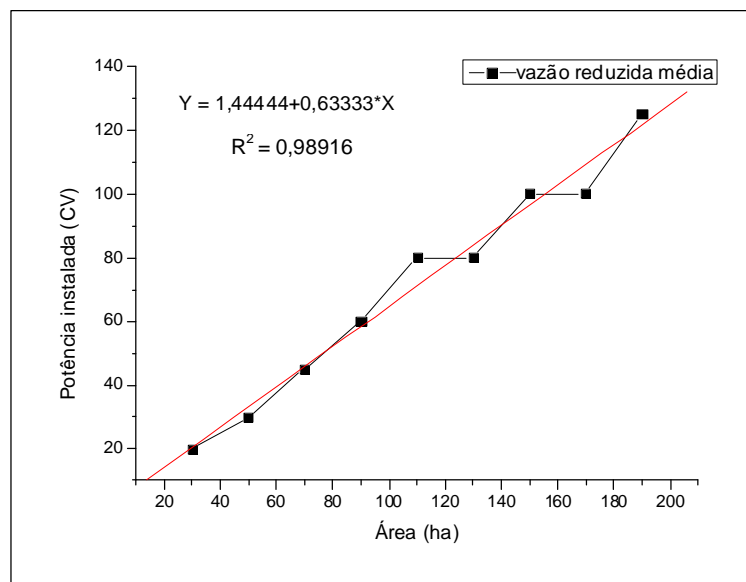


Figura 11- Regressão linear da potência elétrica instalada (P_m) para vazão reduzida de manutenção (Q_{rm}).

Considerando o propósito de aproximação deste parâmetro no presente trabalho, pode-se assumir o modelo linear como adequado para a estimativa de potências elétricas instaladas em função da área total irrigada, visto o bom ajuste dos resultados verificado no intervalo de áreas considerado (10 a 190ha). Extrapolações deste modelo não são recomendáveis.

Fracionamento das potências totais instaladas para a composição dos conjuntos de recalque.

Para atender às diferentes demandas calculadas, consideraram-se, além da opção de um só conjunto elevatório (instalação singular bomba-motor), diferentes opções de parcelamento da vazão e da potência total, decompondo-as entre dois e três conjuntos elevatórios, na dependência da área total crescente da lavoura. A Figura 12 permite a visualização das potências requeridas para: (a) inundação inicial simultânea da área total (Q_{it}), (b) inundação inicial escalonada (por glebas) – (Q_{in}), (c) manutenção da inundação ao longo do ciclo de irriga o, e, (d) diferença de potência entre manutenção e inundação escalonada ($Q_{in} - Q_{rm}$).

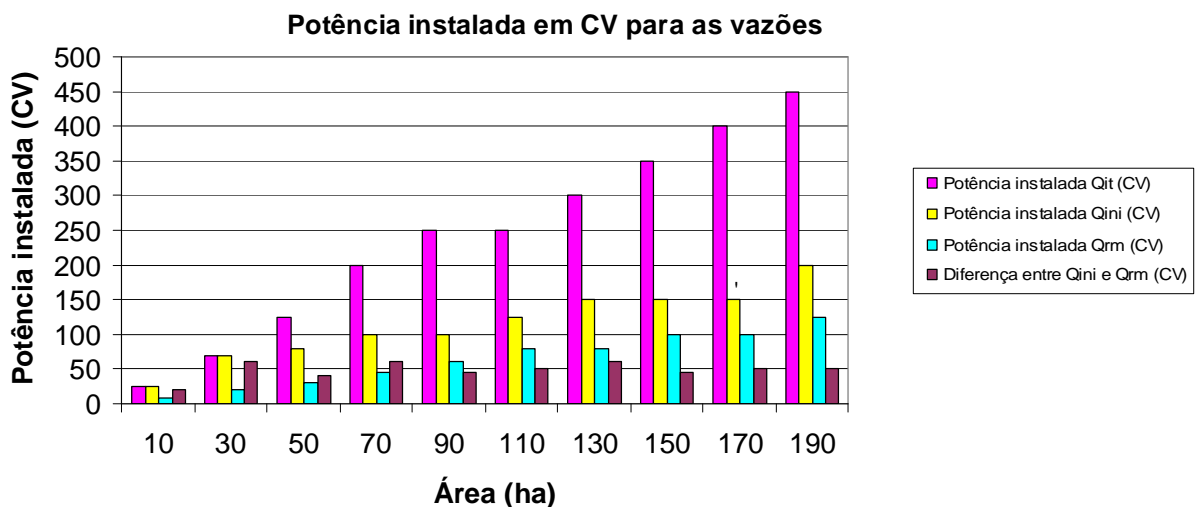


Figura 12- Fracionamento das potências elétricas totais instaladas (P_m) para as vazões de inundação inicial escalonada (Q_{in}) e de manutenção (Q_{rm}) por área total de lavoura.

Tal fracionamento tem a finalidade de facilitar o dimensionamento - seleção da(s) bomba(s) e correspondente(s) motor(es) - nas opções de emprego de mais de um conjunto elevatório.

O procedimento de cáculo proposto, nas condições pré-estabelecidas (solo, planta e clima), forneceu instrumentos confiáveis para subsidiar o planejamento da irriga o em lavouras de arroz a serem estabelecidas na região da Depressão Central, bem como orientar medidas de redimensionamento de sistemas de recalque

existentes, visando sua adequação em termos de vazões fornecidas e correspondentes potências requeridas.

No sentido de consolidar o entendimento para aplicação da ferramenta proposta neste trabalho, apresenta-se a seguir um exemplo hipotético específico.

Exemplo: considerando-se uma área total de arroz de 123,5 ha, nas condições gerais estipuladas neste estudo, obtêm-se, em 1ª aproximação, as seguintes demandas:

a) Divisão da área em glebas: em função da área total irrigável (123,5ha) esta lavoura seria dividida em 3 (três) glebas – pois situa-se entre 80 e 140 ha. A área da gleba resultaria então em $123,5\text{ha} / 3 = 41,16\text{ha}$;

b) Vazão de inundação inicial escalonada ($Q_{in} = Q_{ic}$):

$$Q_{ic} = 81,0313 + 1,5012 * 123,5$$

$$Q_{ic} = \underline{\underline{266,42 \text{ l.s}^{-1}}}$$

c) Vazão reduzida média de manutenção (Q_{rm}) – (depois de completada a inundação inicial na área total):

$$Q_{rm} = 0,05 + 1,3095 * 123,5$$

$$Q_{rm} = \underline{\underline{161,77 \text{ l.s}^{-1}}}$$

d) Potência total elétrica instalada indicada para fornecer (Q_{ic}):

$$P_m = 34,3939 + 0,80606 * 123,5$$

$$P_m = 133,94 \text{ CV}$$

e) Potência elétrica instalada indicada para fornecer (Q_{rm}):

$$P_m = 1,44444 + 0,63333 * 123,5$$

$$P_m = 79,66 \text{ CV}$$

f) Optando por um sistema de recalque composto de dois conjuntos elevatórios associados em paralelo, a composição poderia ser a seguinte:

Conjunto 1: $P_{m1 \text{ (calc)}} = 79,66\text{CV}$ (Pot. comercial = 80HP = 81,10CV)

Conjunto 2: $P_{m2 \text{ (calc)}} = 133,94 - 79,66\text{CV} = 54,28\text{CV}$ (Pot. comercial = 60HP = 60,83CV)

Comentário: Para a inundação inicial da lavoura operariam os dois conjuntos concomitantemente [$P_m (1+2) = 81,10CV + 60,83CV = 141,93CV$], e, depois de completada a inundação na área total da lavoura, passaria a operar apenas o conjunto 2 [$P_m (2) = 60,83CV$]. O conjunto 1 seria o equipamento reserva para eventuais panes no conjunto 2, além de operar em situações de picos de demanda eventualmente não cobertos pelo conjunto 2, como, por exemplo, no período compreendido entre o início da diferenciação da panícula (IDP) e o enchimento de grãos.

Deve ser subentendido que o cálculo detalhado do sistema de irrigação para cada caso específico não é eliminado, visto que cada situação apresenta suas particularidades tanto em termos de solo, relevo, alturas de elevação, configuração da área, distâncias a serem vencidas pelos condutos (tubos e/ou canais), etc. Portanto o projeto específico deverá contemplar estas particularidades, consistindo assim numa “sintonia fina” do dimensionamento hidráulico das instalações e suas estruturas complementares.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzida a simulação de cálculo de demandas hídricas e de potência instalada requerida para a irrigação de lavouras de arroz na Depressão Central do Rio Grande do Sul, os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- a) O fracionamento da lavoura de arroz em glebas, talhões ou blocos (2, 3 ou 4, em função da sua área total crescente), com escalonamento temporal da semeadura e equivalente procedimento no processo de irrigação (inundação inicial), permite a redução da demanda instantânea (vazão) em até 64%, em relação à demanda para inundação simultânea da área total, no prazo de inundação de 10 dias por gleba, para áreas totais entre 10 a 190 ha.
- b) A redução na demanda de potência elétrica instalada, para as mesmas considerações acima, pode chegar a até 63%, consideradas as áreas adotadas na simulação, quando comparadas às potências requeridas para promover a inundação inicial na área total de forma simultânea, dentro de prazo de inundação de 10 dias por gleba.
- c) O planejamento da semeadura (incluindo escolha de cultivares) e de todas as demais operações na implantação da lavoura são pré-requisito para a adoção do procedimento proposto, exigindo muito critério e habilidade técnica tanto na formulação de alternativas para cada caso, quanto na respectiva execução prática.
- d) As vazões mínimas de inundação inicial escalonada (Q_{in}) e vazão reduzida de manutenção (Q_{m}) podem ser estimadas em 1ª aproximação, no intervalo de áreas totais consideradas, pelas seguintes expressões:

$$Q_{in} = 81,0313 + 1,5012 * At \quad (l.s^{-1})$$

$$Q_{m} = 0,05 + 1,3095 * At \quad (l.s^{-1})$$

em que: At = área total irrigável (ha)

- e) O módulo de irrigação, expresso em termos de vazão específica aparente e efetiva ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$), como parâmetro indicado para o planejamento regional na alocação e outorga de recursos hídricos, bem como para pré-dimensionamento de sistemas de recalque, pode ser estimado pelas seguintes expressões:

$$Q_{ea} = 15,57 * At^{-0,40} \quad (\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1})$$

$$Q_{ef} = 0,0147 * A_{Gl} + 5,1732 \quad (\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1})$$

em que: A_{Gl} = área da gleba em inundação (ha)

- f) A estimativa das potências instaladas, a) para a inundação inicial escalonada (Q_{in}) e b) para a vazão reduzida média de manutenção (Q_{rm}), podem ser estimadas, no intervalo de áreas totais consideradas e em 1ª aproximação, pelas seguintes expressões:

$$P_{m_{Q_{in}}} = 34,3939 + 0,80606 * At \quad (\text{CV})$$

$$P_{m_{Q_{rm}}} = 1,44444 + 0,63333 * At \quad (\text{CV})$$

em que: At = área total irrigável (ha)

- g) Condição imprescindível para a validade da aplicação das funções acima propostas é o escalonamento temporal da inundação inicial, conforme assumido e descrito no presente trabalho, não sendo indicada a extrapolação de áreas totais além do limite usado na simulação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4. 2005, Santa Maria. **ARROZ IRRIGADO: RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS DA PESQUISA PARA O SUL DO BRASIL**: “Novos caminhos para a produção de arroz irrigado no Brasil”. Santa Maria: SOSBAI, 2005. 159 p.

AZEVEDO, J. A. **Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado**. (*circular .técnica CPAC/EMBRAPA*, n.16), 1983, p.1-53.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://aneel.gov.br>. Acesso em: 27 maio de. 2006.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; et al. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.2, p.301-305, fev. 2001.

BELTRAME, L. F. S.; TAYLOR, J. C.; CAUDURO, F. A. **Probabilidade de ocorrência de déficits e excessos hídricos em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPH, 1979. 79 p.

BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P. Estudos hidrológicos do consumo de água em lavoura de arroz. **Lavoura arrozeira**, v. 35, n.333, p. 22-8, 1982.

BELTRAME, L. F. S.; LOUZADA, J. A. **Caracterização físico-hídrica dos solos formadores da várzea arrozeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1976. 31p.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. cap. 1, p.11-24.

BERTINI, K. **Manejo da água**. Campinas: Secretaria de Agricultura – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1976, 82 p.

BERTONI, J. **O planejador e a utilização dos recursos naturais**. Campinas: Boletim da FEAB, 1968, 23p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

BERNARDES, B. C. **Melhoramentos da agricultura no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Rio grande do Sul. 1956. p. 123-125.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão pedológica 1973**. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife. 431p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas obtidas com dados do período de 1961-1990**. Brasília: 8º DISME, 1992, p.84.

BRUNINI, O.; et al. Eficiência do uso da água por cultivares de arroz em duas densidades de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 40, p. 135-143, 1981.

CORRÊA, N. I.; et al. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**. v. 50, n. 432, p 3-8, 1997.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel, 1980. 333p.

SOUZA, H. R. de; **Hidráulica**. São Paulo: Centro de Comunicação Gráfica da Escola PRÓ-TEC, 1982. 13.16p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 193 p.

DREYER, G. C. Aspectos de irrigação no rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**. v 25, n. 267, p. 28-34, 1972.

FAO. **Faostat: agricultural data**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>
Ultima atualização em: 20 dez. 2004. Acesso em: 17 dezembro 2006.

FITZ, C. R.; CAUDURO, F. A.; BELTRAME, L. F. S. Modelo de cálculo de demanda hídrica em lavoura de arroz irrigado (*Oriza sativa*, L). In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: ABID, 1986. 155-67.

ZOCOLER, J. L. Avaliação de sistemas de irrigação. In: Miranda, J. H.; Pires, R. C. M (ed.) **Irrigação** – Jaboticabal; FUNEP, 2003. 703p. (Série Engenharia Agrícola. Irrigação; 2).

GOMES, H. P., **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2 ed. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1997. 390p.

GOMES, A. S.; PAULETTO E. A.; FRANZ, A. F. H. Uso e manejo da água em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2004. cap. 14, p. 417-455.

GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A.; DE SOUSA, R. O. Manejo da água em arroz irrigado. In: PESKE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A. **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: Ed. da UFPEL, 1998. cap. 3, p. 99-125.

IRGA. **Censo da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul – safra 2004/05**. Porto Alegre: Política Setorial, 2006 122 p.

KLAMT, E.; KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 43p. (Boletim técnico de solos, 4).

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 667p.

MARCOLIN, E. **Eficiência no consumo de energia para bombeamento de água em lavouras de arroz inundado**. 2000. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

NEVES, E. T. **Curso de hidráulica**. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1970. 577p.

PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O. de; GOMES, A. S. Manejo da água em arroz irrigado. In: PESKE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A. **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: Ed. da UFPEL, 1998. cap. 2, p. 67-97.

PREUSSLER, G. S.; CAUDURO, F. A.; BELTRAME, L. F. S. Balanço hídrico da cultura do arroz em Planossolo da Unidade Pelotas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 6, Belo Horizonte, 1982. **Anais...** Belo Horizonte: ABID, 1982.

RIGHES, A. A.; LOVATO, T.; SOARES, E. Caracterização física, química e microbiológica de um planossolo da unidade de mapeamento vacacaí, RS. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 13, n. 1, p. 25-45, 1983.

ROBAINA, A. D. **Relação funcional entre condutividade hidráulica e umidade volumétrica em um planossol da unidade de mapeamento pelotas**. 1981. 129f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

ROBAINA, A. D. Seleção de bombas para irrigação. **Lavoura Arrozeira**. v. 50, n. 432, p 3-8, 1997.

SOUZA, J. L. M. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. 253p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources: a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: UNESCO, 1998.

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed da EMATER/RS; UFRGS, 2002. 108p.

TERRES, A. L. S. et al. Melhoramento genético e cultivares de arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2004. cap. 7, p. 161-235.

TESTESLAF, R. Irrigação. In: CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. G. **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas: Ed. da UNICAMP, 1992. cap. 6, p. 65-74.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Apontamentos de irrigação**. 2 Ed. da UFRGS, 1997. 186p. Porto Alegre.

VIANNA, M. L. de S. O desperdício de energia na irrigação do arroz. **Lavoura Arrozeira**. v. 50, n. 432, p. 9-11, 1997.

WIJDIEKS, J. & BOS, M. G. Pumps and pumping stations. In: RITZEMA, H. P., ed **Drainage principles and applications**. Wageningen: ILRI. 1994. ch. 23, p. 965-998.

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. São Paulo: EDUSP, 1977. 339p.

ZOCOLER, J. L. et al. Modelo para determinação do diâmetro e velocidade de escoamento econômica em sistemas elevatórios de água. In: CONGRESSO TEMÁTICO DE DINÂMICA E CONTROLE DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 3., 2004, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha solteira: UNESP, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Evaporação da água medida no Tanque Classe 'A' (ECA) instalado na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, para os meses de outubro de 2005 a dezembro 2005.

DATA	ECA	DATA	ECA	DATA	ECA
11-out-05	4,77	01-nov-05	4,76	01-dez-05	8,24
12-out-05	2,6	02-nov-05	6,42	02-dez-05	7,2
13-out-05	3,9	03-nov-05	9,58	03-dez-05	8,18
14-out-05		04-nov-05	6,76	04-dez-05	8,6
15-out-05	2,34	05-nov-05	5,54	05-dez-05	
16-out-05		06-nov-05		06-dez-05	4,98
17-out-05	3,38	07-nov-05	1,08	07-dez-05	6,68
18-out-05	1,9	08-nov-05	5,08	08-dez-05	5,64
19-out-05	3,9	09-nov-05	5,98	09-dez-05	7,16
20-out-05	6,22	10-nov-05	6,58	10-dez-05	6,02
21-out-05	4,98	11-nov-05	6,7	11-dez-05	7,34
22-out-05	4,18	12-nov-05	4,56	12-dez-05	8,1
23-out-05	2,3	13-nov-05	7,38	13-dez-05	9,5
24-out-05	2,7	14-nov-05	6,36	14-dez-05	8,32
25-out-05	5,18	15-nov-05	4,08	15-dez-05	8,72
26-out-05	3,92	16-nov-05	7,78	16-dez-05	8,28
27-out-05	3,26	17-nov-05	7,06	17-dez-05	7,2
28-out-05	0,02	18-nov-05	2,25	18-dez-05	9,3
29-out-05	4,08	19-nov-05	3,64		
30-out-05	4,78	20-nov-05	5,68		
31-out-05	3,28	21-nov-05	7,52		
		22-nov-05	11,74		
		23-nov-05	9,66		
		24-nov-05	11,22		
		25-nov-05	5,66		
		26-nov-05	6,22		
		27-nov-05	9,58		
		28-nov-05	9,28		
		29-nov-05	5,34		
		30-nov-05	7,08		

Fonte: Universidade Federal de Santa Maria

Na tabela de leitura do tanque classe A, é apresentado valores em branco em determinados dias, pois eles se justificam em virtude de que houve reabastecimento do tanque ou principalmente transbordamento em função de altas precipitações, podendo admitir-se que não houve leitura nesses dias.

APÊNDICE B - Evaporação da água medida no Tanque Classe 'A' (ECA) instalado na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, para os meses de janeiro de 2006 a março de 2006.

DATA	ECA	DATA	ECA	DATA	ECA
1-jan-06	0,88	1-fev-06	7,90	1-mar-06	8,80
2-jan-06	6,22	2-fev-06	7,10	2-mar-06	5,30
3-jan-06	4,84	3-fev-06	7,90	3-mar-06	5,10
4-jan-06	2,26	4-fev-06	6,18	4-mar-06	2,68
5-jan-06	8,88	5-fev-06	6,60	5-mar-06	5,12
6-jan-06	3,26	6-fev-06	3,60	6-mar-06	4,32
7-jan-06	7,80	7-fev-06	0,90	7-mar-06	5,84
8-jan-06	9,50	8-fev-06	4,60	8-mar-06	5,52
9-jan-06	13,44	9-fev-06	9,90	9-mar-06	7,92
10-jan-06	7,40	10-fev-06	5,14	10-mar-06	6,22
11-jan-06	8,90	11-fev-06	5,96	11-mar-06	6,00
12-jan-06	5,84	12-fev-06	8,54	12-mar-06	6,18
13-jan-06	3,84	13-fev-06	7,38	13-mar-06	5,06
14-jan-06	6,50	14-fev-06	6,94	14-mar-06	6,68
15-jan-06	8,64	15-fev-06	8,30	15-mar-06	7,24
16-jan-06	12,18	16-fev-06	7,40	16-mar-06	5,54
17-jan-06	10,68	17-fev-06	2,44	17-mar-06	8,80
18-jan-06	3,06	18-fev-06	8,98	18-mar-06	6,54
19-jan-06	3,06	19-fev-06	7,90	19-mar-06	4,34
20-jan-06	4,62	20-fev-06	4,96	20-mar-06	0,94
21-jan-06	5,82	21-fev-06	7,94	21-mar-06	5,14
22-jan-06	4,34	22-fev-06	4,68	22-mar-06	6,16
23-jan-06	7,88	23-fev-06	6,80	23-mar-06	
24-jan-06	2,12	24-fev-06	3,14	24-mar-06	1,56
25-jan-06		25-fev-06	1,68	25-mar-06	5,66
26-jan-06	9,38	26-fev-06	1,58	26-mar-06	5,40
27-jan-06	9,22	27-fev-06	5,40	27-mar-06	5,52
28-jan-06	6,50	28-fev-06	5,40	28-mar-06	5,24
29-jan-06	7,06			29-mar-06	4,62
30-jan-06	4,12			30-mar-06	4,80
31-jan-06	11,64			31-mar-06	5,28

Fonte: Universidade Federal de Santa Maria

Na tabela de leitura do tanque classe A, é apresentado valores em branco em determinados dias, pois eles se justificam em virtude de que houve reabastecimento do tanque ou principalmente transbordamento em função de altas precipitações, podendo admitir-se que não houve leitura nesses dias.

APÊNDICE C - Adequação de instalações de bombeamento para irrigação do arroz – inundação contínua.

2. Dados e informações gerais:

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor	Valor ajustado
Ciclo da cultura	Cc	d	arroz	
Ciclo de irrigação	Ci	d	90	
Área total a irrigar	At	ha	90	900.000,00 m ²
Prazo para inundação inicial	Pi	d	10	
Evaporação média	he	mm/d	6	0,008 m/dia
Evapotranspiração máxima média			9,90	0,0098 m/dia
Jornada de trabalho (sistema)	Jt	h/d	21	
Propriedades do solo	UM	-	Vacacal	
Porosidade total média	Pt	%	40	0,4
Densidade	ds	g/cm ³	1,5	
Profundidade a irrigar	p	m	0,9	
Lâmina superficial média (manutenção)	hl	m	0,1	
Escalonamento da semeadura (de..a)				
Cultivares				
Áreas parciais (ha)				

3. Procedimento de cálculo dos parâmetros agrônômicos e hidráulicos:

V1	2700	(m ³ /ha)
V2	1000	(m ³ /ha)
V31	600	(m ³ /ha)
Volume total de água necessário p promover a inundação inicial simultânea		
	360.000	m ³

ÁREA DE 90 ha

EVAPOTRANSPIRAÇÃO	
Etm (mm/d) = 9,6	PERÍODO VEGETATIVO
10,2	PERÍODO REPRODUTIVO

Etmédia ponderada (mm/d) =	(8*58 dias)+(10,5*57 dias) ciclo de 115 dias
	9,90

CTV Iriga 417 - ciclo precoce de 115 dias

Cálculo para 1 gleba	Cálculo para 2 glebas iguais	Cálculo para 3 glebas iguais	Cálculo para 4 glebas iguais
Qit 476,19 l/s para inundar a área simultaneamente	Agl 45 hectares 450.000 m ² GIA 238,10 l/s heA 35,71 l/s GIB 273,81 l/s	Agl 30 hectares 300.000 m ² GIA 158,73 l/s heA 23,81 l/s GIB 182,54 l/s GIC 206,35 l/s	Agl hectares m ² GIA l/s heA 0,00 l/s GIB l/s GIC l/s GID l/s

Vev 3 glebas

534.600 m³

Vev 2 glebas

623.700

Vev 1 gleba

712.800

Vev 4 glebas

445.500

para este cálculo, foi utilizado a evapotranspiração máxima média

Qev 3 glebas

117,86 l/s

Qev 2 glebas

117,86

Qev 1 gleba

117,86

Qev 4 glebas

117,86

3.5.2 Volume e módulo médios para suprir a necessidade da cultura (produção da biomassa):

Observação: no presente cálculo serão considerados os seguintes parâmetros médios:

a) Rendimento de grãos estimado (Re)	6000	kg/ha
b) Necessidade média de água (Na)	400	l/ha de MST produzida
c) Umidade residual nos grãos colhidos	13%	
d) MSg	1/3 da MST	

3.5.3.1 Massa de água presente nos grãos colhidos:

3.5.3.2 Massa seca de grãos produzidas:

3.5.3.3 Massa seca total produzida:

3.5.3.4 Volume de água necessário para produzir a MST:

3.5.3.5 Vazão média necessária para a cultura - uso consuntivo - (Qnc) após a inundação inicial da lavoura:

3.5.3.6 Vazão reduzida média para o período [Ci-(n*Ti)]:

Mag	780,00			
MSg	5.220,00			
MSt	17.398,26			
V4				
	Qnc 3	Qnc 4	Qnc 2	Qnc 1
	0,00	0,00	0,00	0,00 l/s
	Qrm 3	Qrm 4	Qrm 2	Qrm 1
	117,86	117,86	117,86	117,86 l/s
	424,29	424,29	424,29	424,29 m ³ /h
	0,118	0,118	0,118	0,118 m ³ /s

APÊNDICE D - Resumo dos resultados das vazões Qit, Qni e Qrm, para área de 90 ha .

Resumo dos resultados (vazões em l/s):

	1 GLEBA	2 GLEBAS	3 GLEBAS	4 GLEBAS
vazão mínima de inundação inicial simultânea na lavoura			476,19	
vazão mínima de inundação escalonada (glebas iguais)			158,73	182,54 206,35
vazão reduzida média de manutenção da inundação p/ uso consuntivo			117,86	

variação (%) 56,67

APÊNDICE E - Diâmetros das tubulações para as vazões Q_{it} , Q_{ni} e Q_{rm} , para área de 90 ha.

	1 GLEBA	2 GLEBAS	3 GLEBAS	4 GLEBAS
vazão mínima de inundação inicial simultânea na lavoura Q_{it}			614,90	
vazão mínima de inundação escalonada (glebas iguais) Q_{ic}			404,77	
vazão reduzida média de manutenção da inundação p/ uso consuntivo Q_{rm}			305,91	

Observação: aproximação pela fórmula de Forchheimer.

APÊNDICE F - Seleção da bomba hidráulica e da potência do motor para a vazão Qit para área de 90 ha.

Seleção da bomba hidráulica e cálculo da potência do motor (Pm)

área	90 ha	900.000,00 m ²	
vazão necessária	476,2 l/s	0,47619 m ³ /s	1714,28 m ³ /h
altura geométrica de recalque	20 m		Hmr = 20,97 m
altura geométrica de sucção	3,0 m		Hms = 3,31 m

características da tubulação de recalque

material: aço soldado		
comprimento (lr)	100 m	
ampliação gradual	Kr	0,30
válvula de retenção	Kr	2,50
válvula de gaveta	Kr	0,20
curva de 90°	Kr	0,40
saída de canalização	Kr	1,0
Skr		4,4

características da tubulação de sucção

material: aço soldado		
comprimento (ls):	5,0 m	
crivo leve	Ks	0,75
válvula de pé	ks	1,75
redução gradual	ks	0,15
Sks		2,65

diâmetro de recalque (Dr)	600 mm	0,600 m
velocidade no recalque (Vr)	1,5 m/s	fr 0,014
diâmetro da sucção (Ds)	640 mm	0,640 m
velocidade de sucção (Vs)	1,5 m/s	fs 0,014

Tabela de coeficiente de Ks de diferentes tipos de acessórios utilizados na tubulação de sucção

tipo de acessório	Ks
crivo leve	0,75
crivo normal	2,25
curva de 90° (raio longo)	0,40
redução gradual	0,15
válvula de pé	1,75

Motores elétricos brasileiros	
HP	
1/4	15
1/3	20
1/2	25
3/4	30
1	35
1 1/2	40
2 1/2	45
3 1/2	50
4 1/2	60
5 1/2	80
6 1/2	100
7 1/2	125
10	200
12	250

Altura Manométrica Total

$$AMT = Hmr + Hms$$

$$AMT = 24,28 \text{ m}$$

Potência da Bomba

$$Pb = 181,37 \text{ CV}$$

de potência absorvida

Potência do Motor

$$Pm = 201,52 \text{ CV}$$

de potência instalada

admissão de folga para os motores elétricos com os seguintes acréscimos

motor final escolhido (+10%): 221,68 CV motores elétricos fabricados 200 ou 250 CV

Tabela de coeficiente de Kr de diferentes tipos de acessórios utilizados na tubulação de recalque

tipo de acessório	Kr
ampliação gradual	0,30
curva de 90° (raio longo)	0,40
curva de 45° (raio longo)	0,20
curva de 22,5° (raio longo)	0,10
junção	0,40
junta de dilatação	0,75
válvula de retenção	2,50
válvula de gaveta	0,20
saída de canalização	1,00

Potência Instalada

50%	para as bombas até	2 HP
30%	para as bombas até	2 a 5 HP
20%	para as bombas até	5 a 10 HP
15%	para as bombas até	10 a 20 HP
10%	para as bombas até	20 HP

APÊNDICE G - Seleção da bomba hidráulica e da potência do motor para a vazão Q_{in} para área de 90 ha.

Seleção da bomba hidráulica e cálculo da potência do motor (Pm)

área	90 ha	900.000,00 m ²	
vazão necessária	206,35 l/s	0,20635 m ³ /s	742,86 m ³ /h
altura geométrica de recalque	20 m		Hmr = 21,12 m
altura geométrica de sucção	3,0 m		Hms = 3,32 m

características da tubulação de recalque

material: aço soldado			
comprimento (lr)	100 m		
ampliação gradual		Kr	0,30
válvula de retenção		Kr	2,50
válvula de gaveta		Kr	0,20
curva de 90°		Kr	0,40
saída de canalização		Kr	1,0
	Skr		4,4

características da tubulação de sucção

material: aço soldado			
comprimento (ls):	5,0 m		
crivo leve		Ks	0,75
válvula de pé		ks	1,75
redução gradual		ks	0,15
	Sks		2,65

diâmetro de recalque (Dr)	400 mm	0,400 m
velocidade no recalque (Vr)	1,5 m/s	fr 0,015
diâmetro da sucção (Ds)	420 mm	0,420 m
velocidade de sucção (Vs)	1,5 m/s	fs 0,015

Tabela de coeficiente de K_s de diferentes tipos de acessórios utilizados na tubulação de sucção

tipo de acessório	K_s
crivo leve	0,75
crivo normal	2,25
curva de 90° (raio longo)	0,40
redução gradual	0,15
válvula de pé	1,75

Motores elétricos brasileiros	
HP	
1/4	15
1/3	20
1/2	25
3/4	30
1	35
1 1/2	40
2 1/2	45
3 1/2	50
4 1/2	60
5 1/2	80
6 1/2	100
7 1/2	125
10	200
12	250

Altura Manométrica Total

$$AMT = Hmr + Hms$$

$$AMT = 24,44 \text{ m}$$

Potência da Bomba

$$P_b = 79,11 \text{ CV}$$

de potência absorvida

Potência do Motor

$$P_m = 87,90 \text{ CV}$$

de potência instalada

admissão de folga para os motores elétricos com os seguintes acréscimos

motor final escolhido (+10%): 96,69 CV motores elétricos fabricados 100 CV

Tabela de coeficiente de K_r de diferentes tipos de acessórios utilizados na tubulação de recalque

tipo de acessório	K_r
ampliação gradual	0,30
curva de 90° (raio longo)	0,40
curva de 45 (raio longo)	0,20
curva de 22,5° (raio longo)	0,10
junção	0,40
junta de dilatação	0,75
válvula de retenção	2,50
válvula de gaveta	0,20
saída de canalização	1,00

Potência Instalada

50%	para as bombas até	2 HP
30%	para as bombas até	2 a 5 HP
20%	para as bombas até	5 a 10 HP
15%	para as bombas até	10 a 20 HP
10%	para as bombas até	20 HP

APÊNDICE H - Seleção da bomba hidráulica e da potência do motor para a vazão Q_{rm} para área de 90 ha.

Seleção da Bomba Hidráulica

área	90 ha	900.000,00 m ²		
vazão necessária	117,9 l/s	0,11786 m ³ /s	424,30 m ³ /h	H _{mr} = 21,38 m
altura geométrica de recalque	20 m			
altura geométrica de sucção	3,0 m			H _{ms} = 3,32 m

características da tubulação de recalque

material: aço soldado			
comprimento (lr)	100 m		
ampliação gradual		Kr	0,30
válvula de retenção		Kr	2,50
válvula de gaveta		Kr	0,20
curva de 90°		Kr	0,40
saída de canalização		Kr	1,0
		Skr	4,4

características da tubulação de sucção

material: aço soldado			
comprimento (ls):	5,0 m		
crivo leve		Ks	0,75
válvula de pé		ks	1,75
redução gradual		ks	0,15
		Sks	2,65

diâmetro de recalque (Dr)	300 mm	0,300 m
velocidade no recalque (Vr)	1,5 m/s	fr 0,016
diâmetro da sucção (Ds)	320 mm	0,320 m
velocidade de sucção (Vs)	1,5 m/s	fs 0,016

Altura Manométrica Total

$$AMT = H_{mr} + H_{ms}$$

$$AMT = 24,70 \text{ m}$$

Potência da Bomba

$$P_b = 45,66 \text{ CV}$$

de potência absorvida

Potência do Motor

$$P_m = 50,73 \text{ CV}$$

de potência instalada

admissão de folga para os motores elétricos com os seguintes acréscimos

motor final escolhido (+10%): **55,80 CV** motores elétricos fabricados **60 CV**

Tabela de coeficiente de *Ks* de diferentes tipos de acessórios utilizados na tubulação de sucção

tipo de acessório	<i>Ks</i>
crivo leve	0,75
crivo normal	2,25
curva de 90° (raio longo)	0,40
redução gradual	0,15
válvula de pé	1,75

Motores elétricos brasileiros	
HP	
1/4	15
1/3	20
1/2	25
3/4	30
1	35
1 1/2	40
2 1/2	45
3 1/2	50
4 1/2	60
5 1/2	80
6 1/2	100
7 1/2	125
10	200
12	250

Tabela de coeficiente de *Kr* de diferentes tipos de acessórios utilizados na tubulação de recalque

tipo de acessório	<i>Kr</i>
ampliação gradual	0,30
curva de 90° (raio longo)	0,40
curva de 45 (raio longo)	0,20
curva de 22,5° (raio longo)	0,10
junção	0,40
junta de dilatação	0,75
válvula de retenção	2,50
válvula de gaveta	0,20
saída de canalização	1,00

Potência Instalada

50%	para as bombas até	2 HP
30%	para as bombas até	2 a 5 HP
20%	para as bombas até	5 a 10 HP
15%	para as bombas até	10 a 20 HP
10%	para as bombas até	20 HP