

Artigo Técnico

Avaliação de hidrorretentores produzidos com cascas de frutos

Evaluation of water-retaining materials made from fruits peels

Gustavo Lazarini Forreque^{1*} , Aurélio Azevedo Barreto Neto¹ 

RESUMO

Polímeros hidrorretentores baseados em acrilamida são utilizados na agricultura para aumentar a retenção de água em solos, e o elevado custo e a baixa biodegradabilidade podem ser aspectos negativos quanto à disseminação do uso desse produto. O presente trabalho avaliou hidrorretentores experimentais feitos com cascas de laranja, maracujá e café, materiais de baixo custo e elevada biodegradabilidade. Os materiais experimentais foram caracterizados quanto à capacidade de absorção e reabsorção de água, assim como a retenção de água desses materiais misturados com solo natural. A capacidade de absorção dos hidrorretentores de laranja e maracujá foi de 12,5 g.g⁻¹, e do de café, 6,6 g.g⁻¹, enquanto o hidrorretentor de acrilamida (usado para comparação) apresentou capacidade de absorção igual a 293 g.g⁻¹. Diferentemente do hidrorretentor de acrilamida, os hidrorretentores experimentais apresentaram baixa capacidade de reabsorção de água. Os hidrorretentores de laranja e maracujá proporcionaram significativa elevação na retenção de água em solos naturais para um período de até 32 dias após a aplicação dos hidrorretentores, enquanto o material de café fez o mesmo por um período de até 24 dias. Os hidrorretentores produzidos com cascas de frutas apresentaram potencialidade para serem utilizados como condicionadores de solo de ação relativamente breve.

Palavras-chave: agricultura; conservação da água; hidrorretentores; sustentabilidade.

ABSTRACT

Acrylamide-based superabsorbent polymers are used in agriculture to increase water retention in soils, although the high cost and low biodegradability may be negative aspects for the widespread use of these products. The present work evaluated experimental water-retaining materials made from the peels of orange, passion fruit and coffee, low cost and highly biodegradable materials. The experimental materials were characterized for water absorption and resorption capacity as well as water retention of these materials mixed with natural soil. The absorption capacity of orange and passion fruit materials was 12.5 g.g⁻¹ and coffee 6.6 g.g⁻¹, while the acrylamide polymer (used for comparison) had an absorption capacity of 293 g.g⁻¹. In contrast to the acrylamide-based polymer, the experimental materials had low water resorption capacity. The orange and passion fruit water-retaining materials provided a significant increase in water retention in natural soils for a period of up to 32 days after the application of the materials, while the coffee material did the same for a period of up to 24 days. The water-retaining materials made with fruit peels showed potential for being used as soil conditioners of relatively short action.

Keywords: agriculture; water conservation; water-retaining materials; sustainability.

INTRODUÇÃO

Considerando que atualmente a água se apresenta como recurso crítico e escasso em diversas partes do mundo, o aumento da população estimada para 2050 (9,7 bilhões de pessoas) colocará o uso dos recursos hídricos sob intensa pressão (MARSILY; ABARCA-DEL-RIO, 2016; ONU, 2017). Portanto, a adoção de tecnologias sustentáveis de conservação e manejo de água constitui estratégia fundamental para a preservação e/ou otimização do seu uso (LACERDA; CÂNDIDO, 2013).

A produção de alimentos é o maior consumidor de água no mundo, sendo responsável por 70% desse consumo (TURNER *et al.*, 2004). Diversas técnicas utilizadas

na agricultura resultam na conservação de água, podendo-se destacar a aplicação de polímeros hidrorretentores — também chamados de polímeros superabsorventes, entre outras denominações — em solos (DEHKORDI, 2016). Esses materiais possuem grande capacidade de retenção de água, liberando umidade para o solo conforme ele seca. Os principais polímeros hidrorretentores utilizados hoje na agricultura são derivados da acrilamida, apresentando baixa biodegradabilidade, de forma que o uso disseminado desses hidrorretentores pode acarretar a poluição ambiental (MARCÍ *et al.*, 2006). Ainda, a utilização dos hidrorretentores à base de acrilamida é desfavorecida pelo elevado custo desses materiais (MAGALHÃES *et al.*, 2013).

¹Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Vitória (ES), Brasil.

*Autor correspondente: gforreque@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflito de interesses.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 29/10/2019 - **Aceito:** 24/02/2020 - **Reg. ABES:** 20190349

De acordo com Amiri *et al.* (2017), nos últimos anos, o esforço no desenvolvimento de novos polímeros hidrorretentores tem sido conseguir transformar massa orgânica (biomassa) em hidrorretentores ambientalmente amigáveis e sustentáveis. Nesse contexto, diversos estudos desenvolveram hidrorretentores à base de pectina, um polímero natural (um polissacarídeo) que possui a propriedade de reter água em estruturas gelificadas (ALIMARDAN; DARABI; NATORI, 2014; COSTA; FERREIRA; CRUZ, 2016).

A pectina ocorre em quantidades importantes nas cascas dos frutos laranja, maracujá e café (PRUTHI, 1963; PANDEY *et al.*, 2000; CANTERI *et al.*, 2012). O Brasil é o principal produtor mundial desses frutos, e o processamento industrial desses produtos agrícolas resulta no descarte de suas cascas, gerando milhares de toneladas desses resíduos todos os anos (SEBRAE, 2015). Dessa forma, esses resíduos podem ser considerados matéria-prima abundante e acessível para qualquer processo que faça aproveitamento deles.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar hidrorretentores sustentáveis produzidos com cascas de laranja, maracujá e café, e compará-los com um material de referência (polímero hidrorretentor baseado em acrilamida).

METODOLOGIA

As cascas frescas de laranja e maracujá (epicarpo e mesocarpo do fruto) foram extraídas de frutos maduros. A laranja (*Citrus sinensis*) utilizada corresponde à variedade pera e o maracujá, à variedade maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). A casca de café seca (exocarpo, mesocarpo e endocarpo do fruto) foi obtida junto a beneficiadores que processam o café arábica (*Coffea arabica*) pela via seca. O hidrorretentor de acrilamida usado consiste no produto Forth Gel para Plantio, que é composto de copolímero reticulado de acrilamida e acrilato de potássio. O ácido cítrico (em pó, distribuído pela empresa Armazém Suíço) e a cal (óxido de cálcio) utilizados são de qualidade comercial. Utilizou-se solo natural classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, coletado na profundidade de 10 cm, peneirado e homogeneizado.

Para a fabricação do que foi denominado pó de casca de laranja, em 1 L de água potável, adicionaram-se 400 g de cascas de laranja e 20 g de ácido cítrico, sendo tudo triturado e misturado com uso de liquidificador. Todo esse material cozinhou sob temperatura de 100°C durante 1 hora, sendo então secado em estufa a 60°C até atingir massa constante. Por fim, o material foi triturado e peneirado, até atingir granulometria inferior a 1 mm, e, então, foi armazenado a 4°C. A fabricação do pó de casca de maracujá seguiu os mesmos procedimentos, enquanto a fabricação do pó de casca de café utilizou 100 g da casca de café seca.

A formação dos hidrorretentores de laranja, maracujá e café ocorre com a reação da pectina — existente nos diferentes pós de casca de frutas — mais o Ca²⁺, disponibilizado pela cal em água. Tanto 1 g do hidrorretentor de laranja quanto 1 g do hidrorretentor de maracujá é composto de 83% de pó de casca de fruta e 17% de cal, enquanto 1 g do hidrorretentor de café é constituído de 71% de pó de casca de café e 29% de cal.

Para a preparação desses hidrorretentores, o pó de casca de fruta foi misturado em 200 mL de água e deixado em repouso por 24 h, permitindo a solubilização da pectina, e então a suspensão da cal foi adicionada em 200 mL de água, agitando a mistura manualmente durante 30 segundos. Posteriormente, os hidrorretentores já formados foram deixados em repouso por 24 h, procedimento aqui denominado como hidratação dos hidrorretentores.

Ensaio de hidratação-secagem-reidratação

Para os hidrorretentores experimentais (laranja, maracujá e café), foram utilizadas amostras com 10 g de massa seca, enquanto para o hidrorretentor de acrilamida, as amostras continham 1 g de massa seca. Todos os hidrorretentores foram preparados e hidratados em 400 mL de água destilada.

Para se determinar a quantidade de água retida pelos hidrorretentores, foi utilizado o método gravimétrico, que consiste em pesar uma amostra de hidrorretentor antes e após a hidratação do material, e a diferença entre a massa do hidrorretentor hidratado e a massa do hidrorretentor seco corresponde à massa de água retida. A capacidade de absorção foi calculada dividindo-se a massa de água retida pela massa seca do hidrorretentor.

Após a hidratação em água destilada durante 24 h, amostras dos hidrorretentores foram dispostas em filtros, que foram mantidos em suspensão por 1 h, permitindo a drenagem da água livre. Posteriormente, a unidade amostral formada pelo filtro e hidrorretentor foi pesada, obtendo-se a massa do hidrorretentor hidratado.

Então, a unidade amostral foi seca em estufa a 60°C até atingir massa constante. Depois de seca, a unidade amostral foi lacrada com cola quente, formando-se um sachê que aprisionou o hidrorretentor em seu interior. A unidade amostral foi pesada e obteve-se a massa seca do hidrorretentor.

Para a reidratação, as unidades amostrais foram mantidas submergidas em recipientes contendo 2 L de água destilada durante 24 h, e os diferentes tipos de hidrorretentores foram mantidos em diferentes recipientes (para se evitar qualquer tipo de interferência referente aos diferentes tipos de materiais). Posteriormente, as unidades amostrais foram drenadas e pesadas, obtendo-se a massa do hidrorretentor reidratado. Cinco ciclos de hidratação foram realizados, com as amostras em triplicata.

As massas seca e molhada do filtro eram conhecidas e foram subtraídas das pesagens, sendo o mesmo válido para a massa da cola aplicada às unidades amostrais. Para se obter a massa molhada do filtro, o material foi pesado após ter sido submergido em água por três minutos e então suspenso pelo mesmo tempo, permitindo a drenagem da água em excesso. Todas as pesagens foram realizadas com balanças eletrônicas.

Ensaio com solos

Unidades experimentais constituídas de 300 g (seco) de solo natural misturado com hidrorretentor foram irrigadas e deixadas secar por oito dias, e a diferença da massa das unidades experimentais saturadas (após irrigação) e após o período de secagem mostrou o comportamento da umidade em solos naturais em função dos diferentes hidrorretentores. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram nos diferentes hidrorretentores misturados ao solo, e os tratamentos hidrorretentor laranja, hidrorretentor maracujá e hidrorretentor café utilizaram 10 g (massa seca) desses materiais, enquanto o tratamento hidrorretentor acrilamida utilizou 0,5 g (massa seca). O tratamento controle consistiu no solo puro.

As unidades experimentais utilizaram recipientes plásticos transparentes de 750 mL. Os recipientes tinham seus fundos furados, permitindo a drenagem de água livre, e um filtro disposto no fundo do recipiente impedia o escape de sólidos. Na montagem das unidades experimentais, os hidrorretentores foram aplicados já hidratados, e após misturá-los ao solo, as unidades experimentais foram irrigadas. Os hidrorretentores foram hidratados em 400 mL de água. A massa do recipiente era conhecida e foi subtraída das pesagens.

A irrigação foi realizada com a aplicação de 400 mL de água, de forma a proporcionar a saturação das unidades experimentais, que, posteriormente, foram drenadas por gravidade pelo período de 1 h e, em seguida, pesadas. Oito ciclos de irrigação e secagem foram realizados, obtendo-se uma massa da unidade experimental na etapa inicial do ciclo (após a irrigação) e uma massa da unidade experimental na etapa final do ciclo (oito dias após a irrigação). Todos os procedimentos desse ensaio utilizaram água do sistema de abastecimento. As unidades experimentais foram mantidas todas juntas, em local abrigado, à sombra, e ventilado, e submetidas à temperatura ambiente.

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio do teste de análise de variância (ANOVA) seguido pelo teste de Tukey, ambos ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de hidratação-secagem-reidratação

Os resultados do ensaio de hidratação-secagem-reidratação, em função da massa seca do hidrorretentor e da massa de água retida em cada ciclo de hidratação, são apresentados na Tabela 1.

Os hidrorretentores experimentais (laranja, maracujá e café) perderam massa em todos os ciclos de hidratação, e nos hidrorretentores de laranja e maracujá, a maior variação da massa ocorreu no 2º ciclo de hidratação, quando a massa seca do hidrorretentor foi 49% menor que no ciclo de hidratação anterior para o material de laranja e 39% menor para o hidrorretentor de maracujá. No hidrorretentor de café, a maior perda de massa foi verificada no 3º ciclo de hidratação, quando o hidrorretentor perdeu 21% da massa em relação ao ciclo anterior — no 2º ciclo de hidratação, a massa seca do hidrorretentor de café foi 10% inferior que a massa do ciclo anterior.

Comparando-se a massa seca do hidrorretentor entre o último e o primeiro ciclo de hidratação, verifica-se que o hidrorretentor de laranja foi o hidrorretentor que perdeu a maior quantidade de massa, e esse material perdeu 70% da

massa aplicada inicialmente. O hidrorretentor de maracujá perdeu 58%, enquanto o de café perdeu 46% da massa utilizada no início do ensaio. Diferentemente dos hidrorretentores experimentais, o hidrorretentor de acrilamida apresentou variação muito pequena em sua massa seca, constatando-se perda de massa de 3% quando comparados o primeiro e o último ciclo de hidratação.

Em todos os ciclos de hidratação, verificou-se o surgimento de cor na massa de água na qual as amostras foram submergidas, de forma que a explicação para a diminuição da massa seca dos hidrorretentores experimentais a cada hidratação é a solubilização de determinados componentes presentes nos hidrorretentores de laranja, de maracujá e de café.

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de hidratação-secagem-reidratação em função da capacidade de absorção (massa de água retida pela unidade de massa do hidrorretentor — g.g⁻¹), enquanto a Figura 1 ilustra esses resultados com a indicação dos desvios padrões associados.

No primeiro ciclo de hidratação, os hidrorretentores de laranja e de maracujá apresentaram retenção de água muito similar e foram superiores ao hidrorretentor de café, absorvendo cerca de 90% mais água que o material feito com a casca de café. Yoshimura, Sengoku e Fujioka (2005) avaliaram um polímero hidrorretentor feito de pectina reticulada por Ca²⁺ e verificaram capacidade de absorção, em água destilada, igual a 200 g.g⁻¹, muito superior ao desempenho dos hidrorretentores experimentais do presente estudo.

Posteriormente ao primeiro ciclo de hidratação, pode-se dizer que o desempenho dos hidrorretentores de laranja, maracujá e café foram semelhantes do segundo ciclo de hidratação em diante, considerando-se que, após a primeira secagem, os valores de absorção de água nesses hidrorretentores experimentais se reduziram (passando a ocupar um mesmo patamar da segunda a quinta hidratação) e permaneceram abaixo da metade da capacidade de absorção observada na primeira hidratação. Para o material de laranja, a média das absorções da segunda a quinta hidratação é 4,6 g.g⁻¹, correspondendo a 36% da capacidade de absorção na primeira hidratação. Para o material de maracujá e de café, a média das absorções posteriores à primeira secagem é de 3,8 e 2,6 g.g⁻¹, o que corresponde a 30 e 39% da capacidade de absorção na primeira hidratação dos respectivos hidrorretentores.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de hidratação-secagem-reidratação.

Hidrorretentor	Primeira hidratação		Segunda hidratação		Terceira hidratação		Quarta hidratação		Quinta hidratação	
	MSH (g)	MAR (g)	MSH (g)	MAR (g)	MSH (g)	MAR (g)	MSH (g)	MAR (g)	MSH (g)	MAR (g)
Laranja	10,00	127,48	5,07	20,72	3,81	18,47	3,40	15,32	2,99	15,39
Maracujá	10,00	125,10	6,10	19,98	4,87	20,03	4,68	16,47	4,20	17,62
Café	10,00	66,50	8,96	20,42	7,06	18,29	5,99	15,60	5,40	15,28
Acrilamida	1,00	292,82	1,00	326,53	0,99	263,87	0,98	226,87	0,97	187,98

MSH: massa seca do hidrorretentor; MAR: massa de água retida.

Tabela 2 – Capacidade de absorção (g.g⁻¹) dos hidrorretentores.

Hidrorretentor	Primeira hidratação	Segunda hidratação	Terceira hidratação	Quarta hidratação	Quinta hidratação
Laranja	12,7	4,1	4,8	4,5	5,1
Maracujá	12,5	3,3	4,1	3,5	4,2
Café	6,6	2,3	2,6	2,6	2,8
Acrilamida	292,8	327,6	267,5	230,8	193,2

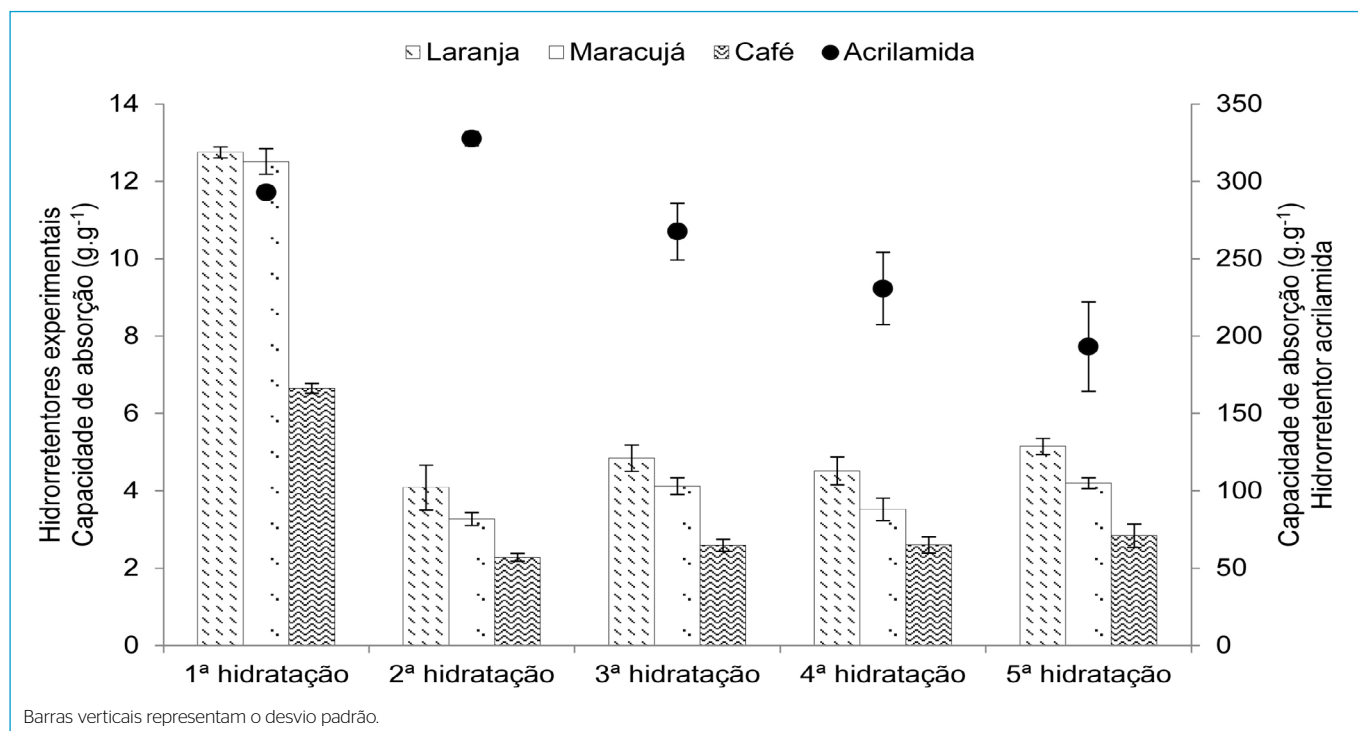


Figura 1 - Capacidade de absorção dos hidrorretentores de laranja, maracujá, café e acrilamida, conforme o ensaio de hidratação-secagem-reidratação.

Em contraste aos resultados obtidos no presente estudo, materiais hidrorretentores baseados em polissacarídeos naturais podem manter elevada capacidade de absorção de água após serem submetidos a ciclos de hidratação e secagem, conforme mostram o trabalho de Zhang e Xu (2017), que verificaram que polímeros hidrorretentores feitos com amilose e amilopectina foram capazes de manter até 90% da capacidade de absorção original após cinco ciclos de hidratação e secagem, e Ferfera-Harrar, Aouaz e Dairi (2016), que obtiveram, na quinta hidratação de polímero superabsorvente feito com quitosana, uma capacidade de absorção igual a 228 g.g⁻¹.

O hidrorretentor de acrilamida na segunda hidratação apresentou absorção de água 11% superior à da primeira hidratação, enquanto a terceira, quarta e quinta hidratações foram 9, 21 e 33%, respectivamente, inferiores à primeira hidratação. Saeidi *et al.* (2004) avaliaram polímeros superabsorventes baseados em acrilamida e constataram que as maiores absorções de água ocorreram posteriormente à primeira hidratação. Lima (2008) constatou, na quarta hidratação, reduções entre 44 e 51% em polímeros hidrorretentores baseados em poli(acrilamida), enquanto Bai, Song e Zhang (2013) observaram reduções de 18 a 24% para hidrogéis baseados em acrilamida e poli(acrilato de potássio) na quinta hidratação. Nesses dois trabalhos, as maiores absorções de água foram observadas na primeira hidratação.

A comparação da capacidade de absorção do hidrorretentor de acrilamida com os hidrorretentores experimentais evidencia a grande diferença observada entre esse primeiro material e os materiais feitos com cascas de frutas, conforme o ensaio de hidratação-secagem-reidratação: na primeira hidratação, a acrilamida foi 24 vezes superior ao material de laranja e maracujá e 44 vezes superior ao material de café; enquanto nas segunda, terceira, quarta e quinta hidratações, a acrilamida foi, respectivamente, 101, 70, 65 e 48 vezes superior aos três hidrorretentores experimentais (considerando uma média desses três hidrorretentores).

De acordo com An, Wang e Wang (2010), durante o processo de perda de água, os polímeros hidrorretentores têm as suas ligações cruzadas rompidas em alguma extensão, o que acarreta na alteração da capacidade de absorção desses materiais, sendo essa a provável explicação para a modificação na absorção de água dos hidrorretentores avaliados no presente estudo.

Ensaio com solos

A Tabela 3 apresenta a massa das unidades experimentais na etapa inicial dos oito ciclos de irrigação para os tratamentos com os diferentes hidrorretentores e o tratamento controle (solo puro), enquanto a Tabela 4 apresenta a massa das unidades experimentais na etapa final dos ciclos de irrigação.

Os valores apresentados nas Tabelas 3 e 4 referem-se à soma da massa dos elementos que formam a unidade experimental, sendo estas o solo, o hidrorretentor e a água retida. Subtraindo-se a massa do solo e dos hidrorretentores, é possível se estimar a massa de água contida nas unidades experimentais. Para o referido cálculo, a massa do hidrorretentor de acrilamida é pequena e pode ser considerada desprezível. Os resultados do ensaio de hidratação-secagem-reidratação mostraram que ocorre significativa perda de massa nos hidrorretentores experimentais, de forma que não é possível saber qual a verdadeira massa desses hidrorretentores nas unidades experimentais. Além da perda da massa de hidrorretentor que é solubilizada, espera-se que ocorra significativa biodegradação dos hidrorretentores experimentais. Portanto, para o cálculo da massa de água na discussão que se segue, foi adotada uma posição conservadora e considerou-se que a massa dos hidrorretentores experimentais era igual a 10 g em todas as etapas e ciclos de irrigação.

A Figura 2 apresenta a comparação entre os tratamentos hidrorretentor laranja e controle, exibindo os desvios padrões associados a esses resultados.

Tabela 3 - Massa das unidades experimentais (g) na etapa inicial dos ciclos de irrigação, conforme os resultados do ensaio com solos*.

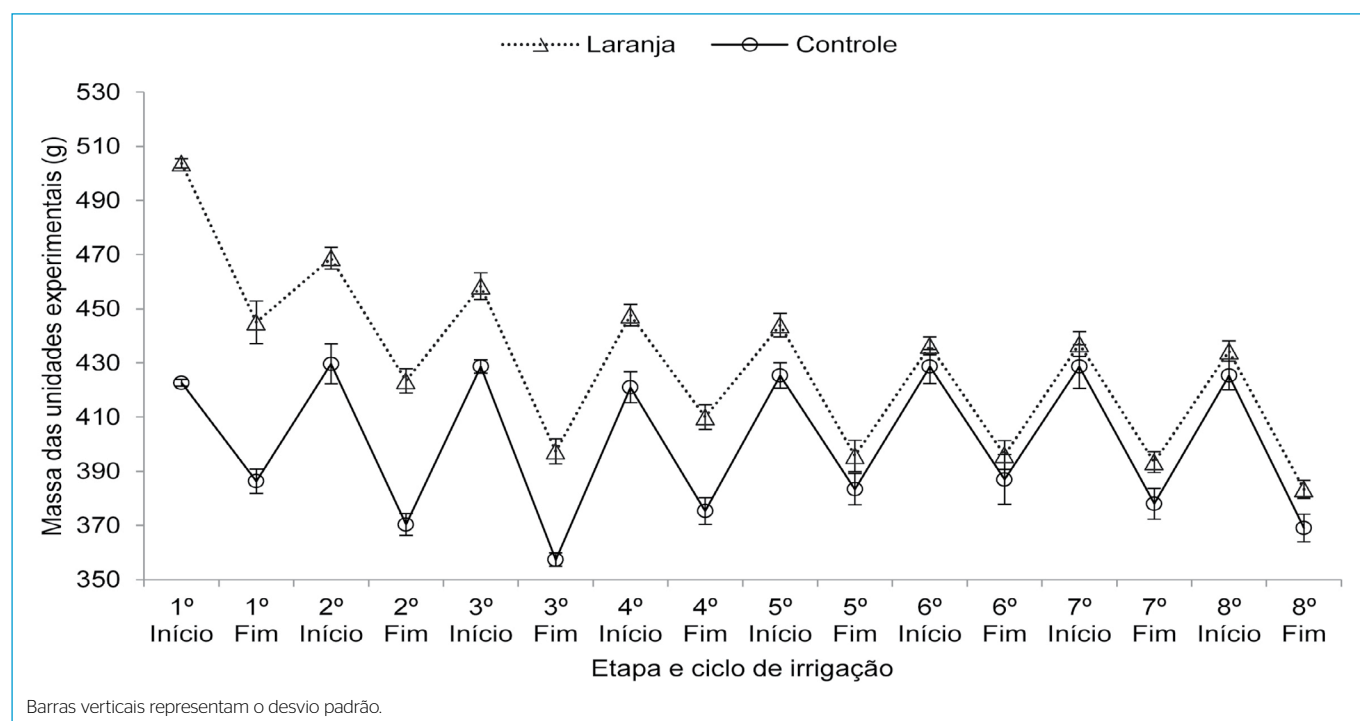
Tratamento	Ciclo de irrigação							
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Hidrorretentor laranja	504 Aa	469 Ab	458 Abc	448 Abc	444 ABc	436 ABc	437 ABc	434 ABc
Hidrorretentor maracujá	511 Aa	479 Ab	464 Abc	453 Accd	447 ABcde	438 ABde	428 Be	427 ABe
Hidrorretentor café	468 Ba	438 Bb	426 Bb	423 Bb	426 Bb	428 Bb	425 Bb	422 Bb
Hidrorretentor acrilamida	491 ABa	491 Aa	481 Aab	461 Abc	454 Ac	457 Abc	453 Ac	450 Ac
Controle	423 Ca	430 Ba	429 Ba	421 Ba	425 Ba	429 Ba	429 Ba	425 Ba

*Em cada coluna, valores seguidos pela mesma letra maiúscula não apresentaram diferenciação significativa, conforme o teste de Tukey a 5% de significância; da mesma forma, em cada linha, valores seguidos pela mesma letra minúscula não apresentaram diferenciação significativa.

Tabela 4 - Massa das unidades experimentais (g) na etapa final dos ciclos de irrigação, conforme os resultados do ensaio com solos*.

Tratamento	Ciclo de irrigação							
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Hidrorretentor laranja	445 Aba	423 Aab	397 ABcd	410 Abc	396 ABcd	396 ABcd	393 Accd	383 Ad
Hidrorretentor maracujá	462 Aa	434 Ab	408 Abc	417 Accd	401 ABcde	387 Bde	386 Ade	378 Ae
Hidrorretentor café	426 Ba	396 Bb	382 Bb	391 BCb	393 Bb	395 ABb	386 Ab	376 Ab
Hidrorretentor acrilamida	454 Aa	434 Aab	409 Abc	408 ABbc	419 Ac	417 Ac	400 Accd	383 Ad
Controle	386 Ca	370 Cabc	357 Cc	375 Cabc	383 Bab	387 Ba	378 Aabc	369 Aabc

*Em cada coluna, valores seguidos pela mesma letra maiúscula não apresentaram diferenciação significativa, conforme o teste de Tukey a 5% de significância; da mesma forma, em cada linha, valores seguidos pela mesma letra minúscula não apresentaram diferenciação significativa.

**Figura 2 - Comparação entre os tratamentos hidrorretentor laranja e controle, conforme os resultados do ensaio com solos.**

A comparação estatística entre a etapa inicial dos diferentes ciclos de irrigação mostra a existência de diferenças significativas entre o hidrorretentor laranja e o controle nos ciclos de irrigação 1 a 4, e nesses ciclos a massa da unidade experimental do tratamento com hidrorretentor foi superior em 19, 9, 7 e 6% ao tratamento controle, respectivamente. Um cálculo conservador quanto à massa de água nos referidos ciclos de irrigação (1 a 4) indica que na etapa inicial o hidrorretentor laranja reteve, no mínimo, 58, 22, 15 e 14%, respectivamente, mais água que o solo puro (controle).

Referente à etapa final, a comparação entre os tratamentos hidrorretentor laranja e controle indicou diferenças estatisticamente significativas entre as massas das unidades experimentais nos ciclos de irrigação 1 a 4, e nesses ciclos a massa da unidade experimental do tratamento com hidrorretentor foi superior em 15, 14, 11 e 9% ao tratamento controle, respectivamente. A análise conservadora quanto à massa de água demonstra que do primeiro ao quarto ciclo de irrigação o tratamento com o hidrorretentor reteve, no mínimo, 56, 61, 52 e 33% mais água que o controle, respectivamente.

A Figura 3 apresenta comparação entre os tratamentos hidrorretentor maracujá e controle, exibindo o desvio padrão associado. De acordo com o teste de Tukey, verificou-se a ocorrência de diferenças significativas entre as massas das unidades experimentais dos tratamentos hidrorretentor maracujá e controle na etapa inicial dos ciclos de irrigação 1 a 4. Nesses ciclos, a massa da unidade experimental no tratamento com o hidrorretentor foi superior ao tratamento controle em 21, 11, 8 e 8%, respectivamente. Calculando-se a massa de água, conservadoramente, constata-se que o tratamento com o hidrorretentor possuía, no mínimo, 64, 30, 20 e 18% mais água que o solo puro (controle) na etapa inicial dos ciclos de irrigação 1 a 4, respectivamente.

Quanto à etapa final dos ciclos de irrigação, a comparação estatística mostrou diferenças significativas entre os tratamentos maracujá e controle nos ciclos 1 a 4, e nesses ciclos a massa da unidade experimental no tratamento hidrorretentor maracujá foi superior ao tratamento controle em 20, 17, 14 e 11%, respectivamente. Uma análise conservadora da massa de água indica que, na etapa final do primeiro ao quarto ciclo de irrigação, o tratamento com o hidrorretentor reteve, no mínimo, 76, 76, 70 e 42% mais água que o tratamento controle, respectivamente.

A Figura 4 apresenta comparação entre os resultados do tratamento hidrorretentor café e do tratamento controle, exibindo o desvio padrão associado. A maioria dos resultados do tratamento hidrorretentor café e do tratamento controle apresentou valores semelhantes, e somente na etapa inicial do primeiro ciclo e na etapa final do primeiro ao terceiro ciclo de irrigação que ocorreram diferenças estatisticamente significativas. Na etapa inicial do primeiro ciclo de irrigação, a massa da unidade experimental no tratamento hidrorretentor café foi superior ao tratamento controle em 11%, enquanto na etapa final do primeiro, segundo e terceiro ciclos, a massa da unidade experimental do primeiro tratamento foi superior em 10, 7 e 7%, respectivamente, ao tratamento com o solo puro (controle).

Uma comparação conservadora da massa de água retida nos tratamentos hidrorretentor café e controle mostra que na etapa inicial do primeiro ciclo de irrigação o hidrorretentor café reteve, no mínimo, 29% mais água que o controle, enquanto na etapa final do primeiro, segundo e terceiro ciclos de irrigação, o tratamento com hidrorretentor possuía, no mínimo, 35, 23 e 25% mais água que o controle, respectivamente.

A Figura 5 apresenta a comparação entre os resultados do tratamento hidrorretentor acrilamida e do tratamento controle, exibindo o desvio padrão

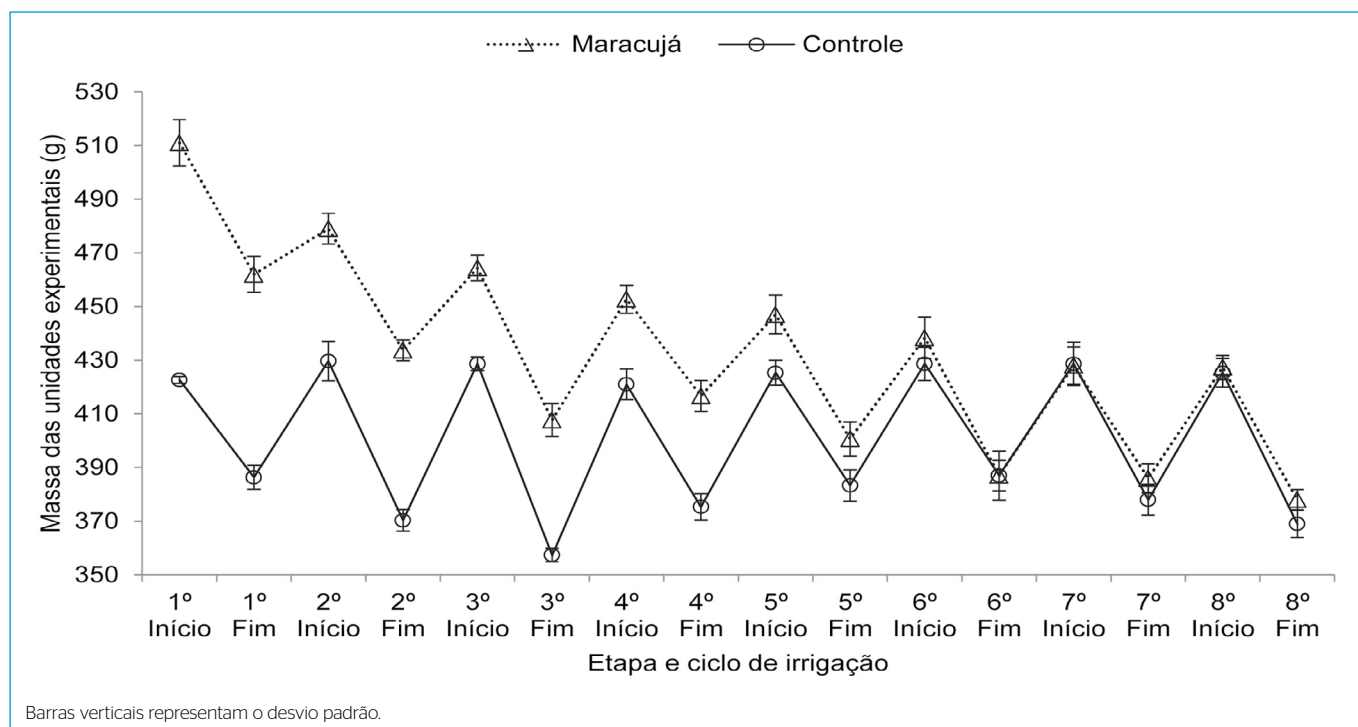


Figura 3 - Comparação entre os tratamentos hidrorretentor maracujá e controle, conforme os resultados do ensaio com solos.

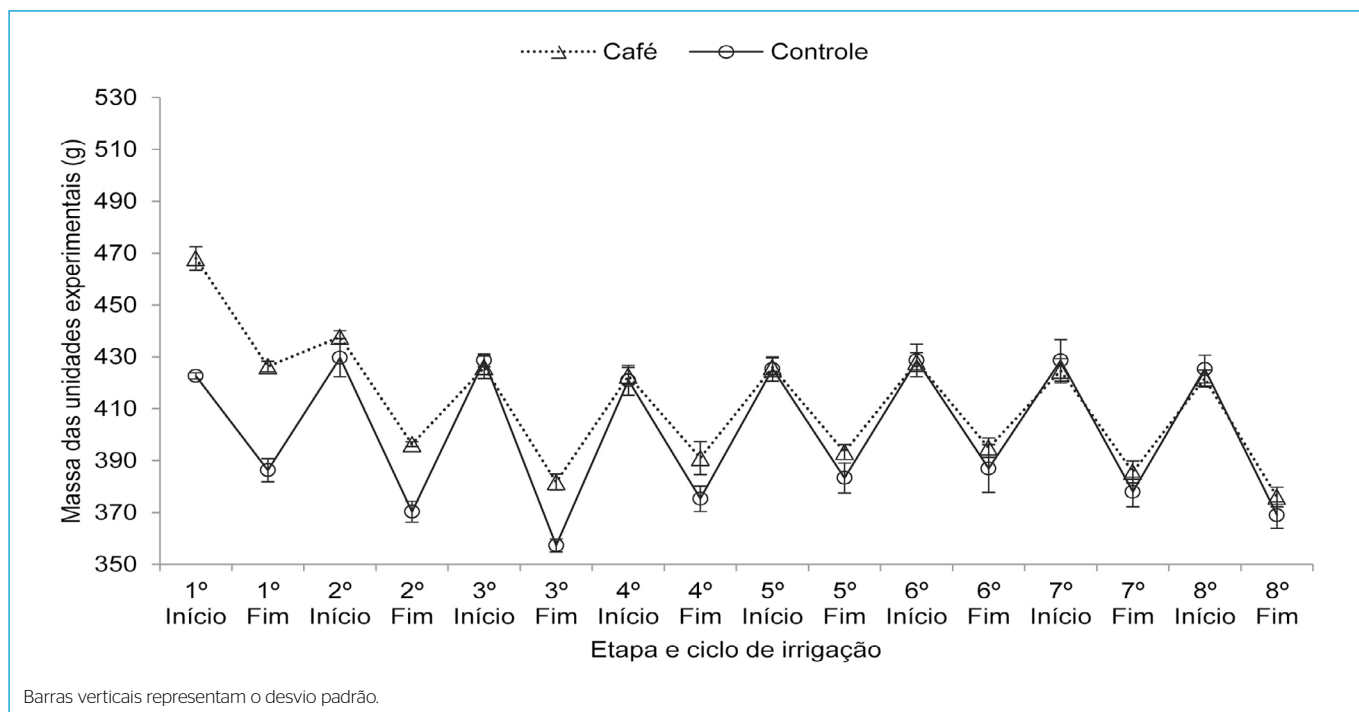


Figura 4 - Comparação entre os tratamentos hidrorretentor café e controle, conforme os resultados do ensaio com solos.

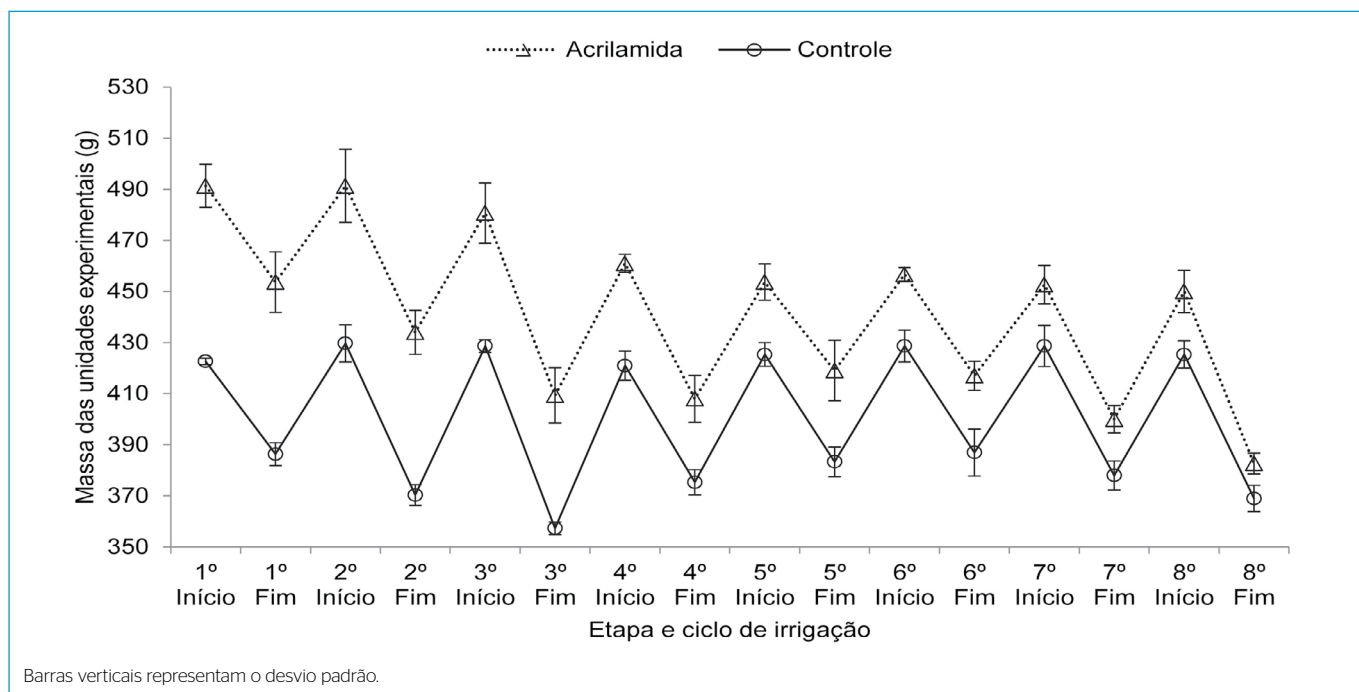


Figura 5 - Comparação entre os tratamentos hidrorretentor acrilamida e controle, conforme os resultados do ensaio com solos.

associado. Conforme a avaliação estatística realizada, os tratamentos hidrorretentor acrilamida e controle diferiram significativamente na etapa inicial de todos os oito ciclos de irrigação. Comparando-se a massa das unidades experimentais, observa-se que o tratamento com o hidrorretentor apresentou valores superiores ao tratamento controle em 16, 14, 12, 10, 7, 7, 6 e 6%,

respectivamente, na etapa inicial dos ciclos 1 a 8. Comparando-se a massa de água presente nas unidades experimentais, constata-se que na etapa inicial do primeiro ao oitavo ciclo de irrigação o tratamento hidrorretentor acrilamida possuía, respectivamente, 56, 48, 40, 33, 23, 22, 19 e 20% mais água que o tratamento controle.

Quanto à etapa final dos ciclos de irrigação, o tratamento hidrorretenor acrilamida apresentou diferença estatisticamente significativa do primeiro ao sexto ciclo de irrigação, e a massa da unidade experimental do tratamento com hidrorretenor foi superior ao tratamento controle em 17, 17, 15, 9, 9 e 8%, respectivamente. Avaliando-se a água retida nas unidades experimentais, verifica-se que na etapa final dos ciclos de irrigação 1 a 6 a massa de água no tratamento com o hidrorretenor foi 78, 91, 91, 43, 43 e 34% superior que no solo puro, respectivamente.

Os resultados para o hidrorretenor de acrilamida são semelhantes aos observados por Galeş *et al.* (2016), que avaliaram um polímero hidrorretenor composto de acrilamida e acrilato de potássio, e constataram que o tratamento constituído de solo mais hidrorretenor reteve significativamente mais água que o solo puro após 30 dias.

Os tratamentos hidrorretenor laranja e hidrorretenor maracujá apresentaram desempenho muito semelhante, de maneira que não houve diferença estatisticamente significativa entre esses dois tratamentos ao longo de todos os oito ciclos de irrigação, tanto na etapa inicial quanto na etapa final.

Considerando que os tratamentos hidrorretenor laranja, hidrorretenor maracujá e hidrorretenor acrilamida não diferiram estatisticamente entre si na etapa final do primeiro ao quarto ciclo de irrigação, e que esses tratamentos foram superiores ao tratamento controle nos quatro primeiros ciclos de irrigação, pode-se dizer que os tratamentos hidrorretenor laranja e hidrorretenor maracujá tiveram desempenho estatisticamente semelhante ao hidrorretenor acrilamida desde a etapa inicial do primeiro ciclo de irrigação até a etapa final do quarto ciclo de irrigação.

Conforme a comparação contra o tratamento controle, os resultados demonstram que o tratamento acrilamida foi o mais eficiente, seguido pelos tratamentos hidrorretenor laranja e hidrorretenor maracujá. O tratamento hidrorretenor café apresentou a menor eficiência entre os hidrorretenores.

CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos, conclui-se que cascas de laranja, maracujá e café podem ser utilizadas, integralmente, para a produção de

condicionadores de solo hidrorretenores de hidratação única, tendo em vista que os hidrorretenores retiveram quantidade significativa de água em sua primeira hidratação e que incrementaram a retenção de água em solo por tempo determinado.

Os hidrorretenores experimentais apresentaram elevada redução na capacidade de absorção após serem secos, indicando baixo potencial de reutilização, diferentemente do hidrorretenor comercial utilizado para comparação.

O ensaio com solos mostrou que os hidrorretenores de laranja e de maracujá tiveram desempenho semelhante ao hidrorretenor de acrilamida para um período de 32 dias após a aplicação dos hidrorretenores. Apesar de ter sido inferior aos demais hidrorretenores, o hidrorretenor de café propiciou o incremento na retenção de água em solo natural por 24 dias após a aplicação do hidrorretenor.

Os materiais hidrorretenores produzidos com cascas de frutas, especialmente os materiais feitos com laranja e maracujá, apresentaram potencialidade para serem utilizados como condicionadores de solo hidrorretenores de ação relativamente breve, com possível aplicação em culturas de ciclo curto ou, então, na fase inicial de culturas de ciclo longo.

Mesmo com desempenho inferior ao hidrorretenor comercial de acrilamida, os hidrorretenores experimentais podem representar alternativa interessante por serem acessíveis, e a principal matéria-prima (cascas de frutas) é abundante e pode ser adquirida de forma gratuita. Ressalta-se a vantagem de os hidrorretenores experimentais serem totalmente biodegradáveis.

O aproveitamento das cascas de frutas na forma de condicionadores de solo hidrorretenores pode se constituir em opção atraente e sustentável para a adequada gestão dos resíduos de laranja, maracujá e café descartados no processo produtivo, evitando, assim, que esses resíduos recebam destinação inadequada, que pode resultar em poluição e degradação ambiental.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Forreque, G.L.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Escrita – Primeira Redação. Barreto Neto, A.A.: Supervisão, Escrita – Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- ALIMARDAN, Z.; DARABI, M.; NATORI, R. Controlled release agrochemicals in agriculture with nanocomposite hydrogel. *International Journal of Biosciences*, v. 5, n. 11, p. 97-100, 2014.
- AMIRI, F. *et al.* Conversion Lignocellulosic Bagasse Biomass into Hydrogel. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, v. 29, n. 5, p. 453-465, 2017.
- AN, J.; WANG, W.; WANG, A. Preparation and swelling properties of a pH-sensitive superabsorbent hydrogel based on psyllium gum. *Starch/Stärke*, v. 62, n. 10, p. 501-507, 2010. <https://doi.org/10.1002/star.200900244>
- BAI, W.; SONG, J.; ZHANG, H. Repeated water absorbency of superabsorbent polymers in agricultural field applications: a simulation study. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, v. 63, n. 5, p. 433-441, 2013. <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.797488>
- CANTERI, M.H. *et al.* Pectin: from raw material to the final product. *Polimeros*, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000024>
- COSTA, M.P.M.; FERREIRA, I.L.D.M.; CRUZ, M.T.D.M. New polyelectrolyte complex from pectin/chitosan and montmorillonite clay. *Carbohydrate Polymers*, v. 146, p. 123-130, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.025>
- DEHKORDI, D.K. The Effects of Superabsorbent Polymers on Soils and Plants. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, v. 39, n. 3, p. 267-298, ago. 2016.
- FERFERA-HARRAR, H.; AOUAZ, N.; DAIRI, N. Environmental-sensitive chitosan-g-polyacrylamide/carboxymethylcellulose superabsorbent composites for wastewater purification I: synthesis and properties. *Polymer Bulletin*, v. 73, n. 3, p. 815-840, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00289-015-1521-2>

- GALEŞ, D.C. *et al.* Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. *Geoderma*, v. 267, p. 102-111, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.12.008>
- LACERDA, C.S.; CÂNDIDO, G.A. Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos. In: LIRA, W.S.; CÂNDIDO, G.A. (org.) *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 13-30. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-01.pdf>. Acesso em: 18 maio 2019.
- LIMA, A.P.D. *Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos superabsorventes a base de poli(acrilamida e vermiculita)*. 80f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/14091/1/2008_dis_apdlima.pdf. Acesso em: 1º set. 2019.
- MAGALHÃES, A.S.G. *et al.* Superabsorbent hydrogel composite with minerals aimed at water sustainability. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 24, n. 2, p. 304-313, 2013. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130039>
- MARCI, G. *et al.* Environmentally sustainable production of cellulose-based superabsorbent hydrogels. *Green Chemistry*, v. 8, n. 5, p. 439-444, 2006. <https://doi.org/10.1039/B515247J>
- MARSILY, G.; ABARCA-DEL-RIO, R. Water and food in the twenty-first century. In: CAZENAVE, A. *et al.* (org.) *Remote Sensing and Water Resources*. Cham: Springer, 2016. p. 313-337. (Space Sciences Series of ISSI, v. 55).
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Genebra: ONU, 2017. 46 p. Disponível em: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf. Acesso em: 6 abr. 2018.
- PANDEY, A. *et al.* Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, v. 6, n. 2, p. 153-162, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X)
- PRUTHI, J. Physiology, chemistry, and technology of passion fruit. *Advances in Food Research*, v. 12, p. 203-282, 1963. [https://doi.org/10.1016/s0065-2628\(08\)60009-9](https://doi.org/10.1016/s0065-2628(08)60009-9)
- SAEIDI, A. *et al.* Formulation design, optimization, characterization and swelling behaviour of a cationic superabsorbent based on a copolymer of [3-(methacryloylamino) propyl] trimethylammonium chloride and acrylamide. *Polymer International*, v. 53, n. 1, p. 92-100, 2004. <https://doi.org/10.1002/pi.1405>
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). *Agronegócio: Fruticultura - Boletim de Inteligência*. Brasil: SEBRAE, 2015. Disponível em: <https://bis.sebrae.com.br/bis/conteudoPublicacao.zhtml?id=5791>. Acesso em: 7 jun. 2019.
- TURNER, K. *et al.* *Economic valuation resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management*. Fao Water Reports 27. Roma: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 2004. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/007/y5582e/y5582e00.htm>. Acesso em: 27 jun. 2017.
- YOSHIMURA, T.; SENGOKU, K.; FUJIOKA, R. Pectin-based superabsorbent hydrogels crosslinked by some chemicals: synthesis and characterization. *Polymer Bulletin*, v. 55, n. 1-2, p. 123-129, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00289-005-0422-1>
- ZHANG, Y.; XU, S. Effects of amylose/amylopectin starch on starch-based superabsorbent polymers prepared by γ -radiation. *Starch/Stärke*, v. 69, n. 1-2, p. 1500294, 2017. <https://doi.org/10.1002/star.201500294>