

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAPHAEL SANTOS CAMBOIM

**RELAÇÕES HÍDRICAS E PERÍODOS CRÍTICOS PARA PRODUÇÃO E
MANUTENÇÃO DA CULTURA DA GRAMA BATATAIS (*Paspalum notatum*) EM
CURITIBA-PR**

CURITIBA

2014

RAPHAEL SANTOS CAMBOIM

**RELAÇÕES HÍDRICAS E PERÍODOS CRÍTICOS PARA PRODUÇÃO E
MANUTENÇÃO DA CULTURA DA GRAMA BATATAIS (*Paspalum notatum*) EM
CURITIBA-PR**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo no curso de graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-orientadora: M.Sci. Daniela Jerszurki

CURITIBA

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

RAPHAEL SANTOS CAMBOIM

RELAÇÕES HÍDRICAS E PERÍODOS CRÍTICOS PARA PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO DA CULTURA DA GRAMA BATATAIS (*Paspalum notatum*) EM CURITIBA-PR

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo no curso de graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza
Orientador – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR.
Universidade Federal, UFPR.

M.Sci. Daniela Jerszurki
Co-orientadora – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR.
Universidade Federal, UFPR.

M.Sci. Bruno César Gurski
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR.
Universidade Federal, UFPR.

Curitiba, 16 de julho de 2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais Edison Santos Camboim e Jussara Aparecida dos Santos, que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos, para que eu conseguisse alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus, por ter me concedido disposição e saúde para concluir mais esta etapa da minha vida.
- À minha família: aos meus pais Edison Santos Camboim e Jussara Aparecida dos Santos, pelo esforço que fizeram para me proporcionar uma educação de qualidade; à minha irmã Amanda Santos Camboim, que sempre me ajudou; à minha namorada Stephany Rodrigues de Lima, que sempre esteve presente me apoiando; aos meus avós e tios pelo apoio e incentivo, por ajudarem em todos os momentos de estudo.
- À Universidade Federal do Paraná, pelo conhecimento adquirido e toda estrutura oferecida.
- Aos professores do Curso de Agronomia da UFPR, por todos os ensinamentos passados.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, e co-orientadora Eng. Agrônoma Daniela Jerszurki, por terem aceitado a tarefa de me orientarem neste trabalho de conclusão de curso, e também pela amizade, ensinamentos, sugestões e críticas ao bom andamento das atividades, minha formação e vida pessoal.
- E por último, mas não menos importante, agradeço a todos meus amigos, que sempre estão presentes na minha vida e que de forma direta ou indireta me ajudaram a completar esta etapa da minha vida. Obrigado a todos, esta conquista também é de vocês.

RELAÇÕES HÍDRICAS E PERÍODOS CRÍTICOS PARA PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO DA CULTURA DA GRAMA BATATAIS (*Paspalum notatum*) EM CURITIBA-PR

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho calcular as componentes do balanço hídrico agrícola (evapotranspiração da cultura, armazenamento da água no solo, evapotranspiração real, deficiência hídrica, excedente hídrico e irrigação) para a cultura da grama-batatais (*Paspalum notatum*), no município de Curitiba-PR, bem como verificar a ocorrência de períodos críticos de deficiência e excedente hídricos para a cultura. O cálculo das componentes foi realizado com um programa de balanço hídrico agrícola (BHA) sequencial diário, desenvolvido especialmente para essa finalidade. Os dados climáticos diários necessários foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), coletados no período entre 01/01/1998 e 31/12/2010. Os BHA's foram calculados considerando capacidades de água disponível no solo (CAD) de 50, 75 e 100 mm. Os valores de coeficiente de cultivo (kc) e fração p foram estimados diariamente. Após a estimativa dos BHA's diários, para facilitar a visualização dos resultados obtidos ao longo dos 13 anos analisados, suas componentes foram agrupadas em períodos decendiais, que serviram para a compilação de gráficos, distribuição de frequência em cores e obtenção de probabilidades de ocorrência. Nas análises realizadas, observou-se ao longo dos anos um padrão visual similar para as componentes evapotranspiração de referência, evapotranspiração da cultura e evapotranspiração real. Os maiores valores foram encontrados nos períodos com os maiores valores de temperatura, e os menores valores ocorreram no período em que os valores de temperatura foram menores ao longo do ano. As componentes de armazenamento da água no solo, deficiência hídrica e irrigação apresentaram um padrão visual irregular ao longo dos anos. A deficiência hídrica no período analisado apresentou valores baixos e conseqüentemente a simulação da irrigação feita demonstrou que a região necessita da aplicação de pequenas quantidades de lamina d'água em períodos indefinidos.

Palavras-chave: Balanço hídrico agrícola, relações hídricas, irrigação.

WATER RELATIONS AND CRITICAL PERIODS FOR PRODUCTION AND MAINTENANCE OF CULTURE BAHIAGRASS (*Paspalum notatum*) IN CURITIBA-PR

ABSTRACT

The objective in this study was to calculate the components of the agricultural water balance (crop evapotranspiration, soil water storage, water deficit, surplus water and irrigation) for the bahiagrass (*Paspalum notatum*), in the municipality of Curitiba, and to verify the occurrence of critical periods of deficiency and excess water for the crop. The calculation of these components was performed with daily sequential program of agricultural water balance (AWB), developed especially for this purpose. The daily climatic data required were provided by the Meteorological System of Paraná (SIMEPAR), collected between 01/01/1998 and 31/12/2010. The AWB's were calculated capacities of available soil water (ASW) 50, 75 and 100 mm. The values of crop coefficient (k_c) and fraction of available soil water (p) were estimated daily. After estimated the AWB's diaries, for to facilitate visualization of the results obtained over the 13 years analyzed, its components were grouped in decennial periods, which served to build graphs, frequency distribution by color and obtaining probabilities of occurrence. In the analyzes, it was observed over the years similar to the components reference evapotranspiration, crop evapotranspiration and actual evapotranspiration pattern. The highest values were found in periods with higher temperature values, and the lowest values occurred in the period in with the temperature values were lower throughout the year. The components of water storage in soil and irrigation water deficiency showed an irregular visual pattern over the years. Water deficit during the period analyzed showed low values and hence the irrigation simulation taken showed that the region needs the application of small amounts of water on blade indefinite periods.

Keyword: Agricultural water balance, water relations, irrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Precipitação média mensal normal (P_{normal}) e precipitação média mensal (P) e evapotranspiração de referência média mensal (ET_o), obtidas com as séries de dados da estação meteorológica da Curitiba, entre 01/01/1998 à 31/12/2010.....16
- Figura 2 – Distribuição de frequência em cor da ET_o (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR: (a) ET_o para o período diário (mm dia⁻¹); e, (b) ET_o para período decêndial (mm decêndio⁻¹).....17
- Figura 3 – Distribuição de frequência em cor da P (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR: (a) P para o período diário (mm dia⁻¹); e, (b) P para período decêndial (mm decêndio⁻¹).....18
- Figura 4 – Valores de k_c calculado conforme recomendação de ALLEN et al., (1998), utilizando dados climáticos da região de Curitiba, entre 01/01/1998 a 31/12/2010, e k_c encontrado por JIA et al. (2009) na Flórida.....19
- Figura 5 – Distribuição de frequência em cor da ET_o (mm período⁻¹), A_L (mm) e ER (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 50 mm do balanço hídrico.....21
- Figura 6 – Distribuição de frequência em cor da ET_c (mm período⁻¹), A_L (mm) e ER (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 75 mm do balanço hídrico.....22
- Figura 7 – Distribuição de frequência em cor da ET_c (mm período⁻¹), A_L (mm) e ER (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 100 mm do balanço hídrico.....23
- Figura 8 – Distribuição de frequência em cor da irrigação diária (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 50, 75 e 100 mm do balanço hídrico.....26
- Figura 9 – Distribuição de frequência em cor da irrigação decêndial (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 100 mm do balanço hídrico.....27

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA GRAMA-BATATAIS (<i>Paspalum notatum</i>)	3
2.2 CULTIVO DE GRAMA.....	4
2.3 RELAÇÃO ÁGUA SOLO PLANTA PARA GRAMAS.....	5
2.4 BALANÇO HÍDRICO.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	12
3.2 BALANÇO HÍDRICO AGRÍCOLA (BHA).....	12
3.2.1 Método de Penman-Monteith.....	13
3.2.2 Evapotranspiração da cultura (<i>ETc</i>) e coeficiente de cultura (<i>kc</i>).....	13
3.2.3 Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>), água disponível no solo (<i>AD</i>) e fração de água disponível no solo (<i>p</i>).....	14
3.2.4 Armazenamento de água no solo (<i>A_L</i>)	14
3.2.5 Organização e análise dos dados.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSÕES	16
4.1 PRECIPITAÇÃO (<i>P</i>) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (<i>ET_o</i>)....	16
4.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (<i>ETc</i>).....	19
4.2.1 Utilização do <i>kc</i> e <i>kc(DAP)</i>	19
4.2.2 Estimativa da evapotranspiração da cultura (<i>ETc</i>) nas análises.....	20
4.3 ARMAZENAMENTO DA ÁGUA NO SOLO (<i>A_L</i>).....	20
4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (<i>ER</i>).....	20
4.5 DEFICIÊNCIA HÍDRICA (<i>Def</i>).....	24
4.6 SIMULAÇÃO DE IRRIGAÇÃO.....	24
5 CONSIDERAÇÕES PESSOAIS	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE 1	34

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a manutenção da vida na Terra, é um recurso que apresenta pequena e finita parcela disponível para a população mundial, além de ser um bem público dotado de valor econômico. Com o crescimento da população mundial a demanda por água está aumentando, pois a maioria das atividades exercidas pelo homem depende da água, de forma direta ou indireta. Uma das principais atividades econômicas executadas pelo homem é a agricultura, a qual é responsável por consumir a maior parte da água. Cerca de 63% do volume total de água consumida no Brasil é utilizada pela agricultura irrigada. Os usos domésticos urbanos e rurais totalizam 18%, o uso industrial é de aproximadamente 14% e a dessedentação de animais corresponde a 5% (SILVA et al., 2011; FERNANDES et al., 2013).

A agricultura utiliza a maior parte da água, mas a eficiência de uso pelas plantas é baixa. Como o cultivo de culturas agrícolas está associada à sobrevivência de populações, a busca por conhecimentos científicos sobre o ciclo hidrológico visando otimizar o uso da água na agricultura tornou-se uma necessidade vital (GURSKI, 2014). O ciclo hidrológico é largamente estudado por meio do balanço hídrico agrícola, que contabiliza todas as entradas e saídas de água em um volume de solo vegetado, em determinado tempo específico. As entradas e saídas devem ser nulas, pois o balanço hídrico segue o princípio de conservação de massas (PEREIRA et al., 1997; REICHARDT & TIMM, 2004).

O balanço hídrico teve seu processo de elaboração facilitado com o avanço da tecnologia, com o desenvolvimento da informática e a evolução nas técnicas de programação. A criação de modelos matemáticos específicos para ao balanço hídrico agrícola iniciaram a partir de modelos como o descrito por Thornthwaite e Mather (1955), que serviram de base para vários autores.

Souza (2008) desenvolveu um modelo denominado “MORETTI – Módulo: Balanço hídrico sequencial (Periodicidade: 1, 5, 7, 10 15 e 30 dias), Versão 1.0”, que foi utilizado, testado e melhorado em inúmeras pesquisas (SOUZA & FRIZZONE, 2003; SOUZA & FRIZZONE, 2007; SOUZA & GOMES, 2007; SOUZA & GOMES, 2008; ARAUJO et al., 2009; ADAMUCHIO, 2011; SCHERAIBER, 2012; GERSTEMBERGER, 2012; JERSZURKI, 2013; GURSKI, 2014). O programa permite estimar valores de armazenamento de água no solo (A_L), deficiência hídrica (Def), evapotranspiração real (ER), excedente hídrico (Exc) e irrigação (I), a partir de poucas variáveis de entrada

(precipitação e evapotranspiração de referência) e poucos parâmetros (capacidade de água disponível, coeficiente de cultivo, e fração de água disponível no solo (p)).

O cultivo da grama-batatais (*Paspalum notatum*) tem grande importância em Curitiba, Estado do Paraná. A cidade possui uma das maiores áreas verdes do país, composta de parques, praças, jardins e áreas gramadas ao redor de ruas e avenidas, além de um setor de construção civil aquecido, sendo grande consumidor de grama.

Para suprir a demanda por gramas, para diferentes finalidades, estima-se que existam atualmente, aproximadamente, 800 ha destinados a produção de gramas na região metropolitana de Curitiba. A produtividade fica em torno de 1 a 1,3 corte final do tapete para venda ao ano, alterando-se conforme a espécie, sendo a maioria de clima quente com plantio em setembro, quando ocorre o aumento da temperatura. A cadeia produtiva da grama é composta principalmente de gramicultores, localizados na região metropolitana, floriculturas, empresas de paisagismos e manutenção.¹

O cenário atual da cidade demonstra a necessidade de fomentar e desenvolver técnicas que possam ser aplicadas na gramicultura da região metropolitana de Curitiba. Neste contexto, o presente trabalho pode auxiliar projetistas de paisagismo e empresas, pois a grama-batatais está presente em grandes áreas na cidade de Curitiba, e seu plano de manutenção pode ser auxiliado com o balanço hídrico agrícola estimado para a cultura. Também pode auxiliar no cálculo de lâminas de irrigação para a produção, visto que grande parte dos gramicultores não possui sistema de irrigação, fazendo o uso da irrigação somente em períodos de seca prolongada, por meio de canhões auto-propelidos, sem nenhum cálculo prévio.¹

Diante do exposto, teve-se por objetivo no presente trabalho calcular as componentes do balanço hídrico agrícola (evapotranspiração da cultura, armazenamento da água no solo, evapotranspiração real, deficiência hídrica, excedente hídrico e irrigação) para a cultura da grama-batatais (*Paspalum notatum*), no município de Curitiba, bem como verificar a ocorrência de períodos críticos de deficiência e excedente hídrico para a cultura.

¹ Informação levantada pessoalmente em entrevistas realizadas com gramicultores da Região Metropolitana de Curitiba.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA GRAMA-BATATAIS (*Paspalum notatum*)

A grama-batatais (*Paspalum notatum*), pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Paniceae e grupo Notata. O seu nome comum pode variar em relação com a sua localidade. No Brasil, os nomes comuns mais utilizados são: grama batatais, grama-da-bahia, grama-forquilha, grama-forquilha, grama mato-grosso (LORENZI, 2008). Na Austrália e Estados Unidos o nome mais utilizado é *brahiagrass* (FONSECA & MARTUSCELLO, 2011).

Os vegetais *Paspalum notatum* são gramíneas perenes, possuindo rizomas com aproximadamente 5 mm de diâmetro, assemelhando-se a estolões, com entrenós curtos que permitem brotações, sendo suas raízes profundas e fibrosas nos nós (FONSECA & MARTUSCELLO, 2011). As folhas alcançam o comprimento médio de 0,1 a 0,2 m, podendo atingir até 0,5 m. O colmo é comprido e achatado. As folhas apresentam bainha glabra, a lígula com um anel de pelos curtos e hialinos. A lâmina é lanceolada, de ápice acuminado, glabra, de coloração verde-viva na face superior e menos intensa na face inferior (MAEDA & PEREIRA, 1997).

A grama-batatais é cultivada predominante na região centro-sul do Brasil, constituindo-se em uma gramínea rústica, com folhas concentradas na parte basal, que cobre facilmente o terreno. É uma espécie que se adapta a solos de baixa fertilidade, possui resistência ao déficit hídrico e pisoteio. Exige cortes frequentes para a manutenção da qualidade do gramado, devido ao seu rápido crescimento. As características de crescimento possibilitaram a sua adoção como cobertura vegetal padrão nos postos agrometeorológicos (SILVA, 2004). É muito utilizada para a formação de gramados em parques e áreas industriais, devido a sua rusticidade, mas também pode ser usada como pastagem e combate a erosão, devido à boa cobertura que proporcionam e modo em que as raízes interagem com o solo. Ela também é empregada em terrenos acidentados, como encostas, taludes e ao longo de canais e rodovias (MAEDA & PEREIRA, 1997).

O Brasil ainda possui a maioria de seus gramados nas áreas urbanas, constituído pela grama-batatais (*Paspalum notatum*), sendo utilizada em muitos locais com diferentes propósitos, como áreas residenciais, industriais, urbanas ou em rodovias. A grama-batatais é uma planta de mecanismo fotossintético C₄, que necessita de boa luminosidade e altas temperaturas para atingir seu desenvolvimento pleno. Por isso, em épocas que o clima é mais ameno tem-se aumento na competição com plantas invasoras, como por exemplo: carrapicho-beiço-de-boi (*Desmodium incanum*) e zórnica (*Zornia latifolia*) (FREITAS et al., 2003).

Independente para qual uso for à escolha da espécie a ser utilizada na formação de um gramado deve ter alguns critérios muito bem analisados, tais como, persistência, velocidade de estabelecimento, resistência, além da qualidade estética. Um rápido estabelecimento é desejável para a estabilização do solo, diminuindo consideravelmente os cuidados pós-plantio (TURGEON, 1980). Na escolha da espécie a ser utilizada, também é importante analisar a disponibilidade hídrica do local de implantação da gramínea.

2.2 CULTIVO DE GRAMA

À escassez de dados oficiais não permite estabelecer com precisão os valores envolvidos na cadeia produtiva da grama no Brasil. Estima-se que o Brasil possui 16790 ha de grama plantada destinada a comercialização. Do total de área cultivada, cerca de 74% é de grama esmeralda, 24% de grama São-Carlos, 1,2% de grama bermudas e 0,8% de outros cultivares. A grama esmeralda vem ganhando espaço, assim como já foi à grama-batatais até meados dos anos 90. Quanto à localização da produção de grama no Brasil, o Estado de São Paulo é responsável por 43% da produção nacional, seguido pelos Estados do Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso e Rio Grande do Sul (ZANONI & PIRES, 2010).

A grama cultivada é vendida geralmente por canais de comercialização, como por exemplos: revendas, viveiros e floriculturas. Mas também existem produtores que fazem comercialização direta com os grandes consumidores, como construtoras, paisagistas e rodovias (ZANONI & PIRES 2010).

O setor tem evoluído nos últimos anos, principalmente na produção para finalidade esportiva, que possui alta exigência não só na qualidade do produto, mas

também no plantio e manutenção. Devido à exigência atual do mercado, existem várias formas de comercialização da grama, como por exemplos: tapetes de grama, rolos de gramas, maxi-rolos indicados para grandes áreas a serem plantadas, hidro-semeadura e *springs* (ZANONI & PIRES 2010). Mas ainda não existe uma normatização específica na legislação brasileira para a comercialização da grama

2.3 RELAÇÕES ÁGUA-SOLO-PLANTA PARA GRAMAS

A água é essencial no metabolismo das plantas, estando presente desde a sua composição (80 a 90% da planta), até na formação de algumas ligações químicas. A água na planta tem a função de transportador e refrigeração. Grande parte da água é absorvida do solo é transportada pelo xilema junto com nutrientes oriundos do solo. Parte da água absorvida pelas raízes é utilizada na transpiração, que ocorre geralmente nas folhas, arrefecendo e evitando a morte da planta pelo excesso de temperatura, devido à grande exposição à irradiação solar (CORREIA, 1983).

Apesar de serem muito eficientes, as raízes das forrageiras não tem capacidade de absorver toda água presente no solo. Assim, se o solo apresentar teor de água muito baixo, menos de 20%, as plantas não conseguem absorver a água do solo. A água absorvida pela planta também pode ter origem de reações bioquímicas, mas esse percentual é muito baixo. Ela também pode ser absorvida em pequena quantidade, através dos tecidos das folhas (CORREIA, 1983).

As necessidades hídricas variam de planta para planta, assim como a sua sensibilidade à exposição ao estresse hídrico. Além disso, outros fatores influenciam na necessidade hídrica de cada planta, como o tipo de solo e clima da região. Contudo, a diminuição do potencial de água no solo pode proporcionar diminuição do crescimento da planta (SILVA et al., 2011).

A necessidade hídrica da grama-batatais é baixa no inverno, pois tanto a temperatura média quanto a evapotranspiração de referência (ET_o) são baixas, sendo que a aplicação de uma lâmina de água de 40% já é considerada suficiente. No período de agosto a outubro a necessidade hídrica aumenta e recomenda-se o uso de 80% da ET_o para manter a qualidade estética do gramado. Testes realizados com diferentes lâminas de água (40%, 60%, 80% e 100% da ET_o) evidenciaram que

a produção de matéria seca não foi influenciada quando adotou-se turno de rega de dois dias (SILVA et al., 2011).

Melo et al.(2007) avaliando plantas de *Paspalum sp.* submetidas a um estresse hídrico entre 5 e 11 dias, observaram que somente a taxa fotossintética e o potencial hídrico foliar obtiveram diferença significativa, comprovando que plantas de *Paspalum sp.* possuem ampla plasticidade fisiológica e anatômica, o que permite maior tolerância às condições de deficiência hídrica.

As espécies de grama produzidas no Brasil possuem diferenças na sua demanda hídrica, sendo que algumas têm resistência ao estresse hídrico maior do que outras. Geralmente, gramas de clima frio, como a *bluegrass*, são mais susceptíveis a estresse hídrico do que gramas de climas quentes como: grama-batatais, grama-esmeralda e bermuda. A grama tem necessidade de suplementação hídrica em períodos secos, para manter a cor e continuar seu crescimento. Em períodos frios também pode-se ter picos de necessidades de água, assim como, nos períodos quentes (NETO, 2004).

O clima tropical brasileiro favorece o desenvolvimento de gramíneas de verão, por se adaptarem melhor às altas temperaturas, apresentando alto crescimento na faixa de temperatura de 25 a 35 °C. Na presença de temperaturas menores que 20°C, iniciam um processo de dormência, ocasionando diminuição do metabolismo, período em que as condições ideais de crescimento não são favoráveis. Sendo assim, no período menos favorável, essas espécies acumulam reservas de alimento, normalmente nas raízes, para serem utilizadas no período de crescimento (SANTIAGO, 2002).

Para obter bom desenvolvimento, o manejo da irrigação de um gramado é fundamental. O manejo deve ser executado de forma eficiente, visando otimizar os recursos hídricos disponíveis. Contudo, infelizmente, isso não está sendo realizado, e a irrigação de gramados tem sido realizada utilizando pouquíssimo embasamento técnico-científico (CARRIBEIRO, 2010). Muitos irrigantes ainda avaliam o momento de executar a irrigação de forma visual, sem adotar qualquer planejamento de uso e manejo racional da água (DACOSTA & HUANG, 2005).

Existem recomendações de frequências fixas de lâminas d'água para cada cultura. O método pode ser prático na sua operacionalização, mas pode acarretar

em déficits e excedentes hídricos de água ao longo do ciclo da cultura, pois as condições climáticas podem variar de ano para ano. Por isso, ainda existe a necessidade do uso de métodos de campo que determinem de modo direto ou indireto a disponibilidade hídrica do solo, oferecida à planta em desenvolvimento (FARIA & COSTA, 1987)

O estresse hídrico pode provocar no gramado declínio na sua qualidade, reduzindo a densidade de brotações, tornando-o fosco, dobrando e enrolando seu limbo. A textura das folhas também se altera, adquirindo tonalidade verde azulada. Além de todos os prejuízos nas suas características, a planta sob estresse hídrico reduz a absorção de nutrientes como o nitrogênio (NORTON, 1982). Em contrapartida, o uso de irrigação excessiva pode levar a grama a crescer rapidamente, o que resultaria no aumento do número de cortes e provocar o desenvolvimento de sistema radicular raso (ROMERO & DUKES, 2009). Além disso, o excesso de água no solo é prejudicial para os gramados, pois em solos que possuem má drenagem, retêm água e diminuem o oxigênio disponível no solo. Muitas gramas possuem alta sensibilidade à encharcamento, como a grama-esmeralda, que em curtos períodos de tempo (mais de cinco dias), já ocorre diminuição da qualidade visual do gramado.

Alguns trabalhos científicos evidenciam que não basta irrigar, sendo necessário aplicar a quantidade de água adequada à planta, conforme o seu estágio de desenvolvimento. Dacosta e Huang (2005) concluíram que em gramas de clima frio não é necessário aplicar 100% da *ET_o* nas irrigações. Para manter a qualidade do gramado, os autores verificaram que é melhor repor apenas 60% da *ET_o*. Carrow (1995) também concluiu que valores entre 60 e 80% da *ET_o* são suficientes para garantir boa qualidade de gramas de estações quentes.

2.4 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico consiste na contabilização das entradas e saídas de água em um volume de solo vegetado, em determinado tempo, fornecendo a quantidade de água disponível no sistema. O somatório das entradas e saídas deve ser nulo, pois o balanço hídrico segue o princípio de conservação de massa (PEREIRA et al., 1997; REICHARDT & TIMM, 2004). O balanço hídrico possui várias aplicações

importantes como: manejo da irrigação, previsão de safras e planejamento das operações da atividade agropecuária (PEREIRA et al.,1997; SOUZA & GOMES, 2008).

As entradas de água no sistema podem ocorrer pela precipitação, irrigação, deflúvio superficial de entrada, deflúvio subsuperficial de entrada e ascensão capilar. As saídas ocorrem por meio das perdas de água por drenagem interna, evapotranspiração, deflúvio superficial e deflúvio subsuperficial (REICHARDT & TIMM, 2004).

$$\Delta A_L = P + I + R_e + R'e + AC + D + ET + R_s + R's$$

Sendo: ΔA_L – variação do armazenamento; P – precipitação; I – irrigação; R_e – deflúvio superficial de entrada; $R'e$ – deflúvio subsuperficial de entrada; AC – ascensão capilar; D – drenagem interna; ET – evapotranspiração; R_s – deflúvio superficial de saída; $R's$ – deflúvio subsuperficial de saída.

A literatura indica que existem dois balanços hídricos muito estudados, o balanço hídrico do solo (BHS) e o balanço hídrico agrícola (BHA), ambos possuem grande utilidade para a agricultura. No BHS o armazenamento da água no solo pode ser determinado com equipamentos específicos, como evapotranspirômetros e lisímetros, ou calculado indiretamente utilizando tensiômetros, sondas, entre outros, que permitem estimar a umidade do solo no solo (REICHARDT & TIMM, 2004). As dificuldades de mensuração das componentes hídricas no BHS limitam seu uso e encarece sua implantação. Por isso, muitas vezes, o balanço hídrico agrícola (BHA) estimado é mais utilizado, principalmente os que consideram características do solo e clima da região, permitindo elaborar estudos em diversas áreas com boa eficiência e aproximação da realidade (PEREIRA et al., 1997).

O BHA permite determinar a necessidade ou a disponibilidade hídrica dos cultivos agrícolas em regiões específicas, contribuindo para quantificar a água a ser repostada no solo com a irrigação, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo (GURSKI, 2014). A literatura é rica em exemplos de programas desenvolvidos com a finalidade de estimar o BHA, como o modelo desenvolvido por Souza (2008), que auxiliou na elaboração de trabalhos envolvendo estudo de componentes hídricas para diversas finalidades na área de engenharia de água e solo (SOUZA & FRIZZONE, 2003; SOUZA & FRIZZONE, 2007; SOUZA & GOMES,

2007; SOUZA & GOMES, 2008; ARAUJO et al., 2009; ADAMUCHIO, 2010; SCHERAIBER, 2012; GERSTEMBERGER, 2012; JERSZURKI, 2013; GURSKI, 2014). O modelo desenvolvido por Souza (2008) baseou-se na metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), consistindo em um balanço hídrico sequencial (Periodicidade: 1, 5, 7, 10 15 e 30 dias) que necessita de dados de precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_o), coeficiente de cultivo (kc), fração de água disponível no solo (p) e capacidade de água disponível no solo (CAD).

Para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) podem ser utilizados métodos diretos, como o uso de lisímetros, método das parcelas experimentais e método do controle da umidade no solo. Os métodos indiretos mais conhecidos são aqueles que utilizam evaporímetros, ou a partir de equações, como a de Hargreaves e Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998; BERNARDO et al., 2006).

A evapotranspiração de referência (ET_o) estimada com o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) é calculada considerando uma cultura hipotética, cobrindo todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica ou nutricional, com altura média de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície de 70 s m^{-1} .

Sabe-se que a ET_o é influenciada pelas condições climáticas do local, como a velocidade do vento e umidade relativa, saldo de radiação e temperatura do ar. Mas, além dos fatores climáticos, tem-se a influência da espécie vegetal estudada em seus estádios fisiológicos, os quais têm influência direta na ET_o . No modelo de Souza (2008) a evapotranspiração da cultura (ET_c) é obtida com a seguinte expressão:

$$ET_c = kc \cdot ET_o$$

Sendo: ET_c – evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); kc – coeficiente de cultivo (adimensional); ET_o – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

Os valores de kc podem ser obtidos de várias formas. No método proposto por Allen et al. (1998) o kc é obtido experimentalmente para cada região, considerando ET_c e a fase fisiológica da planta. Sabe-se que no início do desenvolvimento da planta o kc é baixo, devido a baixa porcentagem de cobertura da cultura no solo. Com o desenvolvimento da cultura a porcentagem de área

coberta aumenta e o k_c também, até atingir seu valor máximo, que ocorre quando as plantas cobrem totalmente o solo.

O sistema solo é resultado de interações entre partículas sólidas, líquidas e gasosas. A quantidade de partículas sólidas é constante, e a concentração de gases e líquidos varia em uma relação inversa, ou seja, quando se aumenta a quantidade de líquidos no espaço poroso do solo, tem-se redução na quantidade de gases no sistema (REICHARDT & TIMM, 2004). A água fica retida nos poros do solo, pela ação das forças de capilaridade e adsorção. A capilaridade retém água no solo quando os poros apresentam-se razoavelmente cheios de água. Quando o solo seca, os poros esvaziam-se e passa a reter água por meio da adsorção, elétrica ou material. A energia de retenção de água no solo nesta condição é grande e, conseqüentemente, a energia necessária para se retirar água do solo (REICHARDT, 1990).

A *CAD* corresponde à capacidade de água disponível no solo, ficando disponível para a planta até o solo atingir o ponto de murcha permanente (PMP). Mas a quantidade de água removida pela planta é significativamente reduzida antes de atingir o PMP. A *CAD* é influenciada principalmente pela profundidade efetiva do sistema radicular e tipo de solo, variando para cada espécie e local específico, podendo ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$CAD = \sum_{i=1}^n (\theta_{cc_i} - \theta_{pmp_i}) \cdot z_i$$

Sendo: *CAD* – capacidade de água disponível (mm); θ_{cc} – umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (%); θ_{pmp} – umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente (%); z – profundidade efetiva do sistema radicular (m).

Quando há água no solo, mas a planta não consegue absorvê-la devido à diferença de potencial entre a atmosfera e o solo, a planta deixa de absorver água e entra em estresse hídrico, o qual pode comprometer a produtividade da planta. A planta em estresse hídrico ainda pode ter boa produtividade, desde que não seja muito prolongado, e o ponto de murcha permanente, que é irreversível para a planta, não seja atingido (REICHARDT, 1990). A fração da capacidade de água disponível que uma cultura pode extrair da zona radicular, sem ter estresse hídrico, é denominada “fração p ”. O produto “ $p \cdot CAD$ ” denomina-se água facilmente disponível

(AD). Pela dificuldade de mensuração, inúmeras vezes a fração p é considerada constante ao longo do desenvolvimento das culturas, sendo seu valor pré-estabelecido; mas sabe-se que ela é altamente influenciada pela ET_c ao longo do desenvolvimento das culturas (ALLEN et al,1998), o que pode levar a resultados inconsistentes. Diante das dificuldades, visando melhorar estimativas das componentes de balanços hídricos agrícolas, Gurski (2014) testou e analisou para algumas culturas funções que estimam a fração p , bem como coeficiente de cultivo e profundidade do sistema radicular.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi conduzido no Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, Paraná. A cidade tem área aproximada de 430,9 km², possui relevo levemente ondulado e está situada nas coordenadas: 25°25'48" de latitude Sul, 49°16'15" de longitude Oeste e altitude média de 934,6 m. Conforme classificação de Wladimir Köeppen, o clima é classificado como Cfb – Clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e ocorrência de geadas fortes e frequentes. Nos meses mais quentes a média de temperatura é inferior a 22 °C, e a dos meses mais frios, inferior a 18 °C (MAACK, 2002). A pluviosidade média é de 1500 mm ano⁻¹, não possuindo estação seca.

3.2 BALANÇO HÍDRICO AGRÍCOLA (BHA)

A simulação do BHA foi realizada com auxílio de um programa computacional desenvolvido em linguagem de programação *Visual Basic Application* (VBA - Macros), denominado "MORETTI – Módulo: Balanço hídrico sequencial (periodicidade diária), Versão 1.0" (SOUZA, 2008). Para realizar as análises de simulação o programa necessitou de dados diários de precipitação pluvial (P), evapotranspiração de referência (ET_o), armazenamento de água inicial do solo, coeficiente de cultivo (kc), capacidade de água disponível (CAD) e fração de água disponível (p).

Os dados climáticos diários utilizados foram disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). A estação está instalada na cidade de Curitiba: latitude -25,4333 graus, longitude - 49,2666 e 935 metros de altura. Os dados analisados são do período entre 01/01/1998 e 31/12/2010, e constam da: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s⁻¹) e precipitação (mm).

3.2.1 Método de Penman-Monteith

O método de Penman-Monteith é recomendado no boletim 56 da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) (ALLEN et al., 1998). Maiores detalhes do equacionamento utilizado no presente trabalho pode ser verificado no APÊNDICE 1.

$$ET_{O_{PMi}} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T_{MED} + 273)} \cdot U_2 \cdot (es - ea)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)}$$

Sendo: $ET_{O_{PMi}}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método de Penman-Monteith para um i -ésimo dia ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn – radiação líquida na superfície ($\text{MJm}^{-2} \text{d}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); T_{MED} – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); U_2 – velocidade do vento a dois metros de altura ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); es – tensão de saturação de vapor (kPa); ea – tensão parcial de vapor (kPa).

3.2.2 Evapotranspiração da cultura (ET_c) e coeficiente de cultivo (kc)

Para a determinação da ET_c foi utilizado a seguinte equação:

$$ET_c = kc \cdot ET_o$$

Sendo: ET_c – evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); ET_o – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); kc – coeficiente de cultivo (adimensional).

Os valores de kc foram determinados conforme recomendação de Allen et al. (1998), utilizando a função:

$$kc(DAP)_k = kc_A + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{\min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

Sendo: $kc(DAP)_k$ – coeficiente de cultivo em função dos dias após o plantio da cultura (adimensional); kc_A – coeficiente de cultivo (adimensional) – adotou-se valor referente a *turfgrass* ($kc = 0,9$); u_2 – velocidade média do vento a 2 m de altura no respectivo período (médio ou final) (m s^{-1}); UR_{\min} – umidade relativa mínima média diária ao longo do respectivo período (médio ou final) (%); h – altura média da planta (m).

3.2.3 Capacidade de água disponível (*CAD*), água disponível no solo (*AD*) e fração de água disponível no solo (*p*)

Os cálculos do balanço hídrico foram realizados considerando a capacidade de água disponível (*CAD*) de 50,0 mm, 75,0 mm e 100,0 mm, conforme recomendações de Souza e Trentin (2007) e Jia et al. (2009).

A água facilmente disponível (*AD*) é calculada no programa com a expressão:

$$AD = CAD \cdot p$$

Sendo: *AD* – água facilmente disponível no solo (mm); *CAD* – capacidade de água disponível no solo (mm); *p* – fração de água disponível no solo (adimensional).

3.2.4 Armazenamento de água no solo (*A_L*)

A estimativa do *A_L* e/ou “negativo acumulado” foi realizada utilizando a equação Cossenoidal (DOURADO NETO & LIER, 1993), obedecendo aos seguintes critérios:

– Se $CAD \cdot (1 - p) < A_L \leq CAD$, ou seja, na zona úmida, então:

$$A_L = CAD - L$$

– Senão, se $0 < A_L \leq CAD \cdot (1 - p)$, ou seja, na zona seca,

$$A_L = (1 - p) \cdot CAD \cdot \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{|L| - CAD \cdot p}{(1 - p) \cdot CAD} \right) \right] \right\}$$

Sendo: *CAD* – capacidade de água disponível no solo (mm); *A_L* – armazenamento de água do solo (mm); *L* – valor do negativo acumulado (mm); *p* – fração de água disponível no solo para determinada cultura (adimensional).

O valor inicial do armazenamento da água no solo (*A_L* inicial) para o ano de 1998 foi contabilizado ao longo do ano de 1997, sendo igual a 40,8, 65,8 e 90,8 mm para as *CAD* de 50, 75 e 100 mm, respectivamente.

3.2.5 Organização e análise dos dados

Após o cálculo, os valores diários das componentes do balanço hídrico diário (ET_o , ET_c , P , A_L , ER , DEF e I) foram agrupados em período de dez dias, visando melhor caracterização da variação sazonal das condições hídricas, bem como identificar as diferenças existentes no município, devido às condições de solo, cultura e clima.

Com uma planilha desenvolvida especialmente para essa finalidade, os valores das componentes do balanço hídrico (ET_o , ET_c , P , A_L , ER , DEF e I), diárias e agrupados em decêndios, foram classificados em um diagrama de distribuição de frequência em cor, com o objetivo de facilitar a interpretação e análise dos dados obtidos, bem como estabelecer as probabilidades observadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRECIPITAÇÃO (P) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o)

A variação da ET_o no período estudado (01/01/1998 a 31/12/2010), acompanhou a oscilação da temperatura ao longo do ano na região de Curitiba-PR. Obtiveram-se os menores valores para temperatura e ET_o no inverno, e os maiores valores no verão (FIGURA 1). Para a precipitação no período estudado, verificou-se leve oscilação entre a $P_{média}$ obtida e a P_{normal} para a região. A $P_{média}$ anual total foi de 1425,1 mm, valor pouco superior à P_{normal} anual total (1.408,0 mm).

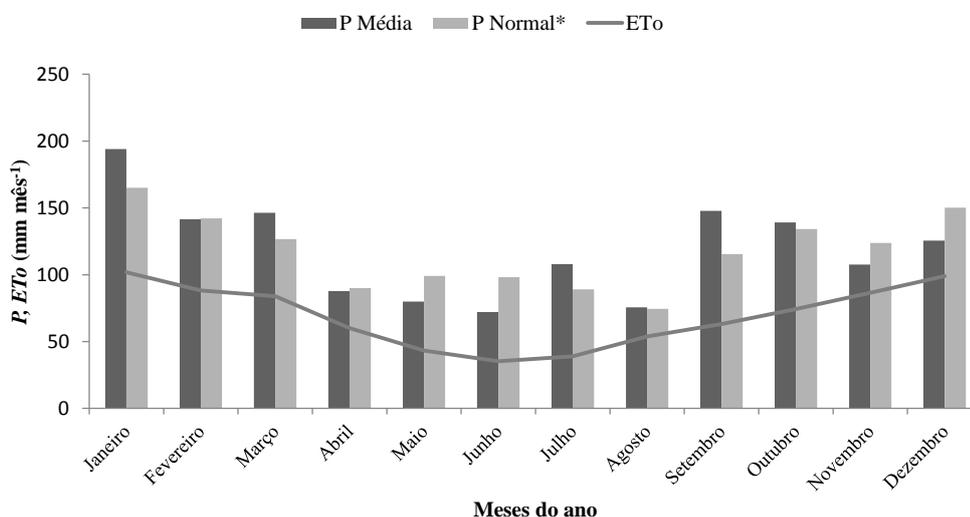


FIGURA 1 – Precipitação média mensal normal (P_{normal}), precipitação média mensal (P) e evapotranspiração de referência média mensal (ET_o), obtidas com as séries de dados da estação meteorológica da Curitiba, entre 01/01/1998 a 31/12/2010. *Normais climatológicas observadas entre 1947 e 2005 para a região de Curitiba (NUNES et al., 2009).

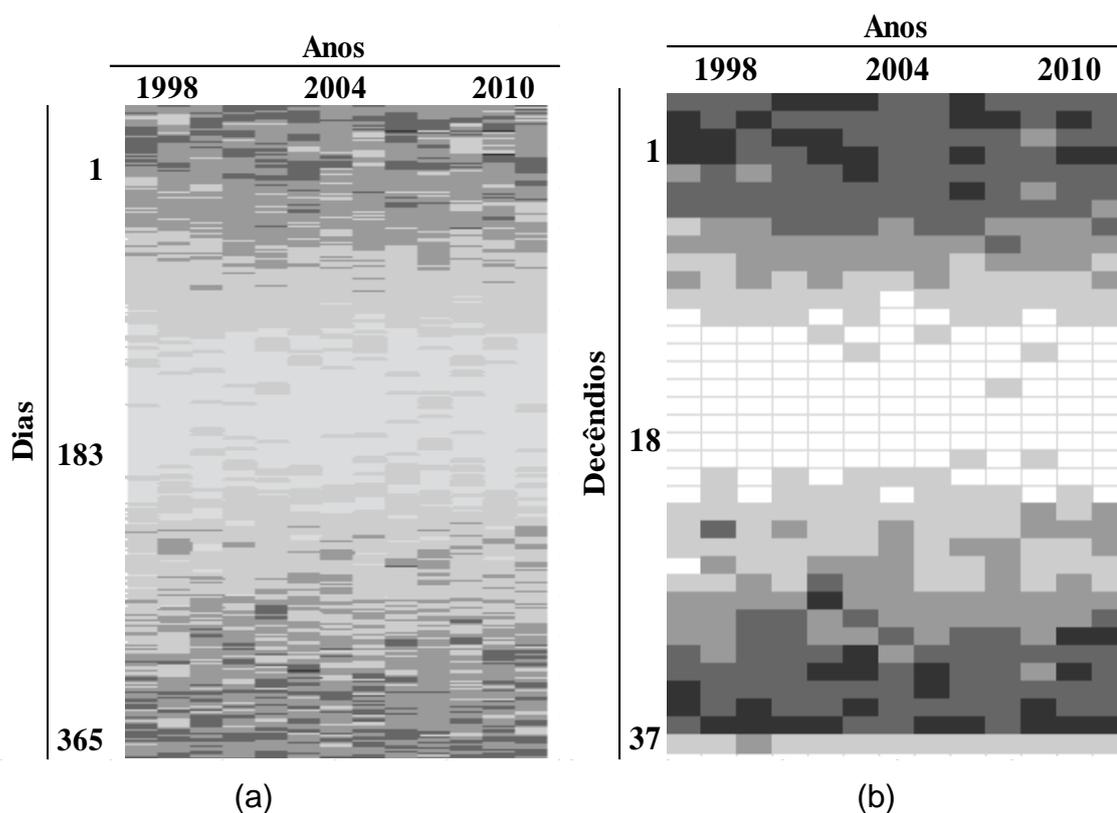
Em nenhum momento os valores médios mensais da ET_o (calculados a partir de valores diários) foi maior que a P média mensal. Os meses com menores médias mensais de precipitação foram julho e agosto, com 72 e 76 mm, respectivamente. A ET_o acompanhou as variações sazonais da precipitação mensal, conforme observado por Jerszurki (2013). Entretanto, diferente de Telêmaco Borba-PR, os menores valores de ET_o obtidos no presente trabalho ocorreram nos meses de julho (35 mm) e agosto (39 mm).

A distribuição da ocorrência dos valores da ET_o pode ser melhor observada no período decêndial (FIGURA 2). No período do inverno ocorreram os menores

valores de ET_o , devido às baixas temperaturas que ocorrem no período (SILVA et al., 2011). Segundo Pereira et al. (2002) o efeito combinado da temperatura, velocidade do vento e umidade relativa definem a demanda atmosférica por vapor d'água e, conseqüentemente, a evapotranspiração.

Para a P (FIGURA 3), observou-se que a distribuição de frequência em cor não apresentou nenhum padrão visual, tanto para o período diário quanto decêndial, provavelmente devido à característica aleatória da variável (SAMPAIO et al., 2007; CALGARO et al., 2009; JERSZURKI, 2013).

LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Obs.	Prob. (%)	LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Obs.	Prob. (%)
0,50	1,52		1536	30,1	9,07	15,25		117	24,3
1,52	2,55		1616	31,6	15,25	21,43		106	22,0
2,55	3,57		1483	29,0	21,43	27,60		89	18,5
3,57	4,60		471	9,2	27,60	33,78		124	25,8
4,60	5,62		4	0,1	33,78	39,96		45	9,4

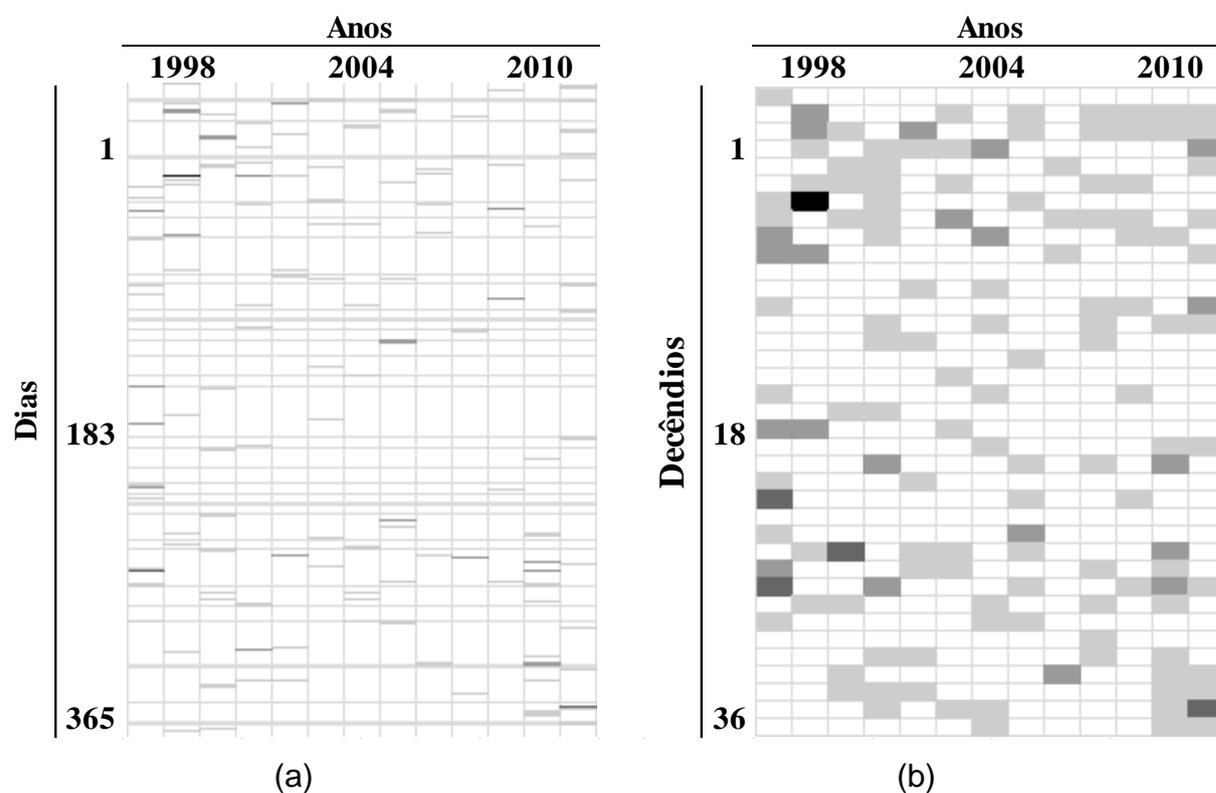


Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Frq. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob (%) – probabilidade (%).

FIGURA 2 – Distribuição de frequência em cor da ET_o (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR: (a) ET_o para o período diário (mm dia⁻¹); e, (b) ET_o para período decêndial (mm decêndio⁻¹).

FONTE: O Autor 2014.

LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Obs.	Prob. (%)	LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Obs.	Prob. (%)
0,00	28,76		4579	96,5	0,00	53,16		343	71,3
28,76	57,52		142	3,0	53,16	106,32		112	23,3
57,52	86,28		20	0,4	106,32	159,48		21	4,4
86,28	115,04		3	0,1	159,48	212,64		4	0,8
115,04	143,80		1	0,0	212,64	265,80		0	0,0



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Frq. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob (%) – probabilidade (%).

FIGURA 3 – Distribuição de frequência em cor da P (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR: (a) P para o período diário (mm dia⁻¹); e, (b) P para período decêndial (mm decêndio⁻¹).

FONTE: O Autor 2014

Conforme Silva et al. (2011) a necessidade hídrica da grama-batatais é maior no verão que no inverno. A grama não apresenta redução de crescimento nem depreciação do aspecto visual quando tem reposição de 80% da ET_o . As considerações de Silva et al. (2011) são interessantes para o manejo da grama na região de Curitiba, pois em nenhum dos meses do período estudado verificou-se médias de precipitação abaixo da ET_o (FIGURA 1). Logo, baseando-se apenas na ET_o e precipitação médias mensais, pode-se considerar que é dispensável o uso da irrigação para a cultura da grama na região de Curitiba.

4.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (E_{Tc})

4.2.1 Utilização do k_c e $k_c(DAP)$

A função $k_c(DAP)$ estima valores diários de k_c ao longo do desenvolvimento da cultura. Na FIGURA 4 estão dispostos as médias do $k_c(DAP)$ mensal para a região de Curitiba e os valores de k_c obtidos por Jia et al. (2009), em experimento com grama-batatais, no período de 2003 a 2006, no estado da Flórida – EUA.

Nos resultados obtidos por Jia et al. (2009) as variações nos valores de k_c foram maiores que as verificadas no presente trabalho. A diferença constatada pode ter ocorrido devido aos valores de umidade relativa (UR) utilizados como entrada na função $k_c(DAP)_k$. O correto seria utilizar a UR_{mim} , mas na impossibilidade de obter os dados, utilizou-se dados de UR médio do dia. As diferenças também podem ter ocorrido devido a uma série de outros fatores. A região da Flórida situa-se no hemisfério norte, e possui clima subtropical úmido, com taxa de precipitação anual de 1350 mm, ocorrendo predominantemente (60%) no período entre junho e setembro (PURDUM, 2002). As temperaturas médias do ar na região também são superiores as de Curitiba. O experimento realizado por Jia et al. (2009) usou equipamentos que possuem boa precisão (lisímetros), permitindo medir e contabilizar melhor as diferentes ocorridas ao longo do ciclo da cultura.

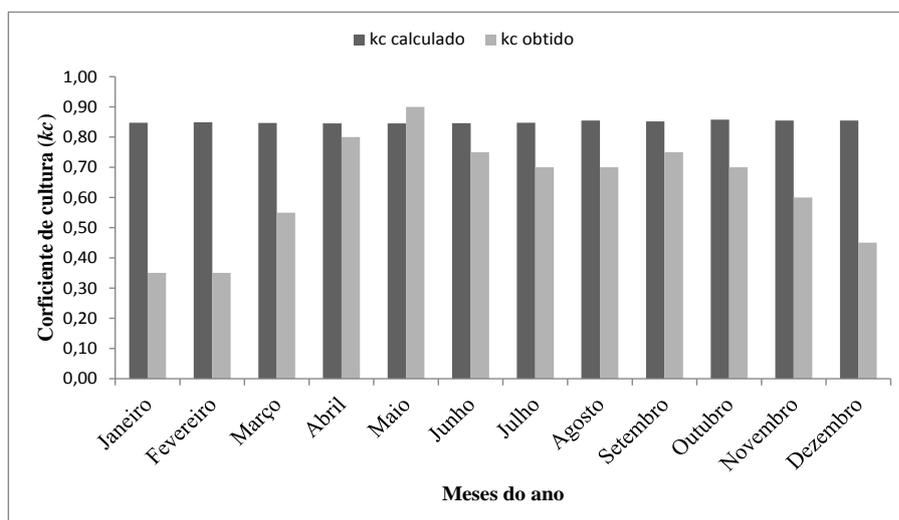


FIGURA 4 – Valores de k_c calculado conforme recomendação de Allen et al., (1998), utilizando dados climáticos da região de Curitiba, entre 01/01/1998 a 31/12/2010, e k_c encontrado por Jia et al. (2009) na Flórida.

FONTE: O Autor 2014

4.2.2 Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) nas análises

A ET_c obtida para a série de 13 anos (FIGURAS 5, 6 e 7) tiveram aspecto similar à distribuição de frequência em cor obtida para os valores de ET_o (FIGURA 2). A ET_o e ET_c apresentaram três períodos bem característicos, sendo: decêndios 1 a 9 e 28 a 37, apresentando os maiores valores (18,28 a 34,39 mm decêndio⁻¹) e ocorrendo no período mais quente do ano; decêndios 9 a 13 e 22 a 27 (12,91 a 18,28 mm decêndio⁻¹); e, decêndios 13 a 21, apresentando os menores valores (7,54 a 12,91 mm decêndio⁻¹) e ocorrendo na época mais fria do ano. Os valores de ET_c são iguais nas simulações (FIGURAS 5, 6 e 7), pois as CAD 's (50, 75 e 100 mm) e a fração p não interferem no seu valor.

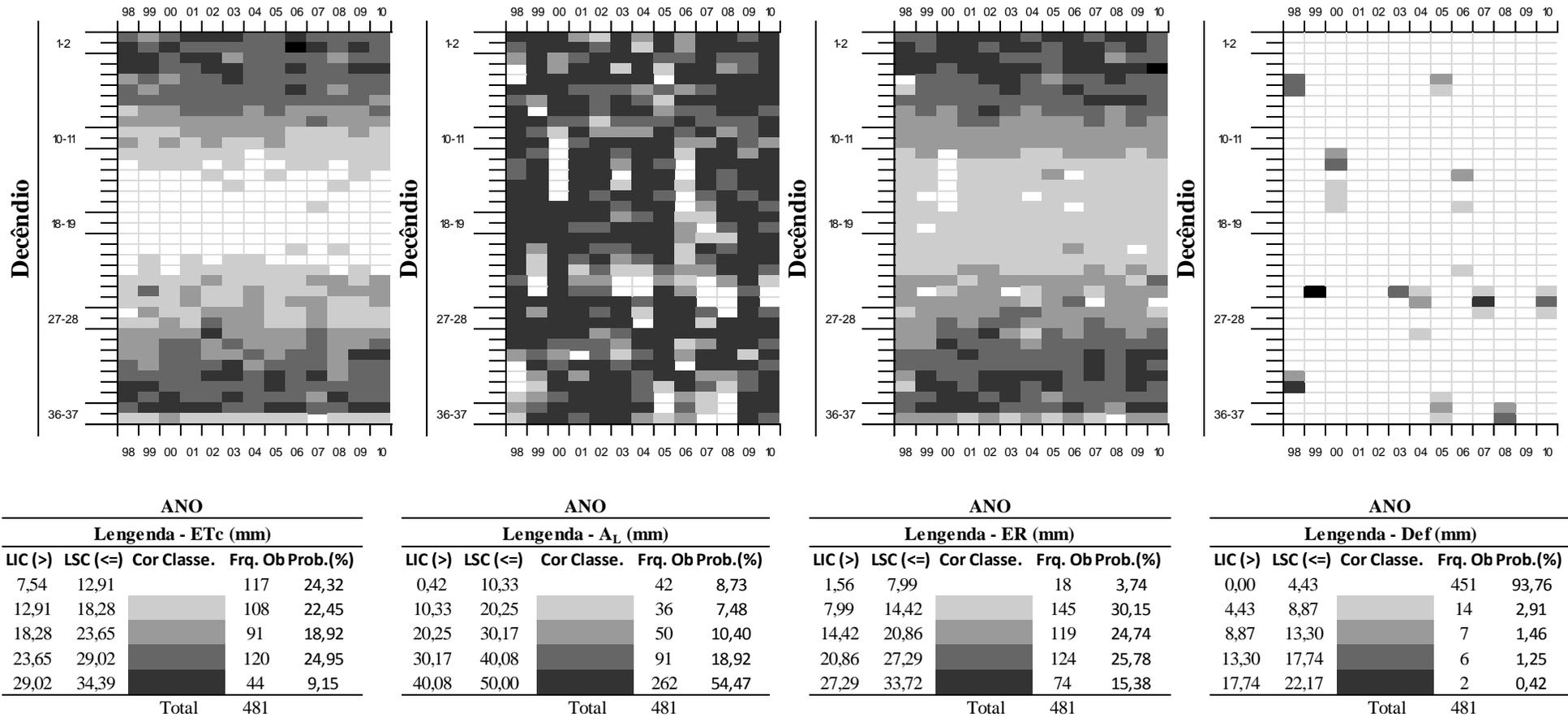
4.3 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO (A_L)

Diferentemente da ET_o e ET_c , o A_L não apresentou períodos bem definidos durante os anos. Existe uma irregularidade na distribuição dos valores para todas as CAD 's estudadas (50, 75 e 100 mm). A precipitação na região de Curitiba-PR ocorre ao longo de todo o ano e os resultados obtidos evidenciam que entradas e saídas de água ocorrem aleatoriamente no sistema água-solo-planta, tendo uma distribuição de frequência em cor sem padrão visual definido (FIGURAS 5, 6 e 7).

Os solos com CAD de 50, 75 e 100 mm, apresentaram A_L nas análises de distribuição em cor com maior probabilidade na cor de classe mais escura (quinta classe), com 54,47%, 63,83% e 70,48%, respectivamente. O resultado indica que em mais de 50% dos decêndios ao longo dos anos analisados, que o armazenamento da água no solo ficou acima de 80% do valor da CAD (FIGURAS 5, 6 e 7).

4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ER)

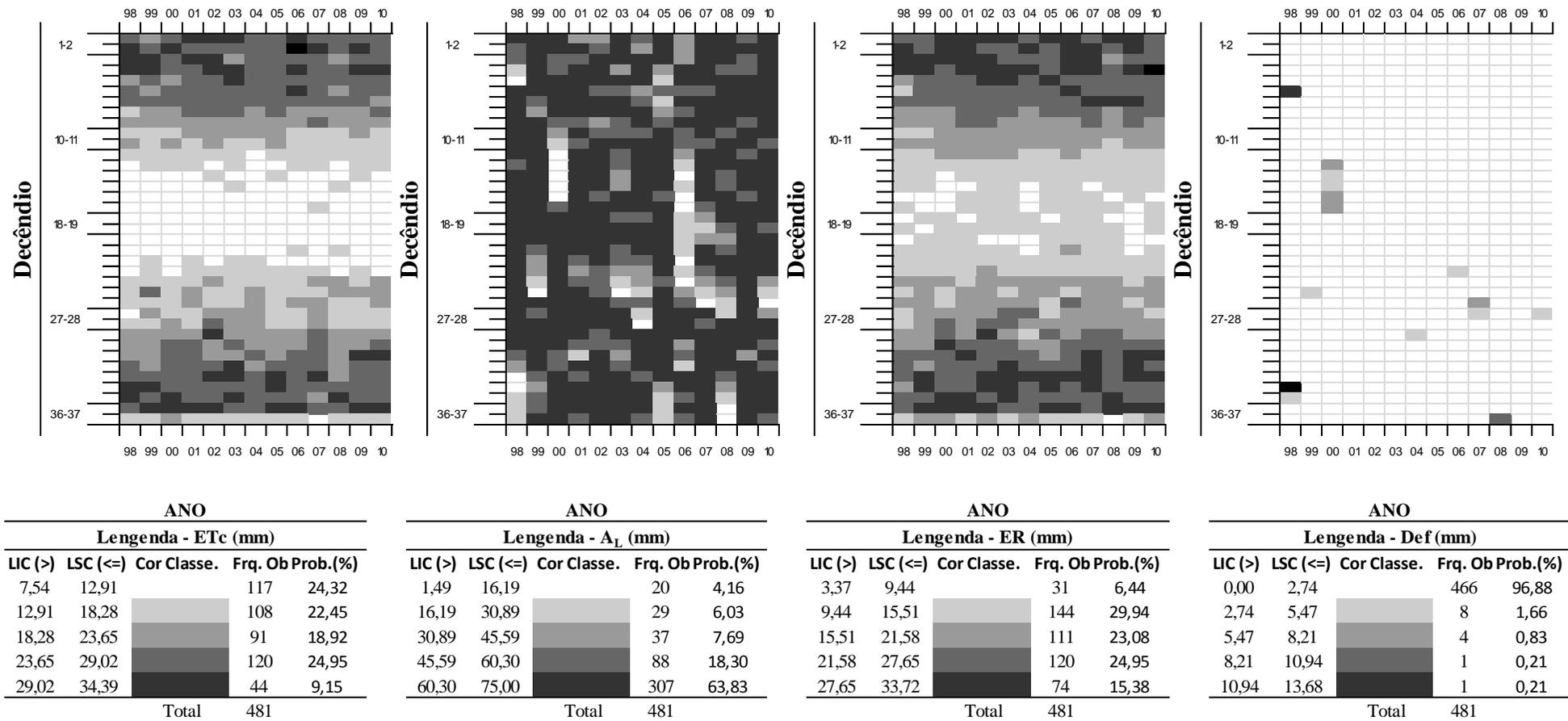
Assim como a ET_o e ET_c , a ER também apresentou regiões bem definidas na distribuição de frequência em cor (FIGURAS 5, 6 e 7). Um período está delimitado entre os decêndios 1 a 13 (janeiro a maio) e 24 a 37 (setembro a dezembro), compreendendo os maiores valores de ER . O outro período está delimitado entre os decêndios 12 a 23 (maio a agosto), compreendendo os menores valores de ER .



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Frq. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada em cada classe (%).

FIGURA 5 – Distribuição de frequência em cor da ETo (mm período⁻¹), AL (mm), ER (mm período⁻¹) e Def (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 50 mm do balanço hídrico.

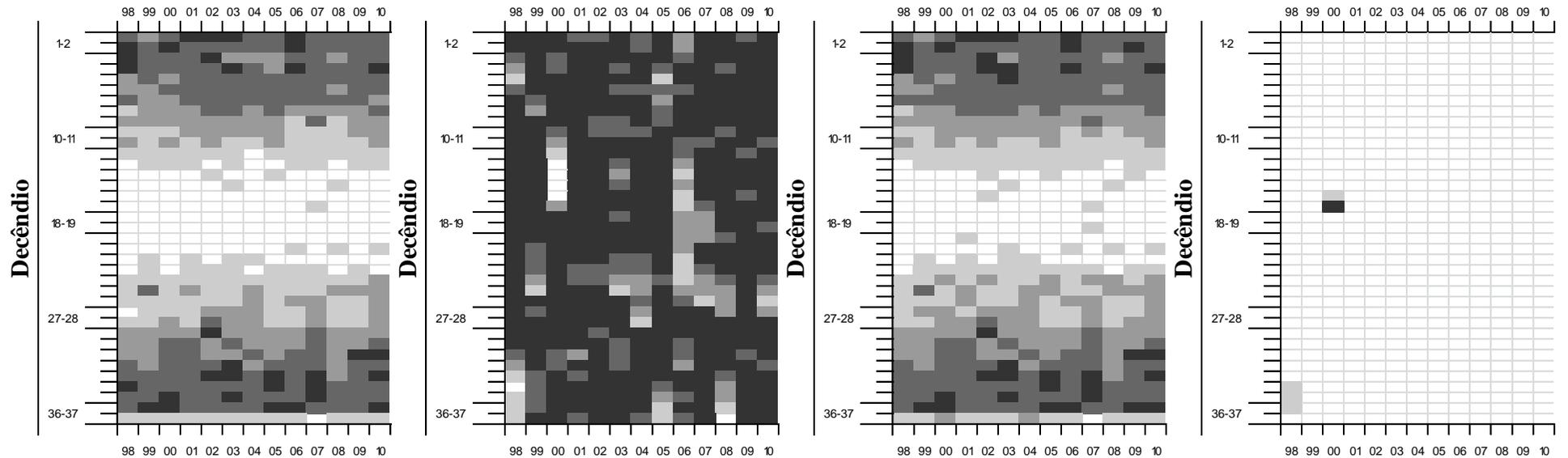
FONTE: O Autor 2014



Sendo: *LIC* – limite inferior da classe; *LSC* – limite superior da classe; *Classe* – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; *Frq. Obs.* – frequência observada em cada classe; *Prob. (%)* – probabilidade observada em cada classe (%).

FIGURA 6 – Distribuição de frequência em cor da *ETc* (mm período⁻¹), *A_L* (mm), *ER* (mm período⁻¹) e *Def* (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 75 mm do balanço hídrico.

FONTE: O Autor 2014.



ANO

Lengenda - ETC (mm)				
LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Ob	Prob.(%)
7,54	13,11		118	24,53
13,11	18,67		111	23,08
18,67	24,24		93	19,33
24,24	29,80		126	26,20
29,80	35,36		33	6,86
Total			481	

ANO

Lengenda - AL (mm)				
LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Ob	Prob.(%)
5,82	24,66		6	1,25
24,66	43,49		21	4,37
43,49	62,33		36	7,48
62,33	81,16		79	16,42
81,16	100,00		339	70,48
Total			481	

ANO

Lengenda - ER (mm)				
LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Ob	Prob.(%)
6,37	12,17		105	21,83
12,17	17,97		107	22,25
17,97	23,77		103	21,41
23,77	29,56		130	27,03
29,56	35,36		36	7,48
Total			481	

ANO

Lengenda - Def (mm)				
LIC (>)	LSC (<=)	Cor Classe.	Frq. Ob	Prob.(%)
0,00	0,89		476	98,96
0,89	1,79		4	0,83
1,79	2,68		0	0,00
2,68	3,58		0	0,00
3,58	4,47		1	0,21
Total			481	

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Frq. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada em cada classe (%).

FIGURA 7 – Distribuição de frequência em cor da ETC (mm período⁻¹), AL (mm), ER (mm período⁻¹) e Def (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 100 mm do balanço hídrico.

FONTE: O Autor 2014.

Apesar das regiões indicarem periodicidade evidente, os valores de *ER* não apresentaram padrões visuais de distribuição de frequência em cor idênticos para todas as *CAD*'s analisadas. Os resultados obtidos para as *CAD*'s de 50 e 75 mm (FIGURAS 5 e 6) apresentam periodicidade menos nítida na distribuição de frequência em cor e a probabilidade da cor de classe mais clara foi de 3,44% e 6,74%, respectivamente. Além disso, as probabilidades da *ER* obtidas para a *CAD* de 100 mm foram mais homogêneas que as obtidas com as *CAD*'s de 50 e 75 mm, na distribuição de frequência empregando cinco classes.

Os valores de *ER* foram maiores nos balanços hídricos realizados com *CAD* de 100 mm, devido ao aumento do volume de água armazenada no solo, suprimindo melhor sua demanda hídrica da planta por um período de tempo mais longo. Para as *CAD*'s de 50 e 75 mm os valores de *ER* encontrados foram mais parecidos, distinguindo-se apenas na frequência encontrada.

4.5 DEFICIÊNCIA HÍDRICA (*Def*)

Os valores de *Def* mais encontrada para as três *CAD*'s estudadas (50, 75 e 100 mm), evidenciaram-se na classe de cor mais clara, sendo 93,76%, 96,88% e 98,96%, respectivamente (FIGURAS 5, 6 e 7). Os resultados indicam baixa probabilidade de ocorrência de deficiência para grama batatais, na região de Curitiba-PR. Os limites inferior e superior da classe mais clara (branco) ficaram entre: 0,0 e 4,43 mm decêndio⁻¹ para a *CAD* de 50 mm; 0,0 e 2,74 mm decêndio⁻¹ para *CAD* de 75 mm; e, 0,0 a 0,89 mm decêndio⁻¹ para *CAD* de 100 mm

Os resultados das análises de balanço hídrico agrícola sem irrigação, não demonstraram na distribuição de frequência em cor a existência de um período definido para a ocorrência de *Def* na série de anos estudados. O resultado obtidos diferem dos encontrados Scheraiber (2012) e Fietz et al. (2001).

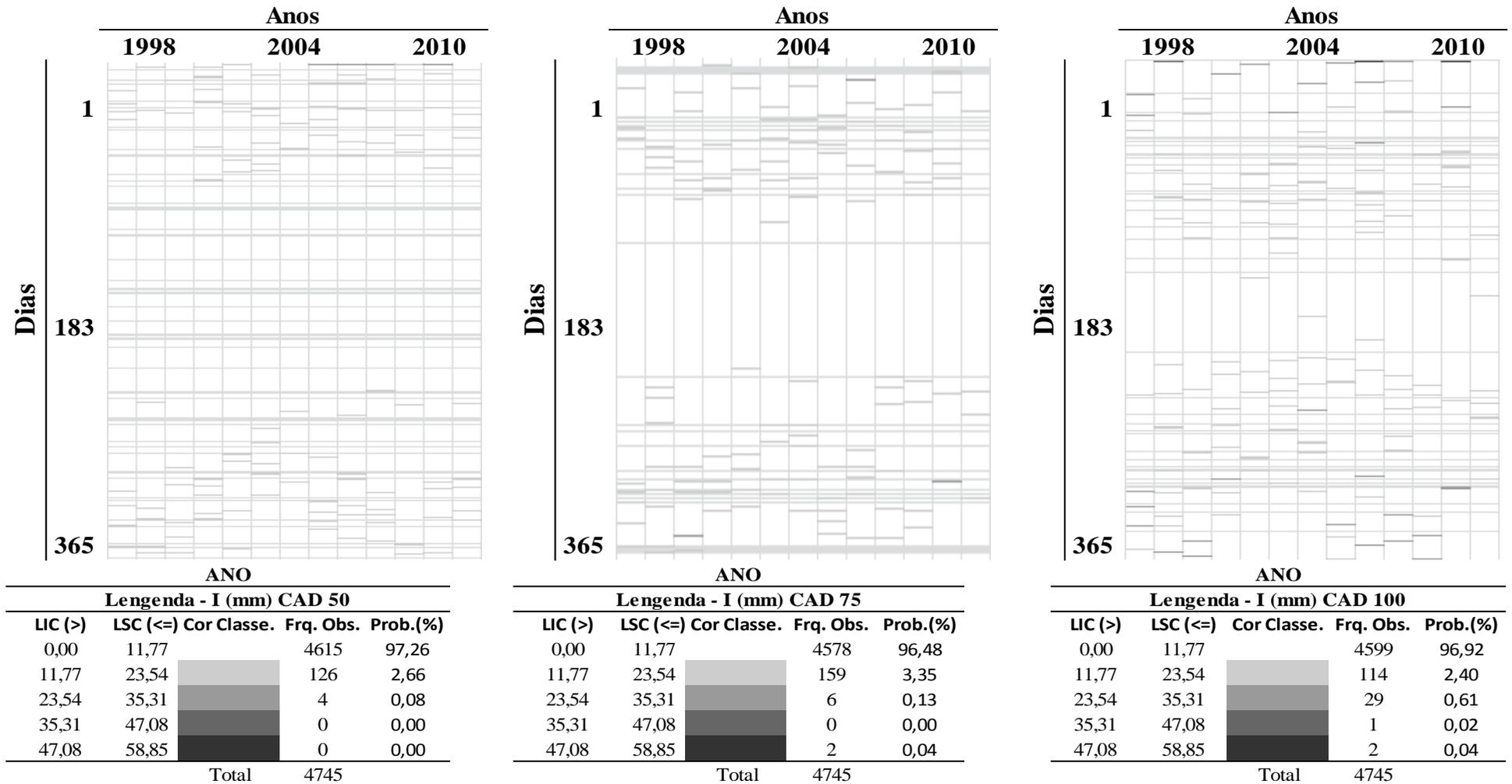
4.6 SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE DA IRRIGAÇÃO

Conforme Scheraiber (2012) a irrigação influencia outras componentes do balanço hídrico agrícola, como o A_L (armazenamento d'água no solo), *Def*

(deficiência hídrica) e *Exc* (excedente hídrico), além da *Alt* (alteração da água armazenada no solo).

Conforme FIGURA 1, em nenhum momento os valores médios mensais da *ET_o* (calculados a partir de valores diários) foram maiores que a *P* média mensal. Verifica-se assim, que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano na região de Curitiba-PR, mesmo nos meses mais secos, como julho e agosto. A boa distribuição das chuvas ao longo do ano evidenciou que os valores de *CAD* testados no presente trabalho (50, 75 e 100 mm) alteraram muito pouco as probabilidades de ocorrência das lâminas de irrigação necessárias. Os resultados da distribuição de frequência em cor para periodicidade de irrigação diária (FIGURA 8) e decêndial (FIGURA 9) são muito parecidos para as *CAD*'s de 50, 75 e 100 mm. Os resultados mostram que solos com *CAD*'s em torno de 50 mm não limitam nem oneram o dimensionamento e uso do sistema de irrigação na região, necessitando do mesmo tamanho e potência dos sistemas dimensionados para *CAD*'s de 75 e 100 mm.

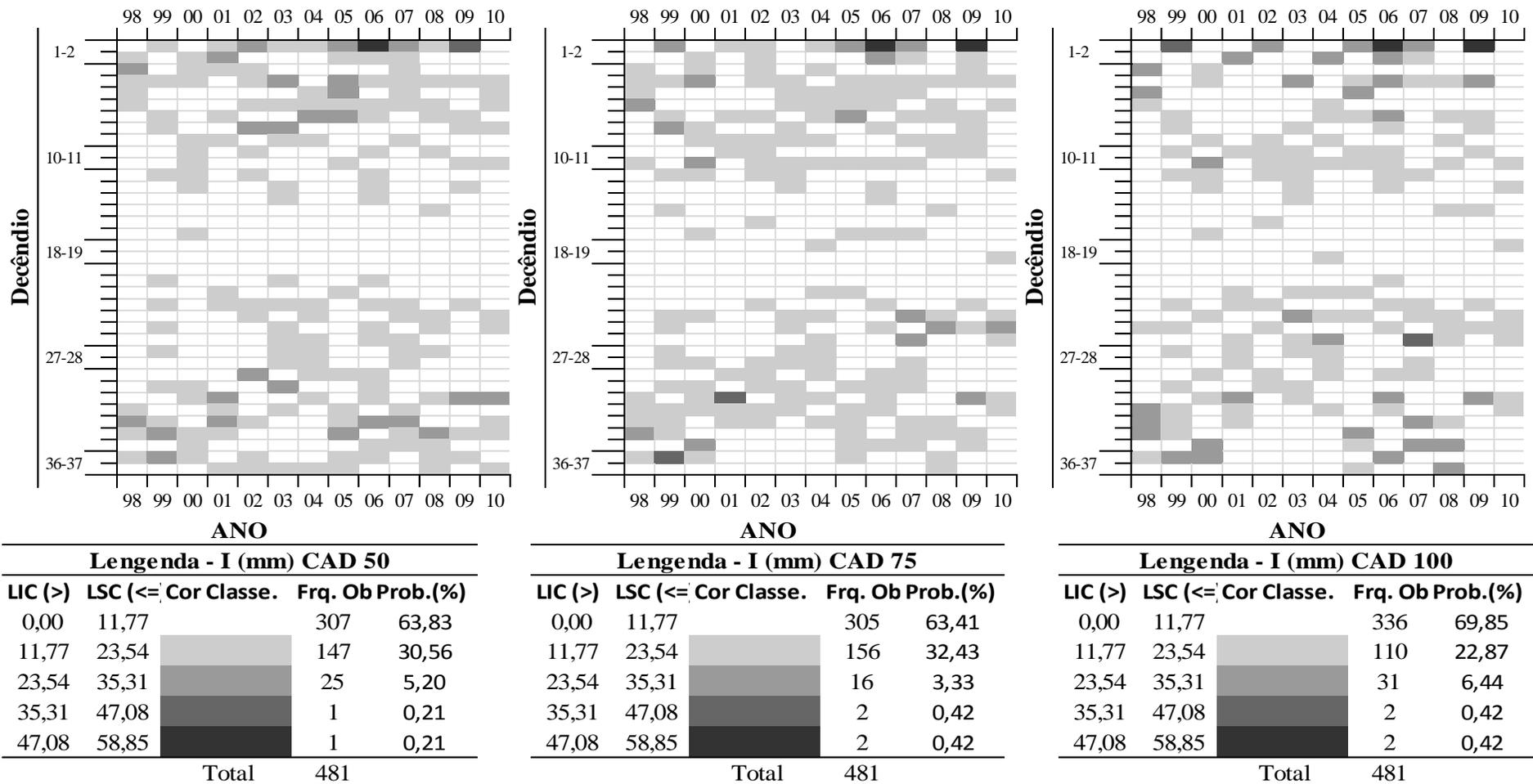
As distribuições de frequência em cores da irrigação na região de Curitiba evidenciaram pequena e irregular exigência de suplementação hídrica para a produção ou manutenção de um gramado composto pela grama-batatais. Assim, o uso da grama-batatais em locais sem sistema de irrigação não é um fator limitante para a sua sobrevivência. Considerando um balanço hídrico com periodicidade diária, verificou-se para todas as *CAD*'s testadas, aproximadamente 96% de probabilidade das lâminas de irrigação serem menores que 11,8 mm (FIGURA 9). Para o balanço hídrico com periodicidade decêndial, em que as irrigações são fechadas para períodos de 10 dias, verificou-se para todas as *CAD*'s testadas, entre 92,7% (*CAD* = 100 mm) e 95,8% (*CAD* = 50 mm) de probabilidade das lâminas de irrigação serem menores que 23,5 mm (FIGURA 9). Nos 13 anos analisados, também ocorreram períodos críticos, havendo maior demanda hídrica e necessidade de maiores lâminas de irrigação (entre 23,3 e 58,8 mm). No entanto, a probabilidade de ocorrência de tais eventos é muito baixa, sendo menor que 1% e 7% para balanços hídricos agrícolas realizados com periodicidade diária e decêndial, respectivamente.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Frq. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada em cada classe (%).

FIGURA 8 – Distribuição de frequência em cor da irrigação diária (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 50, 75 e 100 mm do balanço hídrico.

FONTE: O Autor 2014



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Frq. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada em cada classe (%).

FIGURA 9 – Distribuição de frequência em cor da irrigação decênial (mm período⁻¹), para uma série de 13 anos, no município de Curitiba – PR, considerando CAD de 50, 75 e 100 mm do balanço hídrico.
 FONTE: O Autor 2014

5 CONSIDERAÇÕES PESSOAIS

Durante a realização do presente trabalho pode-se observar vários aspectos sobre balanço hídrico agrícola, como são realizados e seus principais usos. Além disso, para a realização das análises foram necessários o aprendizado e utilização de uma série de programas e planilhas que são importantes para a formação de um engenheiro agrônomo.

As principais dificuldades encontradas foram à falta de publicação científica para a grama-batatais. A maioria de trabalhos publicados relacionados a gramados são estrangeiros, sendo desenvolvidos em condições edafoclimáticas diferentes das brasileiras. A maioria dos trabalhos desenvolvidos no Brasil abordam o uso de gramíneas como planta forrageira, existindo carência de estudos voltados ao manejo de gramados nas áreas urbanas.

A deficiência nos estudos voltados para gramados na Região Metropolitana de Curitiba é bastante evidenciada quando se verifica o pequeno número de trabalhos que foram desenvolvidos e publicados na área. A região possui demanda pelo setor de ornamentação, pois existem grandes campos de futebol, centros de treinamentos, campos de golfe, e o setor de construção civil está aquecido. Além disso, Curitiba é considerada umas das capitais com maior área verde disponível em praças, parques e ruas. Apesar disso não existe nenhum grupo de estudo voltado para o desenvolvimento de novas cultivares, técnicas de produção, desenvolvimento de defensivos específicos para a cultura. A grama-batatais que se encontra em diversos parques de Curitiba não possui programa de melhoramento genético e não possui produto registrado para sua produção, pois não existe nenhuma normatização nacional que trate todas as espécies de grama como cultura de exploração econômica.

Sem o aumento da produção científica na área não será possível ampliar o desenvolvimento de projetos voltados para gramados, não haverá o reconhecimento da sociedade nem a valorização dos profissionais atuantes no setor. Verifica-se um desestímulo no desenvolvimento deste nicho de mercado no Brasil, o que é lamentável, pois a área é amplamente reconhecida nos países mais desenvolvidos.

Enfim, o presente trabalho é uma tentativa de auxiliar o fomento de pesquisa científica na área de gramados, pois o Brasil não tem apresentado muitos trabalhos correlatos à área.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A ET_o , ET_c e ER apresentaram o mesmo padrão visual na distribuição de frequência em cor para as séries decendiais.
- Não se observou qualquer padrão visual na distribuição de frequência em cor para o A_L e Def , tanto nas séries diárias quanto decendiais.
- A simulação de irrigação no balanço hídrico agrícola evidenciou que o volume de água complementar demandada pela cultura da grama-batatais é pequena e irregular na região de Curitiba, sendo desaconselhado o uso de irrigação com lâmina d'água fixa, para não ocasionar desperdício de água.

REFERÊNCIAS

- ADAMUCHIO, J. G. **Respostas de um Balanço Hídrico Devido às Periodicidades e Equações de Estimativa do Armazenamento da Água no Solo**. 253p. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. & SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines For Computing Crop Water Requirements**. 1.ed. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p.
- ARAUJO, M. A.; SOUZA, J. L. M.; BRONDANI, G. E. & PAULETTI, V. **Sistemas de Manejo e Relações Hídricas do Solo na Produtividade da Cultura da Soja**, em Ponta Grossa - Paraná. Scientia Agraria, v. 10, n. 5, p. 403-412, 2009.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.; **Manual de Irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 2006, 625p.
- CALGARO, M.; ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X. & BERNARDON, T. **Variação Espaço-temporal dos parâmetros para a Modelagem Estocástica de Precipitação Pluvial Diária no Rio Grande do Sul**. Engenharia agrícola, Jaboticabal, 29:196-206, 2009.
- CARRIBEIRO, L.S.; **Potencial de Água no Solo e Níveis de Compactação para o Cultivo de Grama Esmeralda**. Universidade estadual paulista, faculdade de ciências agrônômicas. Jaboticabal – São Paulo, 2010.
- CARROW, R. N.; **Drought Resistance Aspects of Turfgrasses in the Southeast: ET and Crop Coefficients**. Crop Science, Griffin, v. 35, p. 1685-1690, 1995.
- CORREIA, A.A.D.; **Bioquímica nos Solos, nas Pastagens e Forragens**. Lisboa: Editora Fundação Calouste Gulbenkian, 1983.
- DACOSTA, M.; HUANG, B.; **Minimum water requirements for creeping, colonial, and velvet bentgrasses under fairway conditions**. Crop Science, Madison, v. 46, p. 81-89, 2005
- DOURADO NETO, D.; LIER, Q.J.V.; **Estimativa do Armazenamento de Água no Solo Para Realização de Balanço Hídrico**. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, v. 17,n. 1, p. 9-15, 1993
- FARIA, R. T.; COSTA, C. S.; **Tensiômetro: construção, instalação e utilização – um aparelho simples para se determinar quando irrigar**. Londrina: IAPAR, 1987. 24 p
- FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A. e FRIZZONE, J. A.. **Probabilidade de Ocorrência de Déficit Hídrico na Região de Dourados, MS**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.3, p.558-562, 2001.

FERNANDES, D.A.; GOBBO, S.D.A.; SUHET, M.I.; AMARAL, A.A.; **Uso da água e Sustentabilidade da Agricultura**. Revista Verde (Mossoró – RN - BRASIL), v. 8, n. 5, p. 101 - 107, (Edição Especial) dezembro, 2013.

FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A.; **Plantas Forrageiras**. Viçosa: Editora UFV, 2011, p. 150-154.

FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; BARBOSA, J. G.; MIRANDA, G. V.; MACHADO, A. F. L. **Eficiência do triclopyr no controle de plantas daninhas em gramado (*Paspalum notatum*)**. Planta Daninha, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 159-164, 2003

GERSTEMBERGER, E. **Caracterização das Relações Hídricas e Ajuste de Modelos de Produção Água-Cultura Para Cana-De-Açúcar (*Saccharum Spp.*) na Região de Paranavaí-PR**. Curitiba, 2012. 102p. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GURSKI, B.C.; **Funções e Modelos Destinados ao Estudo e Estimativa das Relações Hídricas Para o Aprimoramento do Balanço Hídrico Agrícola** Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014

JERSZURKI, D. **Caracterização das Relações Hídricas para a Cultura do *Pinus taeda* no Município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná**. Curitiba, 2013. 90p. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

JIA, X; DUKES, M.D.; JACOBS, J.M.; **Bahiagrass Crop Coeficientes From Eddy Correlation Measurements In Central Florida**. Irrigation Science, v.28, p.5-15, 2009.

LORENZI, H. SOUZA, H.M.; **Plantas Ornamentais no Brasil: Arbustivas, Herbáceas e Trepadeiras**. 4. Ed Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008.

MAACK, R.; **Geografia física do estado do Paraná**. ed. 3. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440 p.

MAEDA, J.A.; PEREIRA, M.F.D.A.; **Caracterização, Beneficiamento e Germinação de Sementes de *Paspalum notatum* Flüggé**. Revista Brasileira de Sementes, 19(1), 100-5, 1997.

MELO, H.C; CASTRO, E.M.; SOARES, A.M.; MELO, L.A.; ALVES, J.D.; **Alterações Anatômicas e Fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf e *Paspalum paniculatum* L. sob Condições de Déficit Hídrico**. Hoehnea 34(2): 145-153, 2007.

NETO, J.G. **Formas práticas de manejo de irrigação**. II SIGRA – Simpósio sobre gramados. Botucatu, SP. Manejo de gramas na produção e em gramados formados. Anais. Botucatu: Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade estadual Paulista, 2004.

- NORTON, N. W. **Differences between species, in forage quality**. In: HACKER, J. B. (Ed.) Commonwealth agricultural. Bureaux: UK, 1982. p. 89-110
- NUNES, J. S. N.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; FIER, I. S. N. & SANTOS, C. C. **Climatologia do Comportamento da Precipitação no Distrito Florestal de Monte Alegre, PR**, Brasil Revista Floresta 39:783-792, 2009.
- PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N. A. & SEDYIAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração. Piracicaba: ESALQ. 1997. 183p**
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R. & SENTELHAS, PC.; **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478p, 2002.
- PURDUM, E.D.; **Florida Waters: A Water Resources Manual From Florida's Water Management District**. Southwest Florida Water Management District, Brooksville, 2002.
- REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- ROMERO, C. C.; DUKES, M. D. **Ornamental plant evapotranspiration and crop coefficient: literature review**. Gainesville: University of Florida, 2009. 10p
- SANTIAGO, A. V.; PEREIRA, A.R.; FOLEGATTI, M. V.; MAGGIOTO, S. R.: **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, RS, v. 10, n.1, p. 57-66, 2002.
- SAMPAIO, S.C.; QUEIROZ, M.M.F.; FRIGO, E.P; LONGO, A.J. & SUSZEK, M.; **Estimativa e Distribuição de Precipitações Decendiais para o Estado do Paraná**. Irriga, 12:38-53, 2007.
- SCHERAIBER, C. F. **Adaptação metodológica para a estimativa e caracterização das relações hídricas como suporte ao planejamento agrícola**. Curitiba, 2012. 153p Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SILVA, D. F; **Análise Quantitativa e Qualitativa do Crescimento e Desenvolvimento da Grama-batatais e da Grama-esmeralda em Diferentes Lâminas de Irrigação**. Viçosa, MG UFLA, 2004.
- SILVA, D. F.; OLIVEIRA, R.A.; MELO, F.A.O.; PEREIRA, O.G.; COSTA, L.G.; **Influência de Distintas Lâminas de Irrigação no Desenvolvimento e na Qualidade Visual da Grama-batatais**. Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 1, 2010, pp. 43-48 2011.
- SOUZA, J. L. M. Programa MORETTI - **Módulo Balanço Hídrico Sequencial (Periodicidade: 1, 5, 7, 10, 15 e 30 dias), Versão 1.0**. Curitiba: DSEA/SCA/UFPR, 2008.

SOUZA, J. L. M. & FRIZZONE, J. A. **Modelo Aplicado ao Planejamento da Cafeicultura Irrigada. I. Simulação do Balanço Hídrico e do Custo com Água.** Acta Scientiarum Agronomy, v. 25, n. 01, p. 103-112, 2003.

SOUZA, J. L. M. & FRIZZONE, J. A. **Simulação do Balanço Hídrico Para a Cultura do Cafeeiro nas Regiões de Lavras e Uberlândia.** Scientia Agraria, v. 8, n. 3, p. 291-301, 2007.

SOUZA, J. L. M. & GOMES, S. **Avaliação e desempenho de equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista.** Acta Scientiarum Agronomy, v. 29, n. 04, p. 433-443, 2007.

SOUZA, J. L. M. & GOMES, S. **Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo.** Acta Scientiarum Agronomy, v. 30, n. 2, p. 153-163, 2008

SOUZA, J.L.M.; TRENTIN, C.V.; **Planejando o Uso de Águas Residuárias para Irrigação na Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, com um Balanço Hídrico Climatológico Decendial.** Acta Sci. Agron. Maringá, v. 29, supl., p. 599-609, 2007

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. **The water balance.** Centerton: Laboratory of Climatology, 1955.

TURGEON, A. J. **Turfgrass management.** Virginia Reston: Reston Publishing Company, 1980. p. 68-69

ZANONI, M.E. & PIRES, E.C.; **Situação Atual e Perspectivas do Mercado de Grama no Brasil.** V Simpósio sobre gramados Botucatu, SP 2010.

APÊNDICE 1 – ESTIMATIVA DA ET_o (MM DIA⁻¹) COM O MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

A estimativa da ET_o (mm dia⁻¹) com o método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO (Allen et al., 1998), foi realizada com a equação:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma_{psy} \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma_{psy} \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

Sendo: ET_o – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n – radiação líquida na superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ_{psy} – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T – temperatura média do ar (°C); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa).

A constante psicrométrica (γ_{psy}) foi obtida por meio da seguinte equação:

$$\gamma_{psy} = a_{psy} \cdot P$$

Sendo: γ_{psy} – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); a_{psy} – coeficiente dependente do tipo de ventilação do bulbo úmido ($a_{psy} = 0,0008$ °C⁻¹ para psicrômetros de ventilação natural); P – pressão atmosférica (kPa).

A determinação da pressão atmosférica (P) partiu de uma simplificação da lei do gás ideal, assumindo a temperatura de 20 °C para atmosfera padrão:

$$P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26}$$

Sendo: P – pressão atmosférica (kPa); Z – altitude (m).

O cálculo da pressão de vapor (e_s) foi realizado utilizando-se a seguinte equação:

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2}$$

Sendo: e_s – pressão de saturação do vapor (kPa); $e^o(T_{max})$ – pressão de saturação do vapor com base na temperatura máxima diária do ar (kPa); $e^o(T_{min})$ – pressão de saturação do vapor com base na temperatura mínima diária do ar (kPa).

A pressão de saturação do vapor a uma temperatura “ T ” do ar [$e^o(T)$] foi obtida por meio da seguinte equação:

$$e^o(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$

Sendo: $e^o(T)$ – pressão de saturação do vapor a uma temperatura “ T ” do ar (kPa); T – temperatura do ar ($^{\circ}C$); $\exp(\dots)$ – base do logaritmo neperiano (2,7183) elevada a potência (adimensional).

A declinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ) foi obtida por meio da seguinte relação:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e^o(T_{med})}{(T_{med} + 237,3)^2}$$

Sendo: Δ – declinação da curva de pressão de saturação do vapor ($kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$); $e^o(T_{med})$ – pressão de saturação do vapor com base na temperatura média diária do ar (kPa); T_{med} – temperatura média diária do ar ($^{\circ}C$).

A pressão atual do vapor (e_a) foi determinada a partir de dados diários de umidade relativa média do ar:

$$e_a = \frac{UR_{med}}{100} \cdot \left[\frac{e^o(T_{máx}) + e^o(T_{mín})}{2} \right]$$

Sendo: e_a – pressão atual do vapor (kPa); UR_{med} – umidade relativa média diária do ar (adimensional); $e^o(T_{máx})$ – pressão de saturação do vapor com base na temperatura máxima diária do ar (kPa); $e^o(T_{mín})$ – pressão de saturação do vapor com base na temperatura mínima diária do ar (kPa).

Conhecendo-se o valor de e_a , foi possível obter a temperatura do ponto de orvalho (T_{dew}) por meio da inversão da equação de Tétens, isolando T_{dew} e com isso obtendo a seguinte equação:

$$T_{dew} = \frac{237,3 \cdot \ln e_a + 116,9889}{16,777 - \ln e_a}$$

Sendo: T_{dew} – temperatura do ponto de orvalho do ar ($^{\circ}\text{C}$); e_a – pressão atual do vapor (kPa).

A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) para períodos diários foi estimada por meio da seguinte equação:

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s)]$$

Sendo: R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$); G_{sc} – constante solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$; $G_{sc} = 0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$); d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

A distância relativa Terra-Sol (d_r) e a declinação solar (δ) foram obtidas por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right)$$

Sendo: d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); δ – declinação solar (radianos); J – dia juliano.

O ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (ω_s) foi obtido por:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)]$$

Sendo: ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

A radiação solar incidente (R_s) foi medida na estação climatológica instalada em Curitiba, no estado do Paraná, com altitude média de 935 m, nas coordenadas 25,4333 graus de latitude Sul e 49,2666 graus de longitude Oeste.

A radiação solar em céu sem nuvens R_{so} ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), foi calculada com a expressão:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} Z) \cdot R_a$$

Sendo: R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Z – altitude do local (m); R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns}) foi calculado com a expressão:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s$$

Sendo: R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); α – albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética (adimensional, $\alpha = 0,23$); R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Assumindo que outros materiais como o CO_2 e a poeira, os quais absorvem e emitem ondas longas estão em concentração constante, à equação utilizada para aferir o saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) foi a seguinte:

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left[\frac{(T_{max})^4 + (T_{min})^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

Sendo: R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); σ – constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_{max} – temperatura máxima absoluta registrada no período de 24 horas (K); T_{min} – temperatura mínima absoluta registrada no período de 24 horas (K); e_a – pressão atual do vapor (kPa); R_s/R_{so} – radiação relativa de ondas curtas (limitada para $\leq 1,0$); R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação (R_n) foi obtido pela seguinte equação:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Sendo: R_n – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A FAO (Allen et al., 1998) considera o fluxo de calor no solo (G) igual a zero para períodos diários. No entanto, Pereira et al. (1997) afirmam que se a temperatura média dos três dias anteriores ($T-3d$) estiver disponível, então é possível calcular G por meio da relação empírica:

$$G = 0,38 \cdot (T_d - T_{-3d})$$

Sendo: G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_d – temperatura média do dia ($^{\circ}\text{C}$); T_{-3d} – temperatura média dos três dias anteriores ($^{\circ}\text{C}$).

LITERATURA CITADA

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Roma: FAO, p. 301. 1998.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A. & SEDYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: ESALQ, 1997.