

Avaliação Temporal e Espacial da Situação Hídrica Quantitativa na Bacia do Rio Pardo em Cenários Futuros em Vista das Mudanças Envolvidas no Processo de Cultivo de Arroz Irrigado

Fernanda Helfer¹
José Antônio Louzada²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a situação hídrica quantitativa da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Rio Grande do Sul, Brasil) em cenários futuros por meio de balanços hídricos confrontando-se disponibilidades e demandas hídricas. Diferentes cenários futuros foram estabelecidos com base nas mudanças previstas nos sistemas de cultivo de arroz irrigado na região. Os balanços hídricos futuros indicaram ocorrência de déficits hídricos mais severos do que os déficits atuais, mesmo se estratégias de redução de uso de água forem adotadas. De acordo com os resultados, a expansão da área orizícola será a principal responsável pelos déficits hídricos futuros, e o aumento da disponibilidade hídrica via obras estruturais, como a reservação, será crucial para a sustentabilidade dos recursos hídricos se a região mantiver a tendência histórica de cultivo de arroz.

Palavras-chave: Rio Pardo, arroz, balanço hídrico

INTRODUÇÃO

A eficiência do planejamento de uso de recursos hídricos está diretamente relacionada com a quantificação das variáveis hidrológicas (disponibilidades e demandas hídricas) e com sua distribuição no tempo e no espaço em cada unidade de planejamento (bacia hidrográfica). De posse destas informações, é possível identificar áreas em que o recurso hídrico se encontra ou pode vir a se tornar escasso e, a partir disso, propor estratégias sobre quanto, onde, quando e como utilizá-lo, de modo a minimizar os potenciais conflitos relacionados com o uso da água. Assim como o diagnóstico, o prognóstico do uso dos recursos hídricos também é importante e deve incluir as previsões naturais de mudança nos padrões

¹ Eng. Agrônoma, Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Estudante de Doutorado, Griffith University, Australia. E-mail: f.helfer@griffith.edu.au

² Eng. Civil, Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. E-mail: louzada@iph.ufrgs.br

de uso dos recursos hídricos e as intervenções previstas nos diferentes setores de usuários por intermédio de outros sistemas de planejamento (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

A irrigação de arroz na Bacia do Rio Pardo (3.636 km²), situada no Estado do Rio Grande do Sul (Brasil), é responsável por cerca 87% da vazão anual demandada na bacia e por 97% da vazão demandada nos meses de verão (ECOPLAN, 2004). Dados de safra dos últimos anos indicam que a área de arroz irrigado em todos os municípios que compõem a bacia está crescendo. Consultas Públicas realizadas em três municípios da Bacia durante o ano de 2005, onde cidadãos foram questionados sobre os 'usos futuros prioritários nos cursos de água da Bacia' para fins de enquadramento da qualidade das águas, a irrigação apareceu em segundo lugar geral, com 23,7% das pretensões, ficando atrás apenas do abastecimento humano, com 31,2% (ECOPLAN, 2004). No entanto, nos trechos de rio cujas adjacências são ocupadas por lavouras de arroz irrigado, a prioridade de uso da água foi atribuída majoritariamente à irrigação. Estes fatos demonstram a importância que a atividade orizícola exerce na Bacia, bem como a preocupação existente com a manutenção de sua sustentabilidade na Região. Acrescenta-se a isso ainda o fato de existirem grandes extensões de áreas de várzea na Bacia, com solos, clima e relevo adequados para a produção de arroz e que ainda não estão sendo utilizadas para tal fim (ANDRADE & RABUSKI, 2005; HELFER & LOUZADA, 2005). Tudo isso, enfim, evidencia a possível necessidade de maiores quantidades de água disponível para garantir a potencial produção de arroz na Bacia do Rio Pardo.

Dentro deste contexto, este artigo tem por objetivo analisar a situação hídrica quantitativa na Bacia através de balanços hídricos em que disponibilidades e demandas hídricas são confrontadas em diferentes cenários. Cenários futuros foram estabelecidos baseados nas principais tendências identificadas no processo produtivo do arroz irrigado. O trabalho também busca identificar as áreas críticas dentro da Bacia em que ações imediatas devem ser tomadas a fim de assegurar o suprimento de água para a demanda hídrica da lavoura orizícola na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo: A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo é uma das 9 (nove) bacias que integram a Região Hidrográfica do Guaíba, no Rio Grande do Sul, sendo sua área de drenagem de aproximadamente 3.636 km², representando 1,3% da área do Estado. Os rios Pardo e Pardinho são os principais cursos de água, com extensões de aproximadamente 200 e 90 km, respectivamente. A sub-bacia do Rio Pardinho possui 1.089 km² e corresponde a 29% da área total da Bacia em estudo, sendo os 71% restantes, correspondentes à sub-bacia do Rio Pardo. Na porção mais a jusante da Bacia, nas áreas planas das várzeas dos leitos

principais, as terras são utilizadas intensamente para o cultivo de arroz irrigado, especialmente nos municípios de Rio Pardo, Candelária e Santa Cruz do Sul. A população total da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo é de cerca de 210 mil habitantes, sendo que cerca de 70% dela se localiza em áreas urbanas, particularmente em Santa Cruz do Sul.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo apresenta formato alongado na direção norte-sul, atingindo uma dimensão máxima de cerca de 115 km de extensão. A sua largura, na direção oeste-leste, tem uma dimensão média de 35 km. A extensão total do curso principal (Rio Pardo) atinge 182 km, sendo a sua declividade média de $3,9 \text{ m.km}^{-1}$. A declividade do Rio Pardo apresenta dois trechos distintos, um com valor médio elevado da ordem de $7,6 \text{ m.km}^{-1}$ (das nascentes até 20 km à montante de Candelária), e outro com valor médio muito baixo, da ordem de $0,85 \text{ m.km}^{-1}$ (de 20 km à montante de Candelária até a sua foz no Rio Jacuí). Assim como o Rio Pardo, também o Rio Pardinho apresenta conformação semelhante. Durante a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (ECOPLAN, 2005a), o Comitê Pardo definiu a divisão espacial interna da Bacia para fins de detalhamento dos estudos. Desta forma, definiram-se 13 Unidades de Estudo com base na homogeneidade de relevo, solos, ocupação e cursos de água principais. Neste estudo, muitos resultados serão abordados com base nesta divisão; outros ainda serão tratados mais detalhadamente, adotando-se para tal uma sub-divisão na forma de Sub-Unidades de estudo, conforme visto mais adiante.

Cenarização: os cenários estabelecidos são caracterizados por diferentes combinações tecnológicas relacionadas com o manejo das lavouras de arroz que, quando integradas, implicam em diferentes demandas hídricas para a irrigação. Estes cenários foram estabelecidos para a safra 2016/2017 baseados nas tendências históricas de crescimento da lavoura orizícola na região e em aspectos tecnológicos envolvidos no processo produtivo de arroz. Este trabalho foi desenvolvido em 2004 e, portanto, a safra 2003/2004 é tratada como a “safra base”, ie, cenário atual, para fins de comparação. A metodologia empregada para a estimativa do crescimento da área cultivada com arroz irrigado na projeção futura (2016/2017) pode ser conferida em Helfer (2006). Dentro desta área orizícola projetada, foram estabelecidos dois cenários distintos de demanda hídrica, conforme explicado a seguir.

De acordo com IRGA (2006), dados da safra 2003/2004 mostram que cerca de 60% das lavouras dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo são sistematizadas, sendo esta sistematização caracterizada, entre outras coisas, pela inexistência de diferença de nível entre as taipas que circundam os quadros das lavouras. A SOSBAI (2005) denomina esta forma de adequação do terreno de sistematização em nível. Dentro deste percentual sistematizado, em 55% são utilizados sistemas de semeadura em solo inundado – incluindo, neste

caso, os sistemas mix e pré-germinado – e em 5%, sistemas de semeadura em solo seco (convencional, mínimo ou plantio direto). As lavouras não sistematizadas somam cerca de 40% e nelas são utilizados somente sistemas de semeadura em solo seco.

Com relação às cultivares de arroz, Andrade & Rabuski (2005) afirmam que cerca de 50% dos produtores da Região utilizam variedades de ciclo longo (136 a 150 dias), 30%, de ciclo médio (121 a 135 dias) e apenas 20%, ciclo precoce (106 a 120 dias). As cultivares preferencialmente utilizadas são a EPAGRI 108 (ciclo longo), BR IRGA 409, BRS 7 "TAIM", BR IRGA 410, EL PASO L 144 e QUALIMAX 1 (ciclo médio) e IRGA 417, IRGA 419, IRGA 420 e IRGA 418 (ciclo precoce).

Partindo da configuração dos sistemas de produção da safra 2003/2004, os cenários futuros em 2016 foram estabelecidos seguindo as tendências apontadas por técnicos e produtores de arroz da Bacia do Rio Pardo:

a) Cenário Tendencial: as principais tendências que levaram ao estabelecimento deste cenário foram:

i) diminuição do percentual de produção de arroz com sistemas de semeadura em solo inundado (pré-germinado e mix). Esta tendência é atribuída à difusão do Sistema de Produção Clearfield (CLEARFIELD, 2004), desenvolvido pelo IRGA, e que tem por objetivos disponibilizar aos produtores um conjunto de tecnologias para controle eficiente do arroz vermelho. Consiste, portanto, em um método alternativo ao sistema pré-germinado para o controle da invasora, uma vez que este último implica em altos custos associados com mão-de-obra e manutenção. Para Andrade & Rabuski (2005), partindo-se da situação base (safra 2003/2004), pode-se considerar que a diminuição dos sistemas de semeadura em solo inundado dá-se de forma linear ao longo das safras, a uma taxa de 5% ao ano, chegando a um patamar de 20% da área total. Este último percentual representa a parcela de produtores que têm obtido altas produtividades e grande sucesso com os sistemas de semeadura em solo inundado, em especial o pré-germinado, e, por isso têm grande probabilidade de permanecer utilizando estes sistemas de cultivo nos próximos anos.

ii) aumento de áreas sistematizadas em nível: mesmo sem a intenção de utilizar os sistemas de cultivo de semeadura em solo inundado, prevê-se o aumento da sistematização das terras para cultivo de arroz na Região. Inicialmente, a grande maioria dos orizicultores sistematizavam suas terras unicamente para a utilização do pré-germinado cuja principal vantagem é o controle eficiente de plantas daninhas. Porém, muitos produtores vêm se conscientizando das melhorias sucedidas se a área for sistematizada, mesmo para o estabelecimento de um sistema de semeadura em solo seco. Estas melhorias constituem-se em condições mais favoráveis para a semeadura, aplicação de defensivos e adubos e economia de água. A taxa de aumento de áreas sistematizadas sugerida é de 2% ao ano. Quanto à sistematização em desnível, acredita-se muito pouco em investimentos nesta forma de adequação, pois as

vantagens da sistematização em nível são superiores, devido à maior facilidade de manejo das lavouras, e porque os custos de implantação de ambos são similares. Além disso, a região em estudo possui extensas áreas com topografia adequada à sistematização em nível (ANDRADE & RABUSKI, 2005).

iii) Substituição de cultivares de ciclo longo por cultivares de ciclo precoce e médio: num horizonte próximo, a tendência é a utilização de cultivares de ciclo precoce e médio, como IRGA 417, IRGA 419, IRGA 409, BRS 7 "TAIM" e, principalmente, IRGA 422 CL. Acredita-se que, nos próximos anos, cultivares de ciclo médio poderão ser utilizadas também no sistema Clearfield, devido ao melhoramento genético de variedades existentes. Atualmente (safra 2003/2004), cerca de 20% das lavouras da Região utilizam cultivares precoces; no entanto, com o lançamento da IRGA 422 CL acredita-se que este percentual possa aumentar nas próximas safras e subir para 40%. Neste sentido, para a safra 2016/2017, foram considerados cenários com 50% de cultivares precoce, 40% de cultivares de ciclo médio e 10% de ciclo longo.

b) Cenário Otimista: um cenário alternativo foi estabelecido considerando-se mudanças acentuadas nos padrões tecnológicos de manejo das lavouras de arroz irrigado. Este cenário, denominado 'cenário Otimista', foi fundamentado nos efeitos de programas existentes que priorizam práticas de manejo que visam o aumento da produtividade e, ao mesmo tempo, determinam reduções no uso da água. Desta forma, consideraram-se, especialmente, os efeitos promovidos através da implementação do Projeto 10 ("Estratégias e Manejo para Aumento de Produtividade, Competitividade e Sustentabilidade da Lavoura de Arroz do Rio Grande do Sul") e do Sistema de Produção Clearfield, ambos integrantes do Programa Arroz RS (IRGA, 2004a), lançado em 2003 pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul.

Entre as estratégias promovidas pelo Projeto 10, está o adequado manejo da água e a sistematização de lavouras. A sistematização das áreas de solos de várzea é um fator importante na mudança do padrão tecnológico da lavoura de arroz, pois permite melhor planejamento dos sistemas de irrigação e drenagem, melhor aproveitamento da área útil da lavoura, melhor condição de implantação e desenvolvimento da cultura e manutenção de lâmina de água mais baixa e uniforme, resultado em economia de água (IRGA, 2004b).

Desta forma, o cenário otimista foi estabelecido considerando-se taxa de crescimento de 5% ao ano em áreas sistematizadas em nível em relação ao cenário atual (2004) e uso de 100% da área com cultivares precoces, que possuem ciclo de menor duração e, conseqüentemente, menor consumo de água durante a safra. Neste cenário alternativo, o sistema de semeadura em solo inundado foi considerado da mesma forma feita no Cenário Tendencial.

É interessante ressaltar que os cenários caracterizados anteriormente foram determinados junto com o Comitê Pardo, o Núcleo de Assistência Técnica do IRGA e a Associação dos Arrozeiros de Rio Pardo, retratando com fidelidade a realidade

da orizicultura da Bacia, sendo, inclusive utilizados como subsídio para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Ecoplan, 2005). É importante destacar também que estas tendências não podem ser generalizadas para o restante do Estado, visto que elas estão associadas a características locais da Bacia. Para Silva (2006), contrariando as tendências levantada neste estudo, a tendência geral é de que os sistemas de semeadura em solo inundado aumentem no Rio Grande do Sul, especialmente associados ao Sistema Clearfield, para combater com maior eficiência o arroz vermelho, além de outros benefícios.

Demandas Hídricas: a metodologia empregada para a determinação das demandas hídricas para a irrigação de arroz nos diferentes cenários pode ser conferida em detalhes em Helfer (2006). As demandas foram calculadas em função de todas as variáveis individuais que compõem a demanda total para a irrigação de arroz, ie, evapotranspiração, saturação do perfil do solo, lâmina superficial, fluxo lateral e percolação, de acordo com o meodelo matemático proposto por Fietz et al. (1986) e Fietz (1987):

$$I = ET_m + S_s + L_s + F_l + P_p \quad (1)$$

Onde: I = lâmina de irrigação (L); ET_m = evapotranspiração do arroz (L); S_s = saturação do perfil do solo (L); L_s = lâmina superficial (L); F_l : fluxo lateral (L); e P_p : percolação profunda (L).

a) Evapotranspiração: a demanda evapotranspirativa decendial média da cultura do arroz foi calculada de acordo com a Equação 2. A evapotranspiração de referência foi calculada a partir de dados decendiais médios de evaporação de Tanque Classe A (E_{pan}), obtidos a partir de três estações meteorológicas localizadas dentro da Bacia e igualmente distanciadas.

$$ET_m = ET_0 \times K_c \quad (2)$$

em que: ET_m = evapotranspiração potencial das culturas (L); ET_0 = evapotranspiração de referência (L); e K_c = coeficiente de cultura (adimensional).

Os períodos de semeadura para os diferentes sistemas de produção foram adotados conforme mostrado na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de cultura sugeridos por Fietz (1987) e associados a cada decêndio do período de desenvolvimento do arroz para cada sistema de produção, de acordo com o estágio de crescimento da cultura.

Tabela 1. Períodos de semeadura considerados nos diferentes sistemas de produção de arroz

Sistema de Produção ¹	Descrição	Decêndio em que ocorre a semeadura
SN-SSI-P	Sist. em nível, semeadura em solo inundado, ciclo precoce	Terceiro decêndio de Out. (out/03)
SN-SSI-M	Sist. em nível, semeadura em solo inundado, ciclo médio	Segundo decêndio de Out. (out/02)
SN-SSI-L	Sist. em nível, semeadura em solo inundado, ciclo longo	Primeiro decêndio de Out. (out/01)
SN-SSS-P	Sist. em nível, semeadura em solo seco, ciclo precoce	Primeiro decêndio de Nov. (nov/01)
SN-SSS-M	Sist. em nível, semeadura em solo seco, ciclo médio	Terceiro decêndio de Out. (out/03)
SN-SSS-L	Sist. em nível, semeadura em solo seco, ciclo longo	Segundo decêndio de Out. (out/02)
N-SSS-P	Não sistematizado, semeadura em solo seco, ciclo precoce	Primeiro decêndio de Nov. (nov/01)
N-SSS-M	Não sist., semeadura em solo seco, ciclo médio	Terceiro decêndio de Out. (out/03)
N-SSS-L	Não sist., semeadura em solo seco, ciclo longo	Segundo decêndio de Out. (out/02)

¹Sistema de Produção = combinação entre tipo de adequação do terreno (sistematizado ou não sistematizado), ciclo de desenvolvimento da cultivar (precoce, médio ou longo) e condição de semeadura (solo seco ou solo inundado).

Tabela 2. Coeficientes de cultura utilizados ao longo da safra de arroz de acordo com os sistemas de produção

Mês	outubro			novembro			dezembro			janeiro			fevereiro			Dias de irrigação
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	
Sistema ¹	Coeficientes de Cultura (K _c)															
SN-SSI-P	-	0	0	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	102
SN-SSI-M	-	0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	123
SN-SSI-L	-	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	133
SN-SSS-P	-	0	0	0	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	92
SN-SSS-M	-	0	0	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	102
SN-SSS-L	-	0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	113
N-SSS-P	-	0	0	0	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	92
N-SSS-M	-	0	0	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	102
N-SSS-L	-	0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	113

¹Sistema = combinação entre tipo de adequação do terreno (sistematizado ou não sistematizado), ciclo de desenvolvimento da cultivar (precoce, médio ou longo) e condição de semeadura (solo seco ou solo inundado), de acordo com a terminologia que segue: SN = lavoura sistematizada em nível / N = lavoura não sistematizada / SSI = semeadura em solo inundado / SSS = semeadura em solo seco / P = cultivar de ciclo precoce / M = cultivar de ciclo médio / L = cultivar de ciclo longo

b) Saturação do Perfil do Solo: a expressão para o cálculo da demanda para a saturação do solo é dada, conforme o modelo proposto, por:

$$S_s = (P_s - \theta_i) \times \text{prof} \quad (3)$$

sendo: P_s = porosidade do solo (adimensional); θ_i = umidade volumétrica imediatamente anterior ao início da irrigação (adimensional); e prof = profundidade do solo até a camada impermeável ou lençol freático (L).

Os atributos físicos dos solos da Região, porosidade e profundidade da camada impermeável, foram obtidos a partir de trabalho realizado em 1997, ocasião na qual foram levantadas informações referentes à morfologia dos perfis de solo das principais unidades taxonômicas que ocorrem na Bacia do Rio Pardo, coletadas amostras para as análises de densidade de partículas e de densidade do solo, curva de retenção e feitos ensaios de infiltração (ECOPLAN, 1997).

Com relação à umidade inicial, os solos foram considerados inicialmente saturados (umidade inicial = porosidade do solo) nos Sistemas de Semeadura em Solo Inundado (SSI), uma vez que estas lavouras são preparadas antecipadamente em condições de encharcamento para a formação de lama (situação necessária em áreas sistematizadas). Nestes casos, a condição de encharcamento é obtida mediante as chuvas de setembro, sem haver necessidade de utilização das águas dos mananciais hídricos. Este procedimento é muito comum e está de acordo com a realidade do local (ANDRADE & RABUSKI, 2005). Nos Sistemas de Semeadura em Solo Seco (SSS), por outro lado, considerou-se umidade inicial correspondente à umidade na capacidade de campo; a Norma NBR 14144 da ABNT recomenda que seja utilizado o potencial de 0,06 atm como o indicador desta umidade.

c) Lâmina Superficial: a demanda hídrica para a formação da lâmina superficial das lavouras foi determinada a partir de informações de técnicos do órgão de pesquisa atuante na Região (IRGA), os quais, por assistirem tecnicamente os produtores da Bacia, possuem informações bastante atualizadas sobre o manejo da água de irrigação. Assim, conforme Andrade & Rabuski (2005), a altura da lâmina de irrigação é função unicamente da forma de adequação do terreno (sistematizado ou não) sendo que a lâmina em lavouras sistematizadas em nível é mantida a uma altura uniforme de cerca de 6 cm, enquanto que a lâmina em lavouras não sistematizadas – cujo microrelevo entre as taipas é bastante desuniforme – varia de 4 a 6 cm nas imediações das taipas de montante a 20 a 24 cm nas taipas de jusante, configurando uma média de 12 cm. Ainda, nos sistemas de semeadura em solo inundado deve-se considerar a lâmina de semeadura, que é utilizada para a deposição das sementes quando drenada. Segundo Andrade & Rabuski (2005), a altura desta lâmina pode ser considerada de cerca de 5 cm.

d) Fluxo Lateral: o cálculo para a determinação da demanda para suprir as perdas pelo fluxo lateral está baseado na Equação de Darcy, que segue:

$$F_l = A \times K_{sat} \times i \quad (4)$$

onde: F_l = fluxo lateral ($L^3.T^{-1}$); A = seção por onde se dá o fluxo lateral (L^2); K_{sat} = condutividade hidráulica saturada ($L.T^{-1}$); e i = gradiente hidráulico (adimensional).

Assumiu-se que as perdas laterais se restringem ao fluxo subsuperficial que se dá através de uma seção hipotética do solo, formada pelo produto da sua profundidade efetiva e a extensão linear das taipas circundantes. Desta forma, utilizando-se a relação perímetro/área no cálculo, chega-se a seguinte expressão:

$$F_l = P_a \times prof \times K_{sat} \times i \times T \quad (5)$$

onde: F_l = fluxo lateral (L); P_a = relação perímetro/área (L^{-1}); $prof$ = profundidade da seção do solo (L); K_{sat} = condutividade hidráulica saturada ($L.T^{-1}$); i = gradiente hidráulico (adimensional); e T = tempo (T) - decêndio.

De acordo com o Anuário Estatístico de Arroz (1982), em Fietz (1987), o tamanho médio das lavouras do Estado do Rio Grande do Sul é de 113 ha e o perímetro total de taipas, de cerca de 4.254 m; logo, a relação perímetro/área utilizada foi de $0,0037 \text{ m}^{-1}$. A condutividade hidráulica saturada foi obtida através dos dados secundários oriundos dos ensaios de infiltração realizados por Ecoplan (1997). Com relação ao gradiente Hidráulico (i), considerando a inexistência de declividade entre um determinado ponto da base dos taludes (taipas) interior à lavoura e um ponto na base dos taludes exterior à lavoura – o que faz com que o gradiente gravitacional seja nulo – o gradiente hidráulico é dado apenas pelo componente de pressão. A equação do gradiente, portanto, fica da seguinte forma:

$$i = \frac{L_s}{B_t} \quad (6)$$

onde: i = gradiente hidráulico (adimensional); L_s = altura da lâmina superficial (L); e B_t = base da taipa da lavoura (L).

Conforme exposto anteriormente, os valores de lâmina superficial estão relacionados com a forma de adequação do terreno. Para a sistematização em nível, assumiu-se lâmina de 60 mm de altura; em terrenos não sistematizados, de 120 mm. Assumiu-se largura média da base dos taludes de 700 mm. Desta forma, aplicando-se a Equação 7, o gradiente hidráulico para os sistemas não-sistematizados resulta em 0,171 e para os sistematizados, em 0,086 para o período posterior ao estabelecimento da lâmina. No decêndio imediatamente anterior ao estabelecimento da lâmina, considerou-se metade da altura da lâmina já estabelecida, ou seja, 30 e 60 mm, respectivamente para os casos sistematizados e não sistematizados.

e) Percolação Vertical: de acordo com Cauduro (1996), o percentual referente à demanda para suprir as perdas por percolação vertical é mínimo, da ordem de 0,5%. Louzada (2004) concluiu que as perdas por percolação podem ser desconsideradas em lavouras de arroz irrigado, pois os solos sobre os quais são realizados os cultivos são caracterizados por possuírem lençol freático superficial ou por possuírem camada subsuperficial de impedimento (planossolos), condicionando a (quase) ausência de fluxo vertical. Considerando-se o exposto, as perdas por percolação vertical foram desconsideradas neste modelo. Da mesma forma, a precipitação e eventuais perdas de água na condução (entre o ponto de captação e a entrada da área irrigada) não foram computadas. É importante também destacar que nos cálculos não foram computadas as perdas por infiltração nos canais de condução e nem outras perdas de água no sistema (transbordamento sobre taipas, por exemplo). As perdas por evaporação nos canais de irrigação não são significativas em regiões onde os canais de irrigação apresentam pequena largura e extensão, como é o caso da Bacia do Rio Pardo. Em geral, modelos matemáticos para cálculo de demandas hídricas para irrigação não incluem, em suas medições e simulações, perdas nos canais que ligam o ponto de captação à área irrigada (LOUZADA, 2004).

f) Demandas Hídricas para Demais Usuários: às demandas hídricas estimadas para a irrigação de arroz de acordo com a metodologia descrita acima, foram adicionadas as demandas hídricas calculadas para suprir os demais usuários da bacia (população, indústria e criação animal). As estimativas destas demandas, tanto atuais como futuras, foram efetuadas por Ecoplan (2005a; 2005b), tendo seus resultados aprovados pelo Comitê Pardo. Os mesmos serão apresentados posteriormente, juntamente com os resultados da metodologia ora apresentada.

Balanços Hídricos: para a realização dos balanços hídricos, a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo foi sub-dividida em 33 Sub-Unidades de Estudo, conforme apresentado na Figura 1. O intuito desta sub-divisão está relacionado com a possibilidade de identificação pormenorizada das zonas conflitantes da Bacia.

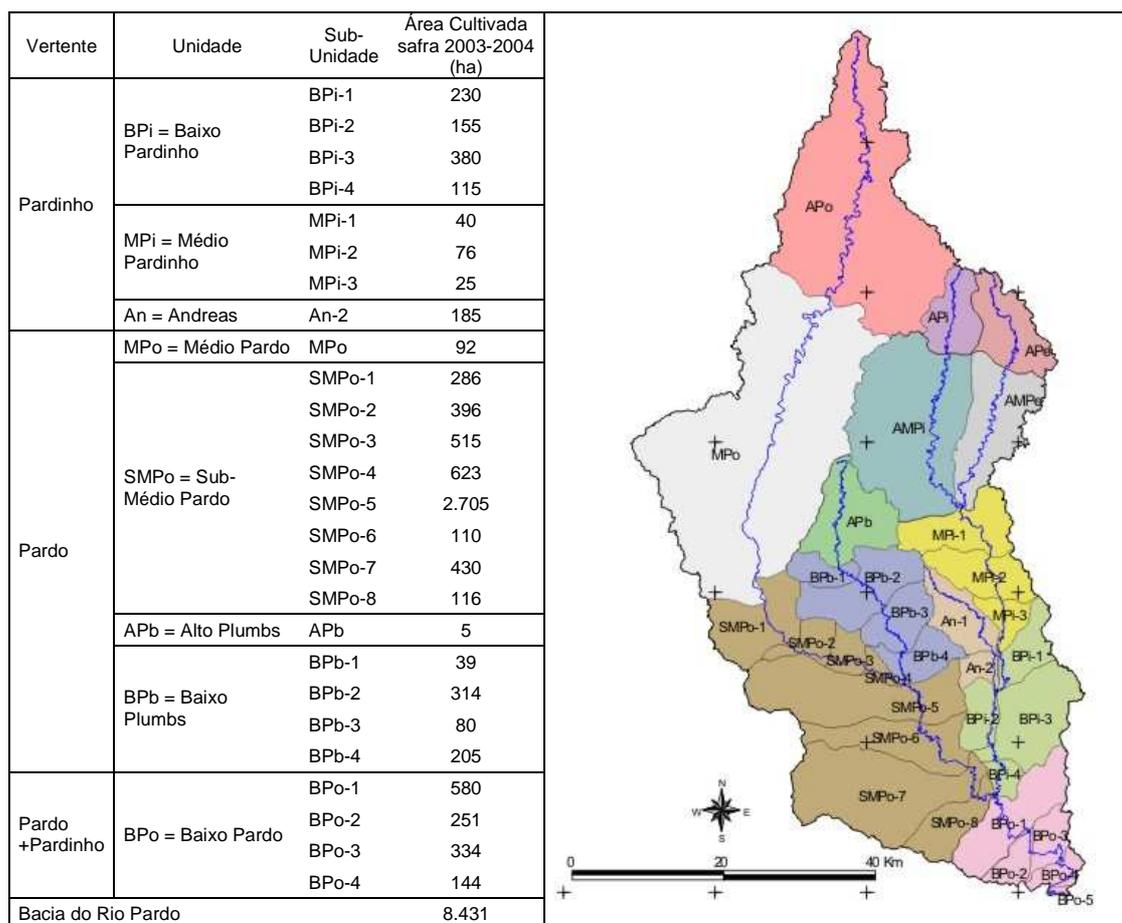


Figura 1. Sub-divisão das Unidades de Estudo para realização dos balanços hídricos (Fonte: Autores)

Os balanços consistiram nos confrontos entre as disponibilidades hídricas decendiais superficiais e os consumos hídricos decendiais futuros que ocorrem em cada uma das 33 Sub-Unidades de Estudo, nos três cenários estabelecidos (Atual, Futuro-Tendencial e Futuro-Otimista). Os consumos consideram que uma parcela da demanda (que não é efetivamente utilizada) retorna aos cursos de água. Considerou-se que esta parcela, também chamada de vazão de retorno, torna-se disponível para ser utilizada, na mesma Sub-Unidade e no mesmo intervalo de tempo (decêndio). No caso da demanda para o arroz irrigado, da maneira como esta foi estimada neste estudo (metodologia apresentada anteriormente), os únicos componentes da demanda total são a evapotranspiração, saturação do solo, lâmina superficial e fluxo lateral. Diante disto, entende-se que a evapotranspiração é consumida, pois não retorna aos mananciais hídricos, constituindo-se em uma vazão de consumo; a saturação do solo permanece constante, sendo drenada e evaporada apenas após a drenagem no final da safra (também, portanto, considerada uma vazão de consumo); a lâmina superficial se transforma em vazão de retorno apenas no final da safra (ao ser drenada) e o fluxo lateral é lento suficiente para não ser considerado como disponível à jusante de onde ele

ocorre (também representando uma vazão de consumo). Por tudo isso, as vazões demandadas para a irrigação de arroz, foram consideradas como o consumo do arroz e nenhum retorno foi considerado. Para os demais usuários de água da Bacia, no entanto, coeficientes de retorno foram utilizados de acordo com metodologia utilizada em Ecoplan (2005a; 2005b).

Como disponibilidade hídrica, adotaram-se as vazões com 90% de garantia de excedência (Q90%), por serem estas as vazões outorgáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, definidas pelo Plano Pardo (ECOPLAN, 2005b). As disponibilidades em cada Sub-Unidade foram estimadas a partir da determinação das disponibilidades dos dois grandes compartimentos da Bacia (sub-bacia do Rio Pardo e sub-bacia do Rio Pardinho). As vazões destes dois compartimentos foram obtidas pela relação entre a sua área de drenagem e a área de drenagem de duas estações fluviométricas com dados de vazões medidos (dados diários de dezembro/1978 a dezembro/2002, Rio Pardinho, e dados diários de outubro/1984 a agosto/2001, Rio Pardo) localizados em zonas baixas de cada compartimento. Assim, as vazões nas Sub-Unidades foram obtidas mediante a relação de suas áreas de drenagem com a área do compartimento ao qual pertencem. É importante ressaltar que os valores apresentados representam praticamente as vazões naturais dos rios nestas seções, visto que as retiradas de água mais significativas (para a irrigação do arroz) encontram-se a jusante dos postos selecionados. Às disponibilidades hídricas de cada Sub-Unidade também foram acrescidos, nos meses de irrigação, os volumes acumulados nos reservatórios, contabilizando-se apenas os açudes com área superior a 2 ha (identificados a partir de imagem de satélite) e considerando-se uma profundidade média de 3 m.

Os consumos hídricos futuros foram estimados para cada usuário significativo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (abastecimento humano, industrial, dessedentação animal e irrigação de arroz) em intervalo decenal no período de irrigação (outubro a fevereiro). No caso da irrigação, utilizaram-se como consumo, os resultados da aplicação da metodologia descrita anteriormente. Para os demais casos (abastecimentos humano e industrial e dessedentação animal), foram utilizados os dados do estudo de Ecoplan (2005a; 2005b), que estimou os consumos hídricos atuais (2005) e futuros (2008 e 2016) dos usuários da Bacia. As demandas associadas ao uso de águas subterrâneas não foram computadas nos cálculos dos balanços, pois estes levam em consideração apenas a disponibilidade de água superficial e também porque as águas subterrâneas e seus usos são significativamente menores e ocorrem em pontos específicos e localizados da Bacia. Da mesma forma, os usos não consuntivos, como a navegação e recreação, não foram considerados, pois estes não alteram a disponibilidade de água no tempo e no espaço.

No processo de confronto das disponibilidades *versus* consumos, os excessos nas Sub-Unidades de montante foram acumulados nas de jusante,

conforme o fluxograma apresentado na Figura 2. Esse fluxograma orienta-se conforme a ocorrência das afluições hídricas na Bacia, respeitando, assim, a rede hidrográfica existente. O modelo matemático criado em planilha Excell realiza, basicamente, duas operações: balanço hídrico das disponibilidades *versus* consumos e transferência do resultado do balanço da macro-célula de montante para a de jusante. Na primeira operação, é efetuada a subtração entre disponibilidade e consumo considerando os valores definidos para cada Sub-Unidade de Estudo. Na segunda operação, transfere-se para jusante o resultado do balanço hídrico. Esta transferência ocorre apenas nos casos de excesso hídrico, sendo que, no caso de ocorrência de déficit (demanda maior do que disponibilidade), a falta de água não é descontada da disponibilidade da Sub-Unidade de jusante. Portanto, nestas situações, a transferência para jusante é nula.

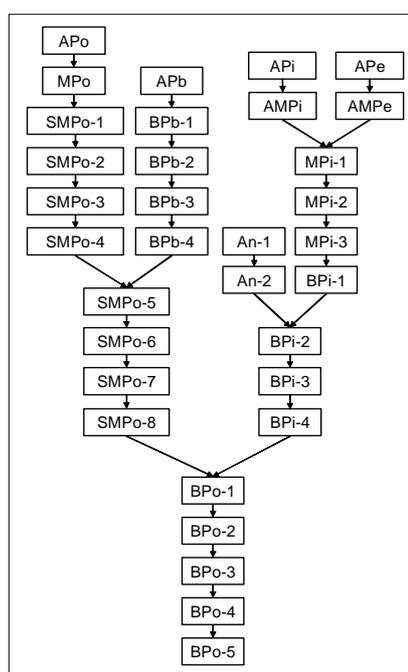


Figura 2. Fluxograma hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Fonte: Autores)

Nos balanços, as vazões de retorno são adicionadas às disponibilidades da própria Sub-Unidade, assumindo-se, desta forma, que, no intervalo de tempo utilizado, a parcela da demanda não efetivamente utilizada torna-se imediatamente disponível para utilização na mesma Sub-Unidade. Nas análises finais dos balanços, as vazões resultantes em cada Sub-Unidade de Estudo foram avaliadas comparativamente às respectivas vazões ecológicas (vazão mínima necessária à manutenção dos ecossistemas aquáticos). A vazão ecológica da Bacia do Rio Pardo foi definida em 2005 pelo Comitê Pardo, apoiado por técnicos da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) e da área de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Definiu-se como vazão necessária a permanecer nos cursos de água nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio, a vazão com 95% de garantia de ocorrência nos meses de verão (dezembro, janeiro e

fevereiro). Para os meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, a vazão mínima definida foi a de 95% de garantia de ocorrência durante todos os meses do ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área cultivada com arroz irrigado na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo foi estimada em 10.095 hectares para a safra 2016/2017. A safra do ano base (2003/2004) constituiu-se de cerca de 8.430 hectares de cultivo de arroz. O aumento esperado na área plantada entre as safras 2003/2004 e 2016/2017 representa, portanto, 20%, sendo a taxa de crescimento anual estimada de 1,5%. A distribuição das áreas projetadas nas Unidades de Estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo pode ser verificada na Figura 3.

A distribuição dos sistemas de produção de arroz na projeção futura (que caracteriza a cenarização adotada neste trabalho) pode ser conferida nas Tabelas 3, 4 e 5. É também apresentada a situação atual, que corresponde ao cenário base, a partir do qual os demais cenários (Tendencial e Otimista) foram estabelecidos. Um resumo das características de cada cenário pode ser conferido na Tabela 6.

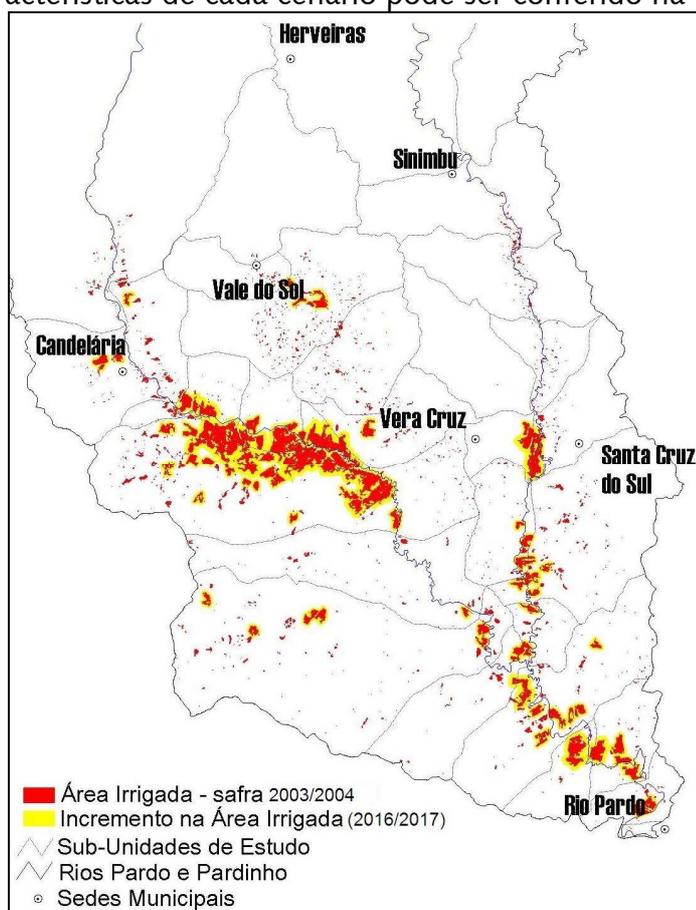


Figura 3. Incremento na área cultivada com arroz irrigado na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (safra 2016/2017 com relação à safra 2003/2004)

Tabela 3. Participação dos sistemas de produção nas Unidades de Estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo no Cenário Atual (safra 2003/2004)

UE ¹	Área Total Cultivada (ha)	Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo inundado (ha)			Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo seco (ha)			Áreas <i>não sistemizadas</i> e semeadura em solo seco (ha)		
		Precoce	Médio	Longo	Precoce	Médio	Longo	Precoce	Médio	Longo
An	185,0	20,9	31,4	52,3	0,0	0,0	0,0	16,1	24,1	40,2
APb	5,0	0,6	1,0	1,6	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8
BPb	638,0	81,2	121,8	203,0	0,0	0,0	0,0	46,4	69,6	116,0
BPi	880,2	133,4	200,1	333,5	11,5	17,3	28,9	31,1	46,6	77,7
BPo	1.309,3	129,4	194,1	323,5	0,0	0,0	0,0	132,5	198,7	331,2
MPi	141,0	22,0	33,0	55,0	2,7	4,0	6,7	3,5	5,3	8,9
MPo	92,0	11,9	17,8	29,7	1,0	1,5	2,4	5,5	8,3	13,8
SMPo	5.181,0	435,2	652,8	1.088,0	62,2	93,3	155,4	538,8	808,2	1.347,1
Bacia	8.431,5	834,6	1.252,0	2.086,6	77,4	116,1	193,5	774,2	1.161,4	1.935,6
Bacia - %	100	9,9	14,8	24,7	0,9	1,4	2,3	9,2	13,8	23,0
			49,5				4,6			45,9

¹Divisão proposta pelo Comitê Pardo para os estudos referentes ao Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

Tabela 4. Participação dos sistemas de produção nas Unidades de Estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo no Cenário Futuro – Tendencial

UE	Área Total Cultivada (ha)	Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo inundado (ha)			Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo seco (ha)			Áreas <i>não sistemizadas</i> e semeadura em solo seco (ha)		
		Precoce	Médio	Longo	Precoce	Médio	Longo	Precoce	Médio	Longo
An	221	35,4	28,3	7,1	43,1	34,5	8,6	32,0	25,6	6,4
APb	6	1,1	0,8	0,2	1,2	1,0	0,2	0,7	0,6	0,1
BPb	764	129,9	103,9	26,0	141,3	113,1	28,3	110,8	88,6	22,2
BPi	1.054	216,1	172,9	43,2	237,2	189,7	47,4	73,8	59,0	14,8
BPo	1.568	203,8	163,1	40,8	266,6	213,2	53,3	313,6	250,9	62,7
MPi	168	34,4	27,6	6,9	37,8	30,2	7,6	11,8	9,4	2,4
MPo	110	13,2	10,6	2,6	19,8	15,8	4,0	22,0	17,6	4,4
SMPo	6.203	713,3	570,7	142,7	1.116,5	893,2	223,3	1.271,6	1.017,3	254,3
Bacia	10.094	1.347,2	1.077,7	269,4	1.863,5	1.490,8	372,7	1.836,3	1.469,0	367,3
Bacia - %	100	13,3	10,6	2,7	18,5	14,8	3,7	18,2	14,6	3,6
			26,6				37,0			36,4

Tabela 5. Participação dos sistemas de produção nas Unidades de Estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo no Cenário Futuro – Otimista

UE	Área Total Cultivada (ha)	Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo inundado (ha)			Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo seco (ha)			Áreas <i>não sistemizadas</i> e semeadura em solo seco (ha)		
		Precoce	Médio	Longo	Precoce	Médio	Longo	Precoce	Médio	Longo
An	221	77,3	0,0	0,0	101,7	0,0	0,0	42,0	0,0	0,0
APb	6	2,1	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,96	0,0	0,0
BPb	764	267,4	0,0	0,0	351,4	0,0	0,0	145,2	0,0	0,0
BPi	1.054	432,1	0,0	0,0	516,5	0,0	0,0	105,4	0,0	0,0
BPo	1.568	407,7	0,0	0,0	737,0	0,0	0,0	423,4	0,0	0,0
MPi	168	68,9	0,0	0,0	84,0	0,0	0,0	15,1	0,0	0,0
MPo	110	25,3	0,0	0,0	53,9	0,0	0,0	30,8	0,0	0,0
SMPo	6.203	1.426,7	0,0	0,0	3.163,5	0,0	0,0	1.612,8	0,0	0,0
Bacia	10.094	2.707,5	0,0	0,0	5.010,9	0,0	0,0	2.375,6	0,0	0,0
Bacia	100	26,8	0,0	0,0	49,6	0,0	0,0	23,6	0,0	0,0
%				26,8			49,6			23,6

Tabela 6. Resumo dos cenários estabelecidos na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Cenários Atual e Futuros)

Projeção	Cenário	Ciclo	Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo inundado (%)	Áreas <i>sistemizadas</i> em nível e semeadura em solo seco (%)	Áreas <i>não sistemizadas</i> e semeadura em solo seco (%)
Atual ¹ (2003/2004)	Atual	Precoce	9,9	0,9	9,2
		Médio	14,8	1,4	13,8
		Longo	24,7	2,3	23,0
Futura ² (2016/2017)	Tendencial	Precoce	13,3	18,5	18,2
		Médio	10,6	14,8	14,6
	Otimista	Precoce	26,8	49,6	23,6

¹Cenário Atual – área cultivada = 8.431 ha / ²Cenários Futuros – área cultivada = 10.094 há

Demandas Hídricas: as diferentes combinações de sistemas de produção (forma de adequação do terreno, duração de ciclo da cultivar e condição inicial de umidade dos solos) distribuídas na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, cujas características edafo-climáticas também são variadas, determinam diferentes demandas de água para os cenários estabelecidos. Desta forma, a análise integrada das demandas totais na Bacia se torna conveniente, procurando-se sempre que possível, identificar a (s) variável (eis) que assume (m) maior relevância na determinação destas diferenças nas demandas. A Tabela 7 apresenta os volumes totais demandados para irrigação de arroz na Bacia, por decêndio e para a safra,

nos cenários estabelecidos. A Tabela 8, por sua vez, apresenta para cada cenário e projeção os percentuais relativos a cada componente da demanda.

Tabela 7. Volumes decendiais totais (hm³) demandados para irrigação de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Cenários Atual e Futuros)

Cenário	Decêndios													Safr
	Out/01	ou/02	out/03	nov/01	nov/02	nov/03	dez/01	dez/02	dez/03	jan/01	jan/02	jan/03	fev/01	
	Volumes (hm ³)													
Atual	1,04	3,78	7,05	6,82	6,39	5,49	5,38	8,55	8,75	5,03	5,29	5,65	5,41	74,63
Futuro - Tend.	0,13	1,20	4,95	8,56	9,46	6,38	6,18	10,15	10,36	5,83	6,16	6,60	6,33	82,30
Futuro - Otim.	0,00	0,00	1,35	6,97	11,58	6,11	5,92	9,87	10,09	5,56	5,90	6,33	6,06	75,73

Tabela 8. Demanda por componente da lâmina total de irrigação de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Cenários Atual e Futuros)

Cenário	Evapo-transpiração (hm ³)	Evapo-transpiração (%)	Saturação do Solo (hm ³)	Saturação do Solo (%)	Lâmina Superficial (hm ³)	Lâmina Superficial (%)	Fluxo Lateral (hm ³)	Fluxo Lateral (%)
Atual	54,63	73,20%	2,30	3,08%	9,46	12,68%	8,24	11,05%
Futuro – Tendencial	61,14	74,29%	4,07	4,95%	9,60	11,67%	7,48	9,09%
Futuro - Otimista	58,15	76,78%	3,92	5,18%	8,83	11,66%	4,83	6,37%

A Tabela 9 mostra os volumes específicos demandados, representados pela relação entre o volume total e a área cultivada, em cada cenário e projeção, para cada componente.

Tabela 9. Volumes totais demandados por unidade de área de cada componente da demanda para a irrigação de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Cenários Atual e Futuros)

Cenário - Projeção	Evapotranspiração (m ³ .ha ⁻¹)	Saturação do Solo (m ³ .ha ⁻¹)	Lâmina Superficial (m ³ .ha ⁻¹)	Fluxo Lateral (m ³ .ha ⁻¹)	Total (m ³ .ha ⁻¹)
Atual	6.479,7	272,8	1.122,0	977,3	8.851,9
Futuro – Tendencial	6.057,1	403,2	951,1	741,0	8.152,4
Futuro - Otimista	5.760,8	388,3	874,8	478,5	7.502,5

O principal componente da demanda total do cultivo de arroz na Bacia do Rio Pardo, em todos os cenários, é a evapotranspiração (consumo propriamente dito do arroz). Verifica-se que a demanda total para suprir a evapotranspiração na Bacia é menor no Cenário Atual (54,6 hm³), em comparação aos Cenários Futuros (61,1 e 58,1 hm³ para os Cenários Tendencial e Otimista, respectivamente). No entanto, a evapotranspiração específica (por unidade de área cultivada) é menor no Cenário Futuro Otimista, sendo de 5.761 m³.ha⁻¹.safra⁻¹, quando comparada aos Cenários Atual (6.480 m³.ha⁻¹.safra⁻¹) e Futuro Tendencial (6.057 m³.ha⁻¹

¹.safra¹). Isso acontece porque o Cenário Futuro Otimista compõe-se de cultivares de ciclo precoce, enquanto que os demais apresentam cultivares com ciclos de tamanhos diferenciados. Ciclo de desenvolvimento curto representa menor período de irrigação e, conseqüentemente, de evapotranspiração. Os percentuais correspondentes à evapotranspiração são maiores nos cenários futuros (74,3 e 76,8% da demanda total, respectivamente para os Cenários Tendencial e Otimista), confirmando a melhoria na eficiência da irrigação. Quanto mais este percentual se aproximar de 100, maior é a eficiência de irrigação, pois os demais componentes da demanda do cultivo de arroz estão sendo minimizados. Irrigação ideal seria aquela em que a aplicação de água fosse igual à evapotranspiração. No caso do cultivo de arroz irrigado, isso nunca será possível, uma vez que existem demandas necessárias no sistema que não podem ser suprimidas, como a formação da lâmina superficial, a saturação do solo e o fluxo lateral. No entanto, estas demandas secundárias podem ser minimizadas, como acontece no Cenário Otimista aqui estabelecido.

Os volumes de água demandados para saturação do solo variam de 273 (Cenário Atual) a 403 m³.ha⁻¹.safra⁻¹ (cenário Futuro Tendencial). Nos cenários futuros, verifica-se aumento da demanda para saturação do perfil do solo em relação ao cenário Atual, o que é atribuído à diminuição dos sistemas de semeadura em solo inundado. A demanda para saturação do solo é a menos representativa da demanda total, variando de 2,3% (Cenário Atual) a 4,1% (Cenário Futuro Tendencial).

A demanda para formação da lâmina de água superficial diminui consideravelmente do Cenário Atual para os cenários futuros, especialmente para o Otimista, retratando os benefícios diretos da sistematização das lavouras. Verificam-se valores demandados por unidade de área cultivada variando de 875 m³.ha⁻¹.safra⁻¹ (Cenário Futuro Otimista) a 1.122 m³.ha⁻¹.safra⁻¹ (Cenário Atual). Em termos de participação percentual, este componente varia de 8,8% (Cenário Futuro Otimista) a 9,6% (Tendencial) da demanda total.

As demandas para suprir as perdas devido ao fluxo hídrico lateral variam de 4,8% (Cenário Futuro Otimista) a 8,2% (Cenário Atual) das demandas totais. O percentual de participação deste componente no Cenário Futuro Otimista é baixo, o que é explicado pela menor altura da lâmina superficial resultante da sistematização, que proporciona menor gradiente hidráulico e, conseqüentemente, menor fluxo, e também pelo menor período de irrigação devido à utilização de cultivares de ciclo mais curto. Em termos de volume, as variações ocorrem de 478 m³.ha⁻¹.safra⁻¹ (Cenário Futuro Otimista) a 977 m³.ha⁻¹.safra⁻¹ (Cenário Atual).

A demanda anual total da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo para irrigação de arroz é da ordem de 74,6 hm³ (Cenário Atual). Num horizonte de 12 anos (safra 2016/2017), cuja área de cultivo tende a aumentar 19,7% em relação à atual, espera-se que a demanda anual total atinja valores da ordem de 82,3 hm³, representando aumento de cerca de 10%. No Cenário Futuro Otimista, no

entanto, poder-se-ia esperar uma demanda anual total muito próxima da atual, mesmo cultivando-se 19,7% mais área. Esta demanda seria da ordem de 75,7 hm³, significando um aumento de apenas 1,5% com relação a demanda anual total do Cenário Atual.

Avaliando-se o montante demandado através da relação volume total/área cultivada, verifica-se que o Cenário Atual é responsável pelos maiores volumes (8.852 m³.ha⁻¹.safra⁻¹), seguido do Futuro Tendencial (8.152 m³.ha⁻¹.safra⁻¹) e Futuro Otimista (7.502 m³.ha⁻¹.safra⁻¹). Os resultados mostram que, em uma evolução natural (representado pelo Cenário Futuro Tendencial), são esperadas reduções nos volumes específicos (volumes totais demandados por área total cultivada) para irrigação de arroz na Bacia do Rio Pardo, dadas pelas alterações nos padrões de uso e manejo do solo (aumento de áreas sistematizadas e utilização de cultivares de ciclo mais curto). Os resultados obtidos no Cenário Otimista evidenciam ainda que existe a possibilidade destes volumes específicos serem ainda menores. Pode-se inferir que mais área poderá ser cultivada com o passar dos anos, mantendo-se a mesma utilização de água, se medidas que induzam as tendências do Cenário Otimista forem tomadas (Tabela 10).

Tabela 10. Taxas de crescimento/decaimento dos volumes demandados para irrigação de arroz e da área cultivada nos cenários futuros da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo em relação ao cenário atual

Cenário - Projeção	Área Cultivada Total (ha)	Demanda Total (hm ³)	Taxa de Crescimento/Decaimento da Área Cultivada (ao ano) com Relação ao Cenário Atual	Taxa de Crescimento/Decaimento da Demanda (ao ano) com Relação ao Cenário Atual
Atual	8.431	74,6	-	-
Futuro – Tendencial	10.094	82,3	1,51%	0,82%
Futuro - Otimista	10.094	75,7	1,51%	0,12%

Salienta-se que as demandas específicas calculadas nesta dissertação variam de cerca de 7.500 a 8.850 m³.ha⁻¹.safra⁻¹, o que parecem, num primeiro momento, baixas frente aos volumes apresentados em estudos clássicos, especialmente de dimensionamento de sistemas de irrigação. No entanto, estudos mais recentes, como os de Weber (2000), Marcolin & Macedo (2001) e Machado et al. (2006), têm demonstrado cada vez mais que é possível utilizar volumes desta magnitude em lavouras de arroz, embora os volumes que têm sido solicitados por irrigantes por ocasião da outorga sejam, geralmente, muito maiores. Este fato, segundo Muller & Dewes (2005), decorre, em primeiro lugar, da necessidade de se suprir as perdas de água no sistema de irrigação e, em segundo, da insegurança do produtor em ter o recurso hídrico garantido no momento da irrigação, fazendo-o solicitar volume maior do que aquele que realmente vai ser alocado em sua lavoura. Acrescenta-se a isso o fato de a água bruta ainda não ser onerada, sendo objeto apenas de outorga. Segundo o Departamento de Recursos Hídricos (Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul), pedidos de até 17.000

$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{safra}^{-1}$ têm sido solicitados. Devido a isso, o departamento estabeleceu limite de 14.000 m^3 de água por hectare de arroz. Muller & Dewes (2005) lembram que são poucos os irrigantes que acabam solicitando menos do que aquele limite, em virtude de quererem ter o recurso garantido para o desenvolvimento de sua atividade.

A Figura 4 apresenta, na safra, a variação temporal das demandas para irrigação de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo nos cenários estabelecidos.

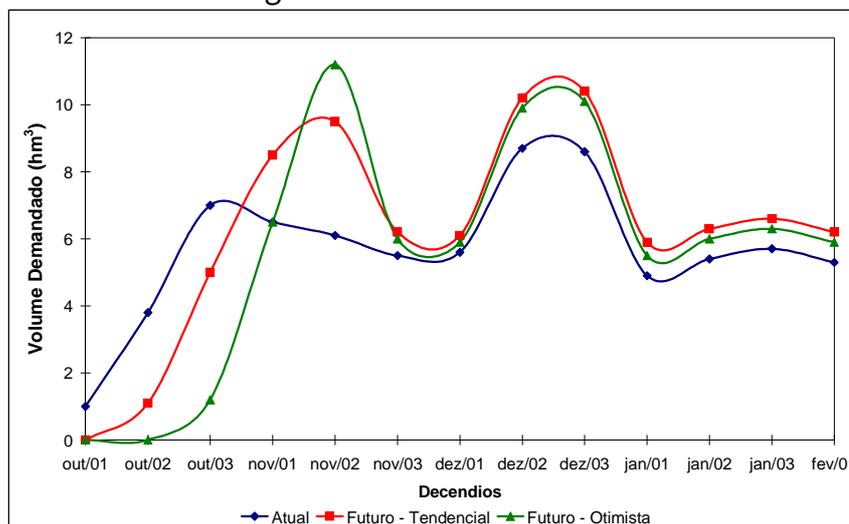


Figura 4. Variação temporal decendial das demandas hídricas para irrigação de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – Cenários Atual e Futuros

Em todos os cenários, as menores demandas da safra de arroz são verificadas no último decêndio de novembro, época em que as demandas iniciais de água já foram finalizadas (para qualquer duração de ciclo) e que a demanda evapotranspirativa ainda é baixa. Os picos de demanda na safra, em todos os cenários, ocorrem em dezembro e início de janeiro, devido, particularmente, à alta demanda evapotranspirativa. Particularmente com relação ao Cenário Atual, podem-se notar diferenças mais marcantes no mês de outubro nos Cenários Futuros, explicadas pela redução de uso de cultivares de ciclo longo nestes cenários, cuja semeadura ocorre mais cedo do que as demais, ampliando e anecipando as demandas hídricas.

Comparando-se apenas os cenários futuros, pode-se observar que existem diferenças evidenciadas nos seis primeiros decêndios da safra. A partir deste período, as demandas tornam-se muito próximas, o que é explicado pelo predomínio da demanda evapotranspirativa (que é a mesma nos dois cenários), sendo as pequenas diferenças observadas, devidas ao fluxo lateral, que é menor no Cenário Otimista pela menor altura da lâmina superficial mantida (em decorrência da sistematização), condicionante de menor gradiente hidráulico nas lavouras. Nos primeiros decêndios, a demanda mais elevada no Cenário Futuro Tendencial em relação ao Otimista, explica-se pela maior demanda evapotranspirativa naquele cenário (pois nele existem cultivares de ciclo longo, que

são semeadas mais cedo, enquanto que no outro existem apenas cultivares de ciclo precoce), de formação da lâmina superficial (que começa mais cedo devido ao plantio antecipado das cultivares de ciclo longo), para saturação do perfil do solo e para suprir o fluxo lateral (pelos mesmos motivos). O pico que pode ser visualizado no mês de novembro, na curva de demanda do Cenário Futuro Otimista, ocorre devido à acumulação das demandas iniciais (saturação do solo e lâmina superficial) que acabam se concentrando em um mesmo intervalo de tempo devido ao plantio das cultivares precoces (neste cenário só foi considerada a existência de cultivares de ciclo curto).

Em suma, o comportamento da demanda hídrica durante a maior parte da safra do arroz, em todos os cenários, é muito semelhante, sendo que as principais diferenças ocorrem apenas no início da safra, em decorrência de épocas de plantio diferenciadas, condicionadas pelas diferentes proporções de cultivares presentes em cada cenário. Com relação aos aspectos quantitativos, as demandas por unidade de área (ie, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot safra^{-1}$), diminuem nos cenários futuros em comparação com o Atual em decorrência do aumento da eficiência do uso da água dada, especialmente, pela sistematização, enquanto que as demandas totais na Bacia aumentam do Atual para os cenários futuros, particularmente devido à expansão da área de arroz cultivada.

Balanços Hídricos: as Figuras 5 a 7 apresentam os balanços hídricos decendiais na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo nos três cenários estabelecidos durante os meses de irrigação de arroz. Verifica-se a ocorrência persistente de déficits hídricos em todos os cenários, estando estes concentrados, especialmente, nos meses de dezembro e janeiro, período em que coincidem a alta demanda e a baixa disponibilidade hídricas. Em outubro, a disponibilidade hídrica é suficiente para atender as demandas consuntivas e garantir a vazão mínima a ser mantida nos cursos de água em todos os cenários. Em novembro, no Cenário Atual, a disponibilidade hídrica atende à demanda, porém, sem garantir a integridade da vazão mínima a ser garantida. Nos cenários futuros, no segundo decêndio de novembro, o balanço hídrico é negativo, o que pode ser explicado pelo maior percentual de cultivares de arroz de ciclo precoce, cuja semeadura concentra-se no mesmo período, concentrando também as demandas iniciais de água para as lavouras (particularmente saturação do solo e lâmina superficial). Em geral, os déficits são menores nos cenários Atual e Futuro – Otimista.

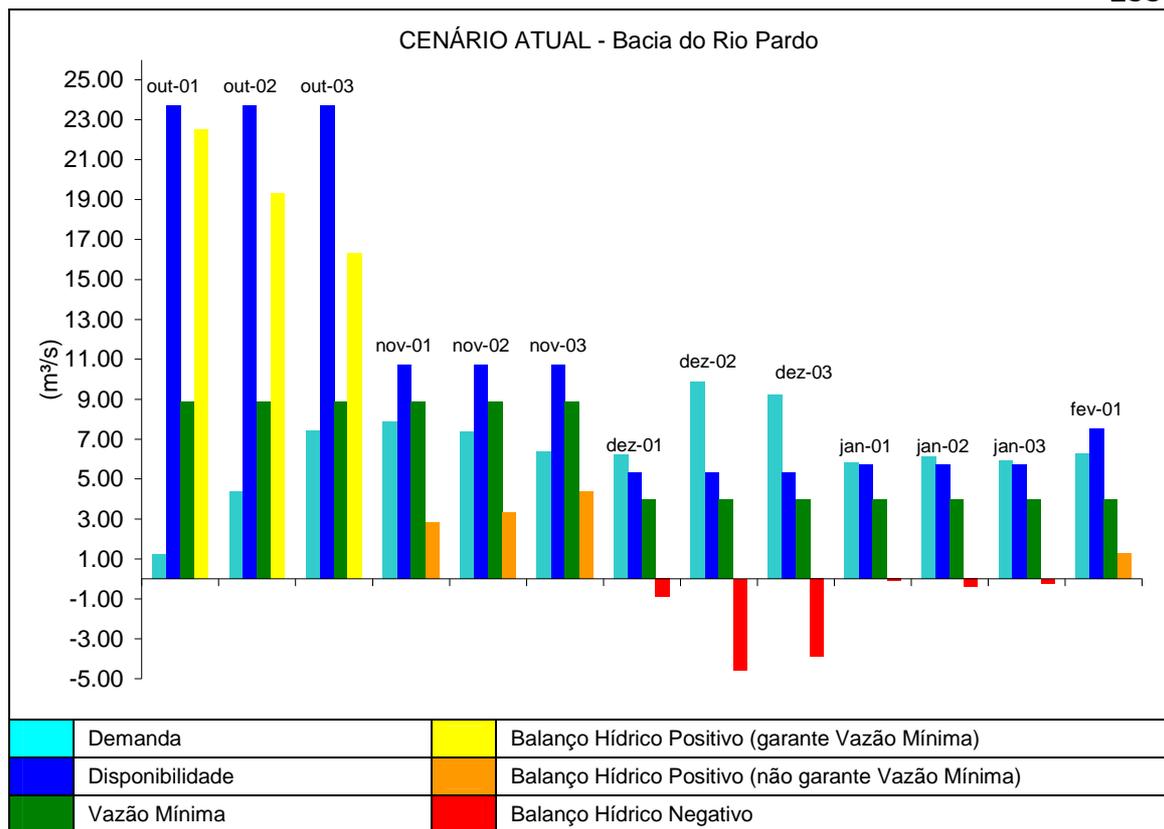


Figura 5. Balanço hídrico decenal na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo durante o período de irrigação de arroz – Cenário Atual

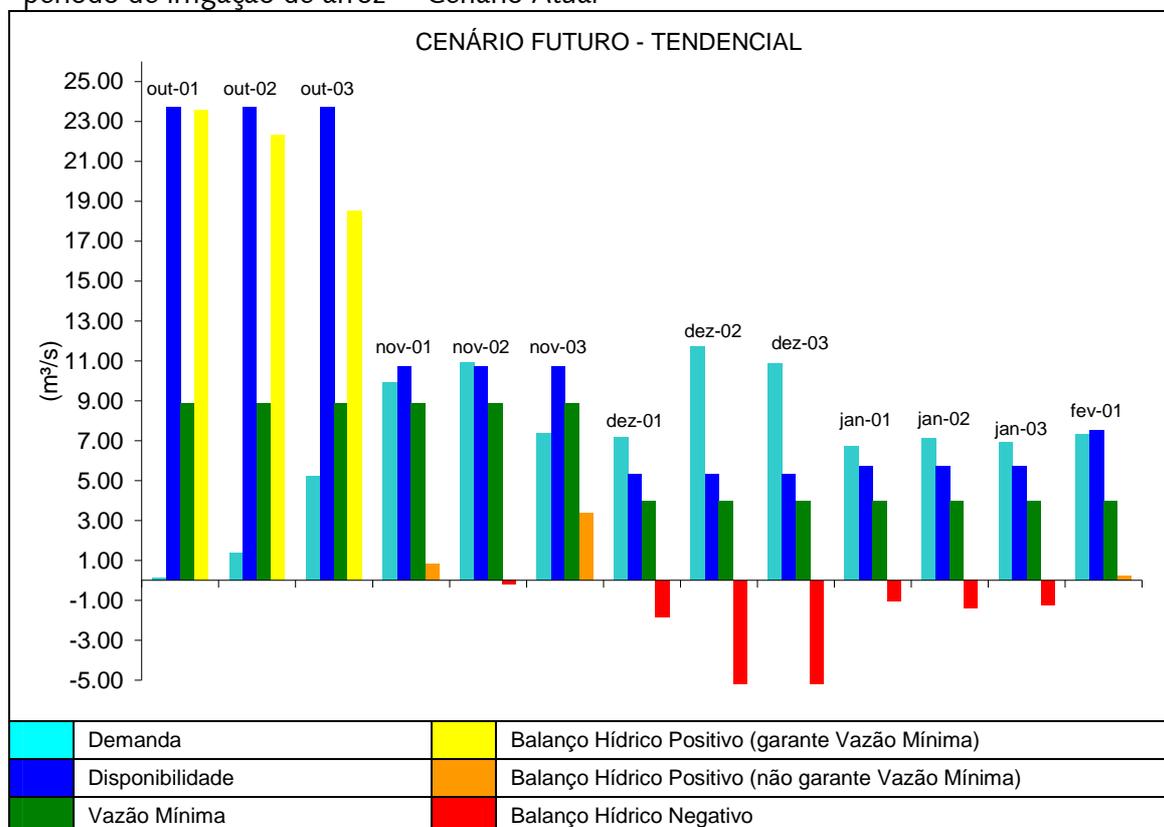


Figura 6. Balanço hídrico decenal na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo durante o período de irrigação de arroz – Cenário Futuro – Tendencial

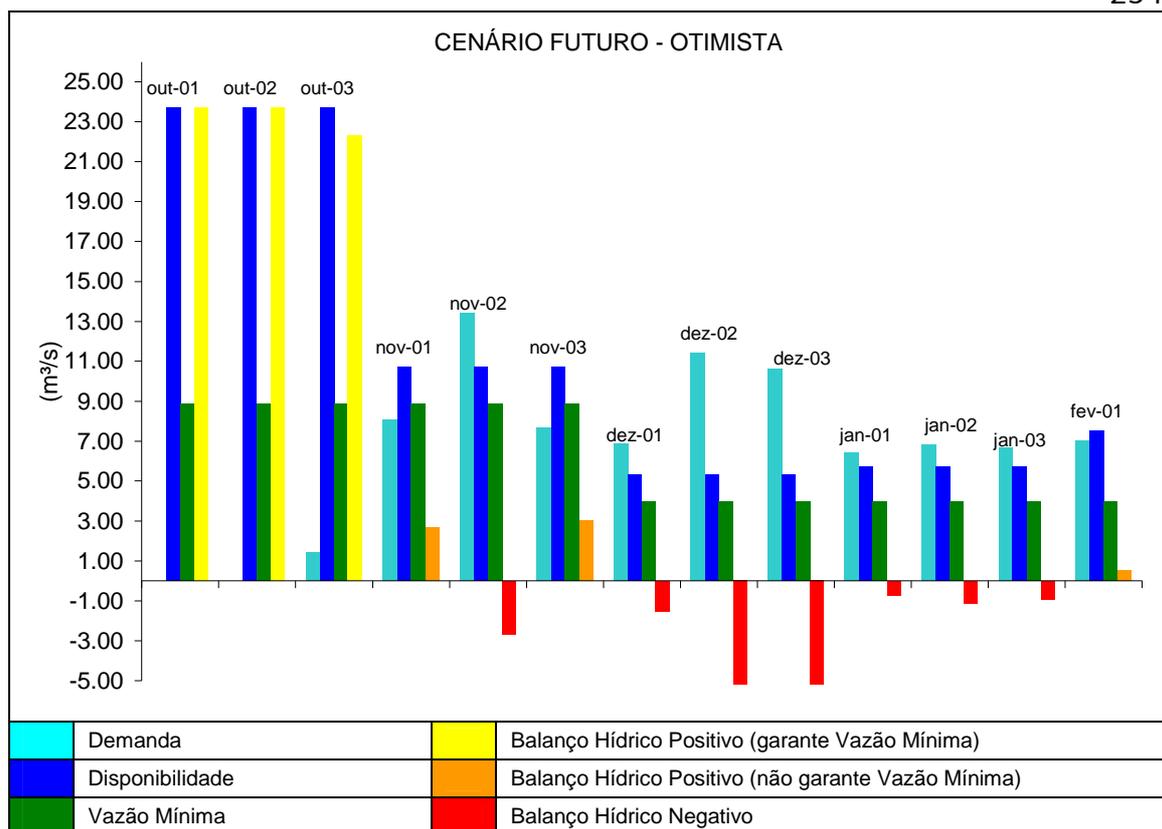


Figura 7. Balanço hídrico decendial na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo durante o período de irrigação de arroz – Cenário Futuro - Otimista

Na Tabela 11, a seguir, o seguinte julgamento foi realizado sobre cada Sub-Unidade de Estudo:

- a) Situação de *excesso hídrico*: quando a oferta hídrica atende a 100% dos usos consuntivos e a vazão remanescente é superior à mínima necessária a ser garantida nos cursos de água em todos os meses de safra;
- b) Situação de *déficit hídrico ambiental*: quando a oferta hídrica atende a 100% dos usos consuntivos, porém a vazão remanescente é inferior à mínima necessária para ser garantida em pelo menos um período dos meses de safra;
- c) Situação de *déficit hídrico operacional*: a oferta hídrica é suficiente para atender parte dos usos consuntivos e o déficit é de até 20% do total demandado em pelo menos um período dos meses de safra; e
- d) Situação de *déficit hídrico severo*: a oferta hídrica é suficiente para atender parte dos usos consuntivos e o déficit é superior a 20% do total demandado em pelo menos um período dentro dos meses de safra.

Tabela 11. Análise da situação hídrica quantitativa nas Sub-Unidades de Estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo nos cenários Atual e Futuros

Sub-Unidade ¹	Atual (2003/2004)	Futuro – Tendencial (2016/2017)	Futuro – Otimista (2016/2017)
SMPo-5	DH Severo	DH Severo	DH Severo
SMPo-6	DH Ambiental	DH Operacional	DH Operacional
SMPo-7	DH Operacional	DH Severo	DH Severo
BPb-2	DH Ambiental	DH Operacional	DH Operacional
BPb-4	DH Severo	DH Severo	DH Severo
BPI-3	DH Ambiental	DH Severo	DH Operacional
BPI-4	DH Severo	DH Severo	DH Severo
An-2	DH Severo	DH Severo	DH Severo
BPO-1	DH Severo	DH Severo	DH Severo
BPO-2	DH Severo	DH Severo	DH Severo
BPO-3	DH Severo	DH Severo	DH Severo
BPO-4	DH Severo	DH Severo	DH Severo

¹ Apenas as Sub-Unidades que apresentam pelos menos um dos déficits definidos foram mencionadas

A situação atual da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo indica que cerca de 20% da área total irrigada sofre com a escassez hídrica ao se considerar a disponibilidade com 90% de probabilidade de permanência. Nesta condição de oferta hídrica, dos aproximados 8.400 ha irrigados na safra 2003/2004, cerca de 1.600 ha são afetados pela falta de água em pelo menos um decêndio do período mais crítico para a cultura do arroz, concentrado nos meses de dezembro e janeiro. Num horizonte de 12 anos, seguindo a tendência de crescimento da área cultivada e de utilização dos sistemas de produção, o déficit passaria para uma situação mais severa, onde mais de 32% da área irrigada sofreria com a falta de água. Neste caso, esperar-se-ia que dos 10.090 ha irrigados, 3.200 ha sofreriam com o déficit. Numa perspectiva otimista, em que se pressupõe aumento de áreas sistematizadas e uso de cultivares de ciclo mais curto, o déficit no cenário futuro cairia para 2.900 ha, representando 29% do total.

Os maiores déficits, em todos os cenários, ocorrem nos meses de dezembro e janeiro, e, principalmente, nas Sub-Unidades SMPo-5, SMPo-7, An-2, BPO-1 e BPO-3 que detêm juntas mais da metade da área total cultivada da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Pode-se constatar que não ocorrem déficits hídricos nos meses de outubro. Os déficits de novembro e fevereiro ocorrem apenas nas Sub-Unidades An-2 e BPb-2. Na maior parte dos casos os déficits são severos, embora quantitativamente, em algumas situações, não sejam tão significantes (considerando toda a Bacia Hidrográfica) pois prejudicam poucos hectares cultivados.

Em geral, observa-se que os déficits nas Sub-Unidades da vertente do Rio Pardo se concentram em dezembro e as do Pardinho, em janeiro. A situação pode

ser atribuída à baixa disponibilidade hídrica destas duas vertentes nestes meses associada à alta demanda hídrica para a irrigação. A vazão específica com 90% de permanência do mês de dezembro, para a vertente do Pardo, é de $1,6 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Em janeiro, esta disponibilidade aumenta para $2,0 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Já no Pardinho, a vazão específica com 90% de permanência de dezembro é de $1,2 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ e a de janeiro, de apenas $0,58 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Assim, as vazões mínimas são, em geral, menores na vertente do Pardinho, especialmente em janeiro, explicando, em parte, as diferenças nos balanços hídricos.

A Figura 8 apresenta, dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, as regiões mais prejudicadas pelos déficits hídricos em todos os cenários e projeções, no tocante à orizicultura irrigada.

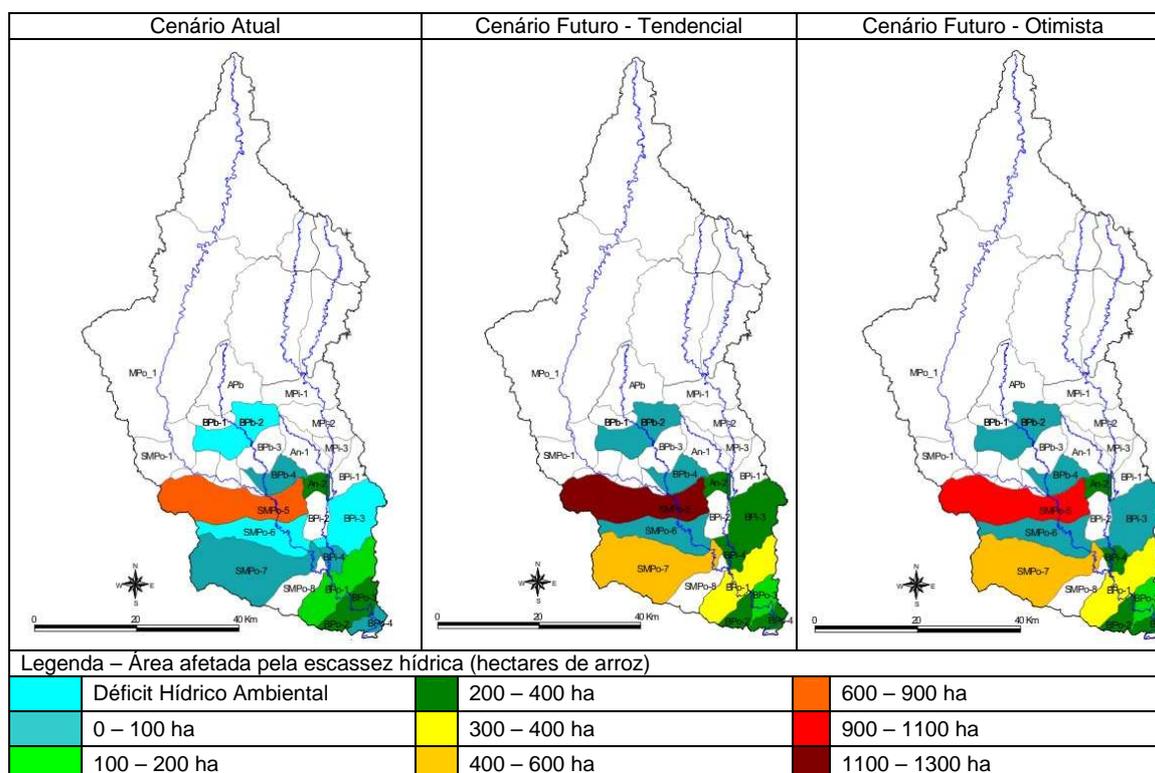


Figura 8. Hectares cultivados com arroz irrigado afetados por déficit hídrico na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – Cenários Atual (2003/2004) e Futuros (2016/2017)

No Cenário Atual, déficits amenos ocorrem nas seguintes Sub-Unidades: BPb-2, BPb-4, BPI-3, BPI-4, SMPo-6, SMPo-7, BPO-4 e BPO-1, com deficiências hídricas para até 200 hectares cultivados, sendo estas Sub-Unidades, as menos afetadas pelos déficits. Neste cenário, situação intermediária, com déficits ocorrendo de 200 a 600 hectares, pode ser atribuída às Sub-Unidades BPO-2, BPO-3 e An-2. Situação mais crítica ocorre na Sub-Unidade SMPo-5, com 600 a 900 hectares afetados pelo déficit hídrico em pelo menos um dos decêndios da safra de

arroz. No Cenário Futuro - Tendencial, déficits amenos (até 200 hectares afetados) ocorrem nas Sub-Unidades BPb-2, BPb-4, SMPo-6 e BPo-3. No Otimista, estes ocorrem nas Sub-Unidades BPb-2, BPb-4, SMPo-6, BPi-3 e BPo-3. Em situação intermediária, com 200 a 600 ha afetados, no Cenário Tendencial, estão as Sub-Unidades An-2, BPi-3, BPi-4, BPo-1, BPo-2, BPo-4 e SMPo-7; no Otimista, as Sub-Unidades An-2, BPi-4, BPo-2, BPo-4, BPo-1 e SMPo-7. Em situação crítica, está a Sub-Unidade SMPo-5, com 900 a 1100 hectares afetados anualmente pelos déficits hídricos no Cenário Futuro Otimista, e 1100 a 1300 hectares no Futuro Tendencial.

CONCLUSÕES

O trabalho apresentado considerou dois cenários futuros (Tendencial e Otimista) relacionados com os padrões de uso e manejo das lavouras orizícolas, que condicionam diferentes demandas hídricas na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. O Cenário Futuro - Tendencial mantém os padrões históricos de uso e manejo das lavouras verificados atualmente. O Cenário Otimista, diferentemente, incorpora melhorias nas práticas agrícolas, mediante aumento do nível tecnológico empregado, que resultam em menor demanda específica de água para as lavouras. Os resultados, em síntese, indicaram uma tendência de melhoria na eficiência de uso da água na orizicultura na Bacia do Rio Pardo, com aumento de área cultivada e diminuição de demanda hídrica por unidade de área produtiva.

Tomando como disponibilidades hídricas as vazões com 90% de probabilidade de excedência e a água armazenada (açudagem) e comparando-as com as demandas hídricas, os resultados dos balanços hídricos permitiram realizar as seguintes observações:

- A situação atual da Bacia Hidrográfica é crítica, com déficits hídricos constatados nos meses de verão na porção médio-baixa, onde se concentra a atividade orizícola e outras ações humanas, como o abastecimento humano, a indústria e a criação de animais;

- Os cenários futuros, embora com demandas específicas para irrigação de arroz menores do que as demandas específicas atuais, apresentam déficits hídricos totais superiores. Este fato indica que, nesta situação de disponibilidade hídrica (Q90% + açudagem), a diminuição das demandas específicas não é suficiente para confortar as situações hídricas futuras, sendo a área total irrigada a principal condicionante dos déficits hídricos (o aumento da área cultivada é mais significativo do que a diminuição das demandas específicas);

- Dentro da mesma projeção futura, no entanto, verifica-se claramente que os déficits absolutos diminuem do cenário Tendencial para o Otimista, o que demonstra os benefícios da diminuição das demandas específicas na Bacia Hidrográfica, comprovando que melhorias nos sistemas de produção podem promover reduções nas demandas hídricas, e conseqüentemente, dos déficits hídricos;

- Em termos quantitativos, os piores déficits, atualmente, são encontrados nas Sub-Unidades da vertente do Pardo, mais especificamente nas Sub-Unidades SMPo-5 (localizada a montante da afluência do Rio Pardinho), BPo-1, BPo-2 e BPo-3 (localizadas a jusante da afluência do Rio Pardinho). Na Sub-Bacia do Pardinho, a pior situação é do Arroio Andréas (An-2), onde os déficits constatados ocorrem com frequência maior do que em qualquer outra Sub-Unidade da Bacia estudada; no entanto, este é um caso localizado pois não possui influência de áreas à montante, podendo ter seu problema resolvido pontualmente, através de

racionalização de uso (com melhorias nos sistemas de produção) ou de reservação (através de obras estruturais de barramento);

- Analisando os cenários futuros e comparando-os com o Atual, o aumento da área cultivada na Bacia ocorre a taxas mais elevadas do que o aumento dos déficits hídricos. As taxas de aumento dos déficits hídricos são bem menores no Cenário Otimista com relação ao Tendencial;

- Estabelecendo o abastecimento humano, a dessedentação animal e a indústria como usuários prioritários diante da irrigação, a disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo supriria todas as demandas daqueles segmentos, garantindo, ainda, a vazão mínima necessária para a manutenção dos ambientes aquáticos. Isso mostra que, nas Sub-Unidades em que existe irrigação de arroz e em que se constata déficits hídricos, as deficiências podem ser atribuídas à orizicultura.

Com isso, pode-se concluir que:

- Não é possível manter o ritmo de crescimento histórico da lavoura orizícola da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo sem que hajam acréscimos significativos nas demandas hídricas, mesmo com as mudanças previstas nos padrões de uso e manejo do solo das lavouras;

- É possível diminuir a demanda específica das lavouras de arroz irrigado e a principal estratégia para isto é a sistematização das lavouras, que permite que uma lâmina de irrigação mais baixa seja mantida e condiciona menores demandas para suprimento das perdas de água por fluxo lateral;

- A utilização de cultivares de arroz de ciclo precoce em detrimento de cultivares de ciclo longo reduz a demanda hídrica total na safra, mas não modifica as demandas de dezembro e janeiro, período mais crítico em termos de disponibilidade hídrica;

- A racionalização do uso da água nas Sub-Unidades de montante da Bacia, acompanhada da limitação do aumento da área plantada, particularmente nas Unidades BPb, SMPo, BPi e An, garantiria aumento de vazões para as Sub-Unidades do Baixo Pardo (BPo), e amenizaria os problemas de deficiência hídrica;

- Para as Sub-Unidades mais críticas, a implantação de medidas de cunho estrutural, como a reservação de água, é a medida mais apropriada, visto que a racionalização do uso, através de melhorias na eficiência de uso da água, por si só não é suficiente para diminuir os problemas de falta de água na Bacia.

Spatial and temporal analysis of water requirements and availabilities in pardo river basin (Brazil) in future scenarios in view of predicted changes in rice crop production systems

ABSTRACT

The objective of this paper was to analyze the quantitative situation of water resources across the Pardo River Basin (Brazil) in future scenarios through a comparison between spatial and temporal water requirements and availabilities. Different future scenarios were established based on predicted changes in rice cultivation systems in that area. Water balances indicated greater water deficits in future scenarios compared with the current situation, even if strategies for reducing water use are applied. The results also showed that the expansion of rice plantation will be the main driving force behind water deficits in the future, and the increase of water supply through structural systems (such as reservoirs) will be crucial for the sustainability of water resources in the region if the ongoing tendency of rice production is maintained.

Keywords: Pardo River, rice, water balance

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. F. R & RABUSKI, G. Tendências nos Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado nos Municípios que Compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Rio Pardo: Núcleo de Assistência Técnica do Instituto Rio-Grandense do Arroz, 16 de maio de 2005. (Informação Pessoal).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14144: Elaboração de Projetos de Drenagem Subterrânea para Fins Agrícolas. Disponível em < <http://www.manualdepericias.com.br/abnt/todasabnt18.asp> > Acesso em: 09/11/2005.

BELTRAME, L. S. & LOUZADA, J. A Water Use Rationalization in Rice Irrigation by Flooding. In: International Seminar on Efficient Water Use, 1991, Cidade do México. Anais... Cidade do México, 1991. p. 337 – 345.

CAUDURO, F. A. Apontamentos de Irrigação. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1996. 186 p.

CLEARFIELD Mostra Resultados da Primeira Safra. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 52, n. 436, p. 20 – 21, jul-set. 2004.

CORRÊA, N. I. et al. Consumo de Água na Irrigação do Arroz por Inundação. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 50, n. 432, p.3-8, jul.-ago., 1997.

DEWES, Rogério. Planos de Bacias Hidrográficas no Rio Grande do Sul. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <Fernanda Helfer> em: 18 fev. 2005.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Las Necesidades de Água de los Cultivos. Roma: FAO, 1976, 194 p.

ECOPLAN. Avaliação Quali-Quantitativa das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo/Pardinho - Volume I - Cenário Atual - Textos. Porto Alegre: CRH/RS – SOPSH, 1997, 428 p. (Relatório Técnico Final)

ECOPLAN. Consolidação do Conhecimento sobre os Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo (Etapas A e B) e Elaboração do Programa de Ações da Sub-Bacia do Rio Pardinho (Etapa C). Porto Alegre: DRH/SEMA, 2004, 536 p. (Proposta Técnica).

ECOPLAN. Consolidação do Conhecimento sobre os Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo (Etapas A e B) e Elaboração do Programa de Ações da Sub-Bacia do Rio Pardinho (Etapa C). Porto Alegre: DRH/SEMA, 2005(a), 244 p. (Relatório Final da Etapa A - RE-A).

ECOPLAN. Consolidação do Conhecimento sobre os Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo (Etapas A e B) e Elaboração do Programa de Ações da Sub-Bacia do Rio Pardinho (Etapa C). Porto Alegre: DRH/SEMA, 2005(b), 226 p. (Relatório Final da Etapa B - RE-B).

FIETZ, C. R.; CAUDURO, F. A.; BELTRAME, L. 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. v.1. p. 155 – 167.

FIETZ, C. R. Demanda Hídrica em Lavoura de Arroz Irrigado (Oryza sativa L.) em Planossolo. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1987, 210 p. Dissertação (Mestrado).

HELPER, F. Demandas e Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (RS) nos Cenários Atual e Futuro para Diferentes Sistemas de Produção de Arroz Irrigado. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2006, 236 p. Tese (Mestrado).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Spring Versão 4.2: Integrating Remote Sensing and GIS by Object Oriented Data Modelling. INPE, 1996. Software.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Departamento de Processamento de Imagens. Manual de operação do SPRING: versão 4.2. São Jose dos Campos, SP, 2005.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Caracterização da Lavoura de Arroz Irrigado – Censo 1999/2000. Disponível em < http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=pub_censo > Acesso em: 12/03/2005.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Porto Alegre: IRGA, 2001, 128 p.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Dados de Safra – 2003/2004. Disponível: < <http://www.irga.rs.gov.br/> > Acesso em 05/03/2005.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Dados de Safra – 2004/2005. Disponível: < http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra > Acesso em 15/10/2005.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Programa Arroz RS. Cachoeirinha: IRGA. 2004(a). Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=arrozrs> > Acesso em: 15/10/2005.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Projeto 10: Estratégias de Manejo para o Aumento de Produtividade, Competitividade e Sustentabilidade da Lavoura de Arroz do RS. Cachoeirinha: IRGA. 2004(b). 32 p.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IRGA,. 2006. 122 p.

LOUZADA, J. A. Simulação da Irrigação por Inundação e da Drenagem nos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2004, 190 p. Tese (Doutorado).

MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Consumo de Água e Perdas de Nutrientes e de Sedimentos na Água de Drenagem Inicial do Arroz Irrigado. Ciência Rural, Santa Maria, fev 2006, v. 36, n. 1, p. 65-71.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Consumo de Água em Três Sistemas de Cultivo de Arroz (*Oriza sativa* L.). In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 21, 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABID, 2001. p. 59 – 63.

MULLER, J.; DEWES, R. Outorga e Licenciamento. In: Painel: Aspectos Jurídicos do Uso da Água na Agricultura. Porto Alegre, 03 jul. 2005. Palestra proferida no Debate Sobre Uso da Água na Agricultura – FARSUL.

PROJETO CLEARFIELD – Um Sistema de Produção. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 52, n. 435, p. 13, março de 2004.

SILVA, P. R. F. Tendências nos Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), 24 de novembro de 2006. (Informação Pessoal).

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí: IRGA, 2003, 126 p.

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2005, 159 p.

WEBER, L. Consumo e Qualidade da Água e Cultivares de Arroz Irrigado em Diferentes Sistemas de Cultivo. Santa Maria: UFSM, 2000, 52 p. Dissertação (Mestrado).