



# Hydrogels in Brazilian Agriculture<sup>1</sup>

## *Hidrogel na agricultura brasileira*

João Luiz Lopes Monteiro Neto<sup>2\*</sup>, Wellington Farias Araújo<sup>3</sup>, Edvan Alves Chagas<sup>4</sup>, Raphael Henrique da Silva Siqueira<sup>5</sup>, Gabriela Almeida Oliveira<sup>6</sup>, Carlos Abanto-Rodriguez<sup>7</sup>

**Abstract:** The rational use of water is essential as it is a finite resource. Consequently, studies of methods that minimize water use are essential. As a result, agricultural hydrogels have been extensively tested as a means of promoting agriculture improvements because of their water- and nutrient-retention characteristics. However, even though hydrogels are used in several sectors of Brazilian agriculture, there are still very few studies on their applications, the best methods and the quantities to be used. Consequently, there is a need for research into the applicability of this technology in Brazil, so that future research needs can be identified and appropriate decisions made at the production level. Therefore, the aim of this study was to collate currently available information on the applicability of agricultural hydrogels in Brazilian agriculture. Over the last decade, forestry is the sector in Brazil that has most studied and used hydrogels, but others such as fruit- and coffee-growing have also been involved. The method of applying the polymer in granules directly mixed-in with growth substrates is the most used in the production of seedlings. However, use of hydrated gel at planting sites has also been explored. While synthetic hydrogels are most commonly used, those made of natural materials have great potential due to the low preparation costs and their in-soil biodegradability. The quantities of hydrogel used vary according to the target species, application method and objective.

**Key words:** Water sustainable use. Hydro absorbent polymer. Application. Agricultural cultures.

**Resumo:** A utilização racional da água faz-se necessária uma vez que esse recurso é finito, assim, estudos sobre a produção e minimização do uso da água são essenciais. A partir disso, os hidrogéis agrícolas vêm sendo amplamente testados na agricultura por promoverem benfeitorias às plantas pelas suas características de retenção de água e nutrientes. No entanto, mesmo sendo utilizados em diversos ramos da agricultura brasileira, estudos quanto aos métodos de aplicação e às quantidades utilizadas ainda são escassos, justificando a necessidade de pesquisas que elucidem a aplicabilidade dessa tecnologia, para assim gerar informações que sustentem decisões precisas no nível produtivo e experimental. Portanto, objetivou-se com este trabalho compilar as principais informações atuais quanto à aplicabilidade dos hidrogéis agrícolas na agricultura brasileira. A silvicultura é o setor que mais vem estudando e utilizando o uso dos polímeros hidrorretentores nos últimos 10 anos no Brasil, porém, setores como a fruticultura e a cafeicultura também vêm se destacando. O método de aplicação do polímero em grânulos em mistura direta com substratos é o mais utilizado na produção de mudas, todavia, a utilização do gel hidratado no local de plantio apresenta-se como uma alternativa promissora à agricultura brasileira. Os hidrogéis sintéticos são os mais utilizados, no entanto, os constituídos por materiais naturais têm grande potencial em função do baixo custo para preparação e por serem biodegradáveis no solo. As quantidades de hidrogel utilizadas variam em função da espécie, do método de aplicação e do objetivo que se almeja alcançar.

**Palavras-chave:** Uso sustentável da Água. Polímero hidroabsorvente. Aplicação. Culturas agrícolas.

\*Corresponding author

Posted to 24/01/2017 and approved on 21/08/2017

<sup>1</sup>Review of the first author's PhD thesis

<sup>2</sup>Student PhD in the Postgraduate Program in Agronomy, POSAGRO/UFRR, Boa Vista, RR, Brasil, 68.300-00, joao.monteiro.neto@hotmail.com

<sup>3</sup>Associate Teacher Department of Soils and Engineering, CCA/UFRR, Boa Vista, RR, Brasil, 68.300-00, wellinton.araujo@ufr.br

<sup>4</sup>Researcher at Embrapa Roraima, Rodovia BR 174, Km 08, Boa Vista, RR, Brasil, 69301-970, edvan.chagas@embrapa.br

<sup>5</sup>Scholarship Post-doctorate in the Postgraduate Program in Agronomy, POSAGRO/UFRR, Boa Vista, RR, Brasil, 68.300-00, raphael\_manejosolo@hotmail.com

<sup>6</sup>Teacher Instituto Federal de Roraima, Campus Novo Paraíso, Rodovia BR 174, Km 512, Caracará, RR, Brasil, 69365-000, gabrielaifrr@gmail.com

<sup>7</sup>Researcher Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP, Carretera Federico Basadre, km 12400, Yarinacocha, Ucayali, Perú, cabanto@iiap.org.pe

## INTRODUCTION

World agricultural production has tripled over the last 50 years due to increased productivity and crop intensification (FAO, 2013). Brazil followed this production trend, with an annual increases of around 8% in recent harvests, and is now one of the world's largest producers and exporters of agricultural products (CONAB, 2015).

Increase in water use has accompanied this growth in productivity and agriculture sector as a socioeconomic activity is now the largest consumer on the planet. This provides cause for concern as, water is a finite resource and plant-wide, reserves of clean water are in decline, and the long-term consequences of this are severe (REF). However, much used water is wasted (PAZ *et al.*, 2000). There has, therefore, been considerable focus by specialists and institutions to improve water usage, and so off-set increasing demand (OLIVO; ISHIKI, 2014).

Therefore, more efficient irrigation technology, and the reuse of domestic water and/or drainage water for irrigation, provide alternatives with which to increase the water supply, guaranteeing resource savings and providing a more rational use of the use of this essential commodity via the use of non-potable water (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Thus, as part of the current global call for sustainable growth, such practices can be used to secure greater water savings.

Among those technologies offering alternatives for efficient water use in Brazil, agricultural hydrogels have gained ground significantly in the last 15 years, due to their water retention and nutrients characteristics which improve both plants and the physical characteristics of the soil (KLEIN; KLEIN, 2015). However, there are many gaps in current practical knowledge, including differences how such products should be used and deployed and what quantities are required at the various stages in a crop production proces. This lack of knowledge has, to date, impeded their use, both experimentally and in in-field production.

In a review of the literature on agricultural hydrogels, Azevedo *et al.* (2002) collated data from studied conducted between 1980 and 1993. In the absence of additional summaries, therefore, there is a need to update information concerning advances in the technology and use of such polymers. Among the aspects reported by Azevedo *et al.* were the origin of hydrogels in the 1950s, and their improvement in post-1982 when the patent by the company that created the technology expired, allowing the properties of the polymer to be improved by other companies that believed in the efficiency of the product. However, at the time there was little consumer acceptance of the technology due to high unit prices and the lack of research that could be convincingly used to demonstrate their agricultural utility.

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola mundial triplicou nos últimos 50 anos em função do aumento da produtividade e pela intensificação dos cultivos (FAO, 2013). O Brasil tem acompanhado esse crescimento de produção, com incremento anual em torno de 8% nas últimas safras, destacando-se como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de produtos agrícolas (CONAB, 2015).

Concomitante ao crescimento produtivo, o setor agrícola se destaca como a atividade socioeconômica que mais consome e desperdiça água a nível mundial. Portanto, consequências irreversíveis podem ocorrer caso não sejam adotadas tecnologias que minimizem o uso excessivo da água (PAZ *et al.*, 2000). Por isso, a diminuição considerável das reservas de água limpa em todo o planeta, incluindo o Brasil, tem sido foco de preocupação dos especialistas e das autoridades, considerando que a problemática é gerada principalmente em decorrência do mau uso, aliado à crescente demanda (OLIVO; ISHIKI, 2014).

Portanto, alternativas, como a irrigação, maneira mais eficiente para o aumento da produção de alimentos, bem como a reutilização de água da atividade doméstica ou da água de drenagem para irrigação, surgem como possibilidades para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem com a utilização de água não potável (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Assim, em torno do atual apelo mundial pelo crescimento sustentável, tais práticas devem ser utilizadas de forma a proporcionar maior economia de água.

Dentro dessas tecnologias que surgem como alternativas para o uso eficiente da água, os hidrogéis agrícolas, por propiciarem benfeitorias às plantas pelas suas características de retenção de água e nutrientes, além de melhorarem as características físicas do solo, vêm ganhando significativo espaço nos últimos 15 anos na agricultura brasileira (KLEIN; KLEIN, 2015). No entanto, existem muitas lacunas quanto às diferenças nas suas formas de aplicação e às quantidades utilizadas nas etapas do processo produtivo das culturas, que, por fim, corriqueiramente, colocam em dúvida sua utilização, tanto a nível experimental quanto a níveis produtivos.

Em revisão de literatura a respeito do tema, Azevedo *et al.* (2002) sintetizaram o uso de hidrogel na agricultura em torno de estudos realizados entre os anos de 1980 e 1993. Portanto, há necessidade de atualizar as informações acerca dos avanços obtidos com esse polímero. Tais autores relataram aspectos como o surgimento dos hidrogéis na década de 50 e o aprimoramento dessa tecnologia a partir de 1982, principalmente em função da perda de patente pela empresa criadora dessa tecnologia, o que possibilitou a melhoria das propriedades desse polímero por outras empresas que acreditaram na eficiência do produto. No entanto, o que foi observado na época foi a não aceitação da tecnologia por parte dos produtores devido aos preços elevados e a escassez de pesquisas que fomentassem seu uso para fins agrícolas.

More recently, focussed studies have resulted in the development of hydrogels with specific properties for particular applications, but information on their use and recommendations for application is still scarce. In consequence, the main objective of this review has been to bring together the broadest body of technical information on hydrogels in order to create a technological framework for their use in agriculture, as well as to highlighting their characteristics, the main discoveries and the methods by which different hydrogels may be used in various branches of Brazilian agriculture, as well as providing considerations for future research.

### Composition and Purpose

Hydrogels, also known as hydroabsorbent polymers or water-retaining gels, are capable of absorbing and retaining large amounts of water and/or biological fluids, due to their chemically or physically crosslinked hydrophilic polymer networks (BRITO *et al.* 2013), which change with hydration as shown in Figure 1, modified from Sabadini (2015).

Aouada *et al.* (2009) define such polymers as hydrophilic systems formed by two or more components joined by covalent and/or electrostatic bonds arranged in one or more three-dimensional structured networks surrounded by molecules of a given solvent, generally water. As a result, hydroabsorbent polymers can be used in agricultural activity as soil conditioners, increasing water storage capacity and nutrient retention, and reducing the amount of irrigations required, as well impeding as nutrient loss and lowering production costs (SAAD *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, vários trabalhos pontuais com uso de hidrogel foram desenvolvidos com diferentes finalidades, porém, informações concentradas quanto à utilização e às recomendações de aplicação ainda são escassas. Em função disso, o objetivo principal na presente revisão foi elencar o maior número de informações técnicas a fim de criar um arcabouço tecnológico para utilização de hidrogel na agricultura, destacando, também, suas características, os principais resultados encontrados e os métodos de utilização nos diferentes ramos da agricultura brasileira, além de ressaltar algumas pesquisas que poderão ser realizadas.

### Composição e finalidades

Os hidrogéis, também conhecidos como polímeros hidroabsorventes ou géis hidrorretentores, são capazes de absorver e reter grande quantidade de água e/ou fluidos biológicos, isso ocorre devido à constituição do seu material, formado por redes poliméricas hidrofílicas química ou fisicamente reticuladas (BRITO *et al.*, 2013), que se alteram com a hidratação como apresentado na Figura 1, modificada de Sabadini (2015).

Portanto, Aouada *et al.* (2009) definem esses polímeros como sistemas hidrofílicos formados por dois ou mais componentes unidos por ligações covalentes e/ou eletrostáticas dispostas em uma ou mais redes tridimensionalmente estruturadas envoltas por moléculas de um determinado solvente, geralmente água. Devido a isso, os polímeros hidroabsorventes podem ser utilizados na atividade agrícola como condicionadores de solo, aumentando a capacidade de armazenamento de água e a retenção de nutrientes, reduzindo o número de irrigações, a perda de nutrientes e custos de produção (SAAD *et al.*, 2009).

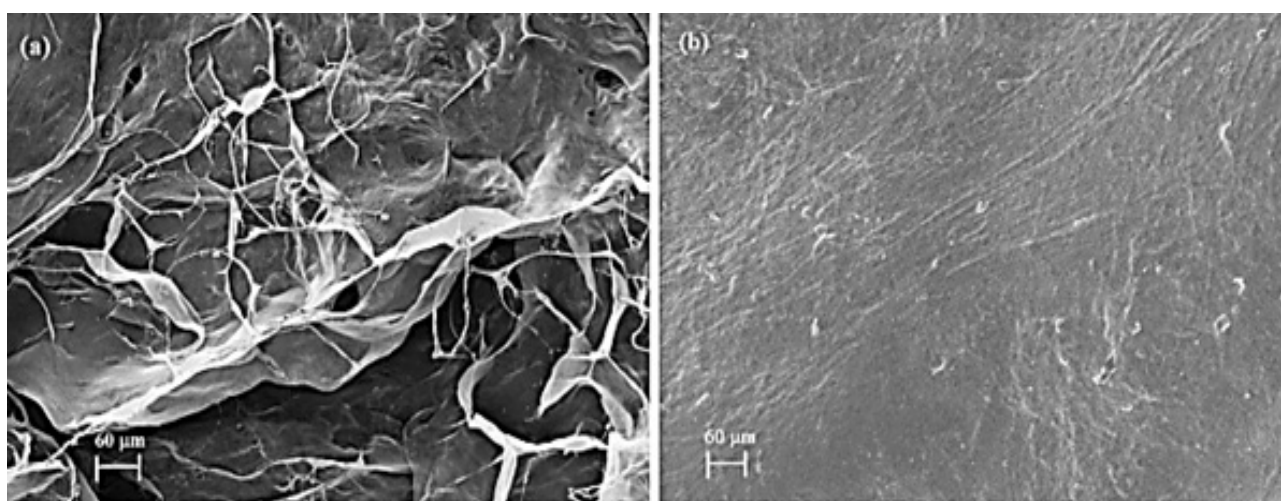


Figure 1 - Natural hydrogel produced by the cross-linking of lyophilized (A) and non-lyophilized gellan gums (B) with 300x magnification by scanning electron microscopy. Source: Sabadini (2015).

Figura 1 - Hidrogel natural produzido a partir do intercruzamento de goma gelana liofilizada (A) e não liofilizada (B) com aumento de 300x em microscópio eletrônico de varredura. Fonte: Sabadini (2015).

According to Ahmed (2015), hydrogels are classified via the following characteristics: origin (natural or synthetic), polymer composition (homopolymeric hydrogels, copolymeric hydrogels, polymeric multipolymer interpenetration hydrogels), type of polymer network connections or physical characteristics), physical appearance (matrix, film or microsphere) and network electric charge type (non-ionic, ionic, ampholytic or polyhedithic). Depending on the characteristics inherent to each hydrogel type, changes can occur when physical (temperature, electric field, magnetic field, pressure, sound) and chemical properties (pH, ionic strength, solvent composition and molecular species) of the environment are altered.

According to Lima and Souza (2011), the hydrogels most used in Brazilian agriculture are synthetic, composed mainly of monomers derived from acrylic acid (and so called acrylamides), which together form the polymer polyacrylamide. However, hydrogels based on clay minerals, such as montmorillonite, vermiculite and kaolin, in addition to their natural source origins, have also aroused interest because they have advantages in terms of low cost and lowering of environmental contamination risks (BRITO *et al.*, 2013, SABADINI, 2015).

In the production of *Eucalyptus dunnii* seedlings, NAVROSKI *et al.* (2016) reported that a hydrogel based on corn starch had positive impacts on the physical and chemical characteristics, with hydrogel doses of 2 and 4 g L<sup>-1</sup> being the best for seedling growth. Although such results have economic interest, hydrogels prepared from natural components may have unsatisfactory mechanical properties as to their capacity for hydro-retention (BORTOLIN *et al.*, 2012; SABADINI, 2015).

In recent years the study how hydrogels with different characteristics are used in various forms of agriculture, and of their beneficial effects have been increasing, both worldwide and within Brazil (AHMED, 2015; NAVROSKI *et al.* 2015).

In Brazil, positive effects of hydrogels have been reported for several crops, including: coriander, in Pernambuco (ALBUQUERQUE FILHO *et al.*, 2009), citrus in Minas Gerais (FERREIRA *et al.*, 2014), lettuce in Rio de Janeiro (SANTOS *et al.* 2006), and eucalyptus in Rio Grande do Sul, Brazil (NAVROSKI *et al.*, 2015). However, the use of these water-retaining polymers is indicated preferentially for those regions with low water availability and/or prolonged periods of drought mean low soil moisture adversely affects plant growth and development (AZEVEDO *et al.*, 2002).

In addition, hydrogels suffer a decrease in functionality if salts are present in the solution used, (GERVÁSIO; FRIZZONE, 2004). This is due to induced limitations in water retention capacity, the result of an effect by the salts on the balance between the osmotic pressure of the system and the hydrogel expansion response, this being one of the factors that limits water absorption capacity in these polymers (BRITO *et al.*, 2013).

Os hidrogéis agrícolas são classificados, segundo Ahmed (2015), de acordo com as seguintes características: origem ou base (natural ou sintético), composição polimérica (hidrogéis homopoliméricos, hidrogéis copoliméricos, hidrogéis poliméricos de interpenetração multipolimérica), tipo de ligações da rede polimérica (químicas ou físicas), aparência física (matriz, filme ou microesfera) e carga elétrica da rede (não-iônico, iônico, anfótero ou poli-betainicos). Portanto, de acordo com as características inerentes para cada tipo de hidrogel, podem ocorrer modificações quando há alteração das propriedades físicas (temperatura, campo elétrico, campo magnético, iluminação, pressão, som) e químicas (pH, força iônica, composição do solvente e espécie molecular).

De acordo com Lima e Souza (2011), os hidrogéis mais utilizados na agricultura brasileira são os sintéticos, compostos essencialmente por monômeros derivados do ácido acrílico denominados de acrilamida, que, juntos, formam o polímero poli-acrilamida. No entanto, hidrogéis à base de argilominerais, tais como montmorillonita, vermiculita e caulim, além de advindos de fontes naturais, vêm também despertando interesse, principalmente, por apresentarem vantagens quanto ao baixo custo e diminuição de riscos de contaminação ambiental (BRITO *et al.*, 2013; SABADINI, 2015).

Na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*, Navroski *et al.* (2016) encontraram bons resultados nas características físicas e químicas de substratos com a adição de um hidrogel à base de amido de milho, tendo as dosagens de 2 e 4 g L<sup>-1</sup> desse hidrogel favorecido o melhor crescimento das mudas. Embora esses resultados sejam economicamente interessantes, hidrogéis preparados a partir de componentes naturais podem apresentar propriedades mecânicas não satisfatórias quanto a sua capacidade hidrorretentora (BORTOLIN *et al.*, 2012; SABADINI, 2015).

Estudos acerca do uso de hidrogéis nos diversos ramos da agricultura a respeito da sua utilização, características do produto e dos seus já comprovados efeitos benéficos vêm crescendo nos últimos anos nas diferentes regiões do Brasil e do mundo (AHMED, 2015; NAVROSKI *et al.*, 2015).

Efeitos positivos do hidrogel foram observados em diversas culturas, como: o coentro, em Pernambuco (ALBUQUERQUE FILHO *et al.*, 2009), citros, em Minas Gerais (FERREIRA *et al.*, 2014), alface, no Rio de Janeiro (SANTOS *et al.*, 2015), e eucalipto, no Rio Grande do Sul (NAVROSKI *et al.*, 2015). No entanto, a utilização desses polímeros hidrorretentores é preferencialmente indicada para regiões com baixa disponibilidade de água ou longos períodos de estiagem, ocasião em que a baixa umidade do solo afeta negativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas (AZEVEDO *et al.*, 2002).

Além disso, ocorre a diminuição da sua funcionalidade quando na presença de sais na solução utilizada, limitando sua capacidade de retenção de água (GERVÁSIO; FRIZZONE, 2004). Isso porque os sais têm efeito no balanço entre pressão osmótica do sistema e a resposta expansiva do hidrogel, sendo um dos fatores que controlam a capacidade de absorção de água desses polímeros (BRITO *et al.*, 2013).

Under such conditions an increase in ionic strength reduces the difference in the concentration of mobile ions between the polymer and the external solution. This immediately decreases the volume of the gel, thus explaining the low functionality of such polymers in the presence of salts. However, under normal growing conditions, use of hydrogels increases nutrient availability and enhances crop growth (DUSI, 2005; BERNARDI *et al.*, 2012; MEWS *et al.*, 2015; BARTIERES *et al.*, 2016).

### Studies in the advancement and improvement of hydrogels

Due to the agricultural potential of hydrogels, there have been significant advances in the water retention characteristics of hydrogels (so-called superabsorbent gels), and the biodegradability of these polymers (important since acrylamide, their main component, is not biodegraded in soil).

As an example of these investigations, includes the addition of nano-cellulose fibers as to enhance the water-retaining properties of a hydrogel (AOUADA *et al.* 2011). The authors reported that this resulted in reduced pore size and the formation of well-oriented three-dimensional microstructures, which contributed to an improvement in mechanical, structural and hydrophilic properties of the studied hydrogel. Similar results were found in water absorption tests, when with a hydrogel polymer was mixed 4% carboxymethylcellulose and hydroxyethylcellulose (DIMITRI *et al.* 2013).

For rainfed crops in semi-arid areas, VUNDAVALLI *et al.* (2015) found the use of biodegradable nano-hydrogels coated with silver nitrate to have an excellent water retention capacity. Likewise, Montesano *et al.* (2015) reported good results for the water retention capacity and high biodegradable power of a cellulose-based hydrogel, while Hassan and El-Rehim (2006), testing the functionality of a sodium alginate hydrogel prepared with ionizing radiation, found good water-retentive and biodegradability characteristics. These studies are part of a line of research aimed at improving water-absorption capacity and biodegradability of these polymers. Principle knowledge gaps involve a lack of studies of the influence of such new gels on plant development, and this is a clear area for future research.

O aumento da força iônica nessas condições reduz a diferença de concentração de íons móveis entre o polímero e a solução externa, o que, de imediato, diminui o volume do gel, explicando a baixa funcionalidade desses polímeros na presença de sais. No entanto, em condições normais de cultivo, o uso de hidrogel aumenta a disponibilidade de nutrientes e intensifica o crescimento das culturas (DUSI, 2005; BERNARDI *et al.*, 2012; MEWS *et al.*, 2015; BARTIERES *et al.*, 2016).

### Avanços nos estudos e aperfeiçoamento dos hidrogéis

Em função do potencial agrícola dos hidrogéis, a literatura internacional traz significativos avanços, principalmente, quanto às melhorias das características de retenção de água dos chamados géis superabsorventes e do poder biodegradável desses polímeros, visto que a acrilamida, principal substância utilizada na sua confecção, não é biodegradada no solo.

Como exemplo dessas investigações, destaca-se a adição de nano-fibras de celulose como agentes de reforço às características hidrorretentoras de um hidrogel estudado por Aouada *et al.* (2011). Os autores observaram que essa prática resultou na diminuição do tamanho dos poros e na formação de microestruturas tridimensionais bem orientadas, o que contribuiu para a melhoria das propriedades mecânicas, estruturais e hidrofílicas do hidrogel estudado. Resultados similares foram encontrados em um hidrogel avaliado por Dimitri *et al.* (2013) quando misturou ao polímero 4% de carboximetilcelulose e hidroxietilcelulose em testes de absorção de água.

Em cultivos de sequeiro, Vundavalli *et al.* (2015) indicaram o uso de nano-hidrogéis biodegradáveis revestidos por nitrato de prata com excelente capacidade de retenção de água. Da mesma forma, Montesano *et al.* (2015) encontraram bons resultados quanto à capacidade de retenção de água e alto poder biodegradável de um hidrogel confeccionado à base de celulose. Já Hassan e El-Rehim (2006), ao testarem a funcionalidade de um hidrogel de alginato de sódio preparado por radiação ionizante, obtiveram boas respostas quanto às características hidrorretentoras e de biodegradabilidade do polímero. Esses estudos fazem parte de uma linha de pesquisa voltada à melhoria hidrorretentora e aperfeiçoamento das características biodegradáveis desses polímeros. As lacunas nesses estudos estão voltadas à falta de testes desses hidrogéis no desenvolvimento de plantas, fato pouco observado nos estudos citados.

## APPLICATION METHODS

Commercially, hydrogels are purchased in powder form of different grades, accompanied by instructions for use in soil or substrate as recommended by the manufacturers. The two main application methods are: 1) direct application of polymer granules to the substrate, followed by addition of water (LIMA *et al.*, 2011); 2) application of the already hydrated gel in the growing sites, or to the root system by immersion (DRANSKI *et al.*, 2013).

Although the methods for using these polymers are now well-established, their comparative impact on plant production has been little studied. Gervásio and Frizzone (2004) observed that, when saturated, water absorption by the hydrogel is higher than when mixed in culture medium, a fact attributed to the lack of free water in the substrate, which limits its expansion. However, many studies point to the efficiency of this method in agricultural cultivation. Below, studies working with application methods and with hydrogel quantities will be addressed separately, on a sector-by-sector basis for Brazilian agriculture.

### Silviculture

The application of the water-retentive gels for silviculture in Brazil has been reported by several studies, across a variety of species.

Survival of *Eucalyptus urograndis* seedlings in two soil types under different water management regimes and with/without the use of 0.4 g of Hydroplan<sup>®</sup>-EB hydrogel applied directly to the soil in the form of granules, has been studied by Saad *et al.* (2009); hydrogel application did not result in increased plant survival in the two evaluated soils, however, it provided a 5-day delay in seedling mortality in sandy soil. Lopes *et al.* (2010) studied the same plant species and the same hydrogel, but applied in the gel in hydrated form directly into the planting pit, and observed a resultant delay of 35 days in seedling mortality. This indicates that, for this *Eucalyptus* species at least, that seedling survival varies by both soil and hydrogel application method.

The efficiency of this method has also demonstrated in seedling production for other of *eucalyptus* species, using the following format: 2 to 6 g of hydrogel for each 600 mL of water applied directly to the *Eucalyptus* sp. seedling planting pit (VICENTE *et al.*, 2015), 4 g L<sup>-1</sup> water applied in 500 ml per planting pit for *E. grandis* and *E. camaldulensis* (BARTIERES *et al.*, 2016) and 3 g L<sup>-1</sup> water applied in 250 ml per planting pit for *E. grandis* (TEO *et al.*, 2014).

## MODOS DE APLICAÇÃO

Comercialmente, os hidrogéis são adquiridos na forma de pó em diferentes granulometrias e diferentes indicações quanto ao uso, conforme recomendações dos fabricantes. O uso desses polímeros no solo ou substrato segue basicamente duas formas quanto à recomendação: 1) aplicação direta dos grânulos nos substratos para posterior umedecimento com água (LIMA *et al.*, 2011) e 2) aplicação do gel já hidratado nos locais de cultivo ou no sistema radicular por imersão (DRANSKI *et al.*, 2013).

Embora seja estabelecido o modo de utilização desses polímeros, poucos estudos elucidaram a eficiência produtiva de cada método. Gervásio e Frizzone (2004) observaram que a absorção de água pelo hidrogel quando submetido à saturação é maior do que quando misturado em meio de cultivo, fato atribuído à falta de água livre no substrato, o que limita sua expansão. Porém, muitos trabalhos apontam para a eficiência desse método no cultivo agrícola. Na presente revisão, a aplicabilidade quanto aos métodos e às quantidades de hidrogéis utilizados nos estudos recentes acerca do tema será abordada separadamente por segmentos da agricultura brasileira.

### Silvicultura

A aplicação do gel hidrorretentor é reportada em diversos estudos na área de silvicultura no Brasil, dessa forma, serão demonstradas algumas pesquisas realizadas com diversas espécies florestais nesse tópico.

Ao estudarem a sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* em dois solos em função do manejo hídrico e do uso de 0,4 g de hidrogel da marca Hydroplan<sup>®</sup>-EB aplicado diretamente no solo na forma de grânulos, Saad *et al.* (2009) observaram que o hidrogel não resultou em aumento da sobrevivência das plantas nos dois solos avaliados, porém, proporcionou um retardamento de 5 dias da mortalidade no solo arenoso. Lopes *et al.* (2010), estudando a mesma espécie e o mesmo hidrogel, porém, aplicado na forma hidratada diretamente na cova, encontraram um retardamento de 35 dias na mortalidade das mudas. Portanto, a sobrevivência dessa espécie varia quanto ao solo e ao método de aplicação do hidrogel.

A eficiência desse método também é comprovada na produção de mudas de outras espécies de eucalipto, seguindo algumas recomendações: 2 a 6 g de hidrogel para cada 600 mL de água aplicados na cova para *Eucalyptus* sp. (VICENTE *et al.*, 2015), 4 g L<sup>-1</sup> de água aplicados em 500 ml por cova para *E. grandis* e *E. camaldulensis* (BARTIERES *et al.*, 2016) e 3 g L<sup>-1</sup> de água aplicados em 250 mL por cova para *E. grandis* (TEO *et al.*, 2014).

Testing a hydrogel admixed with substrate, Bernardi *et al.* (2012) concluded that a gel dose of 6 g L<sup>-1</sup> of substrate associated with different chemical fertilization levels influenced the aerial part and stem diameter of *Corymbia citriodora* seedlings, as well as reducing requirement for applied fertilizer by up to 40%. The same hydrogel methodology was used by Navroski *et al.* (2015a) to evaluate water consumption and the growth and quality of *Eucalyptus dunnii* seedlings. The authors reported that a dose of 3 g Hydroplan®-EB hydrogel per L of substrate reduced irrigation depth from 16 to 20 mm per day<sup>1</sup> to 12 mm per day.

Similarly, Navroski *et al.* (2015b) found that a 4.5 g L<sup>-1</sup> substrate dose of hydrogel increased growth and nutrient content of *Eucalyptus dunnii* seedlings. Importantly, these authors also found an increase in macronutrient content and a decrease in micronutrient levels with an increasing amounts of applied hydrogel, due to an increase in pH. According to Vichiato *et al.* (2004), this increase in pH may be due to an alteration of the cation exchange capacity (CTC) of the substrate caused by the hydrogel, possibly due to a higher retention of basic cations.

Much of the hydro-gel based work with forest crops, has used a commercial product (Hydroplan®-EB) mixed with acrylamide copolymer (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO) and potassium acrylate (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>). With the following characteristics: white powder insoluble in water; particles size range 0.3 to 1.0 mm; anionic; 10% moisture; density, 0.8 g cm<sup>-3</sup>; usable pH values, 5 to 9. The deployed mixture can provide up to 95% of the stored solution for the plant, and is capable of absorbing up to 300 times its mass in water and 100 times its volume.

When this, or any other type of hydrogel is used in direct mixing with the substrate, it is recommended that the cartridge, or any other container type, be filled to only some 80% of the maximum volume. This is done to prevent spillage of the substrate as it expands after hydration (NAVROSKI *et al.*, 2015b). Some hydrogels, such as those tested by Aouada *et al.* (2008), may also be made-up using polyacrylamide concentrations, so conferring savings in polymer use.

Evaluating the effects of urea application at different doses of the ForthGel® hydrogel (0, 1, 2, 3 and 4 g L<sup>-1</sup> substrate) on the development of Golden Trumpet Tree (*Handroanthus albus* [= *Tabebuia albus*]), Mews *et al.* (2015) observed that all doses of the polymer positively influenced the growth and the qualities of the seedlings, especially those at 2 and 4 g L<sup>-1</sup>. The same doses of this hydrogel were also tested by Azevedo *et al.* (2015) on the rooting capacity of minicuttings of different eucalypt clones. The authors concluded that the efficiency of this hydrogel makes it a promising alternative for improving rooting of eucalyptus minicuttings, especially for those clones that naturally have low rooting rates.

Testando um hidrogel em mistura com substrato, Bernardi *et al.* (2012) concluíram que 6 g L<sup>-1</sup> de substrato associado a diferentes doses de adubação química influenciaram na parte aérea e no diâmetro do colo de mudas de *Corymbia citriodora*, além de reduzir em até 40% a adubação aplicada. A mesma metodologia quanto ao uso de hidrogel foi executada por Navroski *et al.* (2015a) na avaliação do consumo de água e do crescimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Os autores determinaram que a dose de 3 g L<sup>-1</sup> de substrato do hidrogel Hydroplan® - EB reduz a lâmina de irrigação de 16 a 20 mm dia<sup>-1</sup> para 12 mm dia<sup>-1</sup>.

Da mesma forma, quando avaliaram o crescimento e o teor de nutrientes de *Eucalyptus dunnii* sob a influência do hidrogel, foi determinado que a dose 4,5 g L<sup>-1</sup> de substrato eleva o crescimento e a qualidade das mudas dessa espécie (NAVROSKI *et al.*, 2015b). Outro importante resultado encontrado pelos autores diz respeito ao aumento dos teores de macronutrientes e queda nos níveis de micronutrientes com o aumento da quantidade de hidrogel aplicado devido ao aumento do pH. Segundo Vichiato *et al.* (2004), esse aumento de pH pode ser decorrente da alteração da capacidade de troca de cátions (CTC) do substrato proporcionada pelo hidrogel, possivelmente pela maior retenção de cátions básicos.

Em grande parte dos trabalhos voltados ao cultivo inicial de culturas florestais, é relatado que o hidrogel mais utilizado é um produto comercial (Hydroplan®-EB) misto de copolímero de acrilamida (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO) e acrilato de potássio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) com as seguintes características: pó branco insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de 0,8 g cm<sup>-3</sup> e índice de pH utilizável de 5 a 9, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta, capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume.

Quando este ou outro tipo de hidrogel é utilizado em mistura direta com o substrato, recomenda-se que o tubete ou qualquer outro recipiente seja preenchido em aproximadamente 80% do volume máximo possível, para evitar o derramamento do substrato após a hidratação em função da expansão das partículas do polímero durante a sua hidratação (NAVROSKI *et al.*, 2015b). Alguns hidrogéis, como os testados por Aouada *et al.* (2008), podem ser também confeccionados a partir de diferentes concentrações de poliácridamida, o que pode conferir economia quanto a utilização do polímero.

Avaliando diferentes doses do hidrogel ForthGel® em mistura direta com substrato (0, 1, 2, 3 e 4 g L<sup>-1</sup> de substrato) associadas à aplicação de ureia no desenvolvimento de mudas de ipê-amarelo, Mews *et al.* (2015) observaram que as diferentes doses do polímero influenciaram positivamente o crescimento e as qualidades das mudas, com destaque às doses 2 e 4 g L<sup>-1</sup>. As mesmas doses desse hidrogel também foram testadas por Azevedo *et al.* (2015) no enraizamento de miniestacas de diferentes clones de eucalipto. Os autores destacaram que a eficiência desse hidrogel o faz ser uma alternativa promissora à melhoria do enraizamento de miniestacas de eucalipto, sendo mais indicado a clones que naturalmente apresentam baixas taxas de enraizamento.

Dranski *et al.* (2013a), tested two methods of hydrogel Hidroterragel® application (immersion of the root system directly into the hydrated hydrogel and application of 0.5 L directly in the planting pit) on the survival and initial growth of jatropha, and suggested that the mixture of 7 g L<sup>-1</sup> of water applied directly to planting pit, with 0.5 L of the diluted gel, could increase post-planting survival and had no negative effects on subsequent growth of the species. However, in tests of effects of immersing the root system in gel at different planting seasons, Dranski *et al.* (2013b) found the methods efficient only for spring planting, indicating that this method limits the establishment of jatropha plantations at some times of the year, a result that would not occur if hydrated hydrogel was deposited directly into the planting pit.

Within the key assumptions and basic information regarding application technologies still under consolidation, economic viability is one of the most important aspects to be analyzed before commercial use can be recommended. However, in most experiments economic viability evaluation for product use was not carried out, making this an important focus for future research on the use of hydrogels.

### Fruitculture

Hydrogel studies have in Brazil focused mainly on seedling production and post-planting of forest species. However, satisfactory results have also come from studies carried out in other areas of agriculture.

Ferreira *et al.* (2014), tested the effects applying 2 L of the hydrated hydrogel Hydroplan®-EB on the physiology of citrus seedlings pot-grown under water stress. It was observed that the polymer promoted recuperation and maintenance of hydric status in 4 of the 6 analysed cultivars. However, the authors pointed out that these results also involved plant physiological response mechanisms to water deficit, since these cultivars also showed a considerable reduction in gas exchange, possibly due to soil saturation with the use of this large volume of hydrogel.

Evaluating performance of a tangerine rootstock (Cleopatra), Cruz *et al.* (2008) found satisfactory results with 15, 30 and 45 g of EcogelVEG® hydrogel L<sup>-1</sup> of substrate. The authors also cautioned that, for this rootstock, hydrogel doses cannot exceed 50 g L<sup>-1</sup>, since at such levels root system aeration deficiency occurs as a result of the excess of water promoted by high doses of the polymer. These results differ from those obtained by Vichiato *et al.* (2004) on same rootstock, who reported that the amounts of Hydrossolo® hydrogel used (4, 8, 12, 16 and 32 mg.cm<sup>-3</sup>) were detrimental to vegetative development as they reduced both growth rates and dry matter accumulation.

Já Dranski *et al.* (2013a), aplicando doses do hidrogel Hidroterragel® e dois métodos de utilização (imersão do sistema radicular em hidrogel hidratado e aplicação de 0,5 L diretamente na cova) na sobrevivência e crescimento inicial de pinhão-mansão, sugeriram que a mistura de 7 g L<sup>-1</sup> de água aplicados diretamente na cova, em volume de 0,5 L do gel diluído, seja utilizada quando se busca o aumento da sobrevivência pós-plantio e a inexistência de efeitos negativos sobre o crescimento da espécie estudada. Porém, quando avaliaram somente o primeiro método em diferentes épocas de plantio de pinhão-mansão, Dranski *et al.* (2013b) encontraram eficiência somente no plantio de primavera, indicando que esse método limita o estabelecimento de plantios de pinhão-mansão em algumas épocas do ano, fato esse que possivelmente não ocorreria caso o hidrogel fosse utilizado na forma hidratada na cova.

Dentro das premissas essenciais nos testes de tecnologias ainda em fase de consolidação na agricultura, a viabilidade econômica é uma das mais importantes a serem analisadas antes das recomendações de uso. No entanto, na maioria dos experimentos não foi realizada a avaliação da viabilidade econômica para o uso do produto, sendo, portanto, uma recomendação importante para futuras pesquisas acerca do uso de hidrogel.

### Fruticultura

Os estudos com uso de hidrogel concentram-se principalmente na produção de mudas e no estabelecimento pós-plantio de espécies florestais, porém, alguns trabalhos vêm sendo executados nos demais ramos da agricultura com resultados satisfatórios.

Em experimento realizado por Ferreira *et al.* (2014), avaliando a eficiência de 2 L do hidrogel Hydroplan®-EB hidratado, aplicados em vasos nas respostas fisiológicas de mudas de cultivares de citros sob déficit hídrico, observaram que o polímero promoveu a recuperação e a manutenção do *status* hídrico de mudas de 4 das 6 cultivares analisadas. No entanto, os autores ressaltaram que esses resultados dependem dos mecanismos fisiológicos de resposta ao déficit hídrico, visto que essas cultivares também apresentaram redução considerável nas trocas gasosas, possivelmente pela saturação do solo com o uso desse volume de hidrogel.

Na avaliação do desempenho de um porta-enxerto de tangerina (Cleópatra), Cruz *et al.* (2008) encontraram resultados satisfatórios com as doses 15, 30 e 45 g L<sup>-1</sup> de substrato do hidrogel EcogelVEG®. Os autores orientam que, para esse porta-enxerto, as doses de hidrogel não podem ultrapassar as 50 g L<sup>-1</sup> em função do excesso de umidade e consequente deficiência de aeração do sistema radicular em detrimento das elevadas doses do polímero. Esses resultados divergem dos obtidos por Vichiato *et al.* (2004) no desenvolvimento do mesmo porta-enxerto, onde observaram que as quantidades utilizadas do hidrogel Hidrossolo® (4, 8, 12, 16 e 32 mg.cm<sup>-3</sup>) foram prejudiciais ao desenvolvimento vegetativo por promover o decréscimo do índice de velocidade de emergência (IVE), do crescimento e da matéria seca total das plantas.



Testing the effects mixing Hidroplan®-EB/HyB-M hydrogel mixed directly to the substrate of production of yellow passion fruit (*Passiflora edulis flavicarpa*) seedlings, Carvalho *et al.* (2013) recorded that using 3 g L<sup>-1</sup> of hydrogel substrate reduces the required frequency of irrigation and speeded shoot formation in the tested seedlings. In addition, Fagundes *et al.* (2015) concluded that 2 g L<sup>-1</sup> of the same hydrogel reduced leaching-related nutrient losses and favored growth and increase of leaf nutrients in passionflower seedlings. The same method was also used by Hafle *et al.* (2008) in a study of winged-stem passionflower (*Passiflora alata*) seedling production, where they observed that hydrogel doses close to 4.5 g L<sup>-1</sup> of EcogelVEG® hydrogel are more effective in the production process, while high doses of hydrogel (from 6 g L<sup>-1</sup>) caused negative effects on root growth and seedling development.

Mulberry (*Morus* spp.) is still in the process of being established among Brazilian fruit crops, being mainly used to feed caterpillars of the silk moth (*Bombyx mori*), in afforestation, as an ornamental or as a protein bank in animal husbandry (REF). Studies of root development in the mulberry (MOREIRA *et al.*, 2010) and black mulberry (MOREIRA *et al.*, 2012), found that 5 g doses of the Supragua® hydrogel and 5.6 g of the EcogelVEG® hydrogel, applied in each liter of substrate, resulted in the better development of these species at the seedling stage.

In search of an ideal hydrogel dose for melon culture, Bernard *et al.* (2005), applied 0, 2, 4 and 8 g of hydrogel per kg of soil, to dry soil and then hydrated the mix, and concluded that the ideal dose lay in the range of 5.1 to 6.1 g per kg of soil. Demartelaere *et al.* (2009), using 27 g of polymer mixed in the planting pit, observed a reduction of 25% in water required for irrigation and greater root growth, but lower total productivity in relation to the plants to which polymer had not been applied.

Searches conducted for this review found no recent studies in Brazil on the application of hydrogel in perennial fruit plants in the adult phase in Brazilian agriculture. Such studies are clearly required and would involve all phenological phases of the plants.

## Olericulture

For coriander cultivation, Albuquerque Filho *et al.* (2009), tested the commercial hydrogel Hidratassolo® at various doses (0, 4, 8, 12 and 16 dg kg<sup>-1</sup> dry soil), and found a linear relationship between growth and green and dry matter yield. The same relationship was found between the number of plants with the increase of the polymer dose.

Studying lettuce production, Mendonça *et al.* (2015) observed that 300 mL of hydrated polymer from a 4 g L<sup>-1</sup> water mixture did not change production levels, but did provide water savings and stabilized soil electrical conductivity when applied directly to the planting pits. Working with smooth lettuce, Santos *et al.* (2015), applied hydrated hydrogel directly in the soil and found that doses of up to 16 g per plant in sandy soil resulted in greater productivity and greater efficiency of water use.

Na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo, utilizando o método da mistura do hidrogel Hidroplan®-EB/HyB-M diretamente ao substrato, Carvalho *et al.* (2013) observaram que a incorporação de 3 g L<sup>-1</sup> de substrato do hidrogel reduz a frequência de irrigação e antecipa a formação das mudas avaliadas. Enquanto Fagundes *et al.* (2015) concluíram que 2 g L<sup>-1</sup> do mesmo hidrogel reduzem as perdas de nutrientes por lixiviação e favorecem o crescimento e o incremento de nutrientes foliares nas mudas. O mesmo método também foi utilizado por Hafle *et al.* (2008) na produção de mudas de maracujazeiro-doce por estaquia, onde observaram que as doses próximas a 4,5 g L<sup>-1</sup> do hidrogel EcogelVEG® são mais eficazes no processo de produção, e que doses elevadas (a partir de 6 g L<sup>-1</sup>) causam efeitos negativos no enraizamento e desenvolvimento das mudas.

Já no enraizamento de estacas de amoreira (MOREIRA *et al.*, 2010) e de amoreira-preta (MOREIRA *et al.*, 2012), espécies ainda em processo de estabelecimento na fruticultura brasileira, usadas principalmente como alimentos na criação de *Bombyx mori* (bicho-da-seda), na arborização e ornamentação e como banco de proteína para criação animal, as doses de 5 g do hidrogel Supragua® e 5,6 g do hidrogel EcogelVEG®, aplicadas em cada litro de substrato, favoreceram o melhor desenvolvimento dessas espécies na fase de mudas.

Em busca de uma dose ideal de hidrogel para a cultura do meloeiro, Bernard *et al.* (2005), testando 0, 2, 4 e 8 g de hidrogel por kg de solo, aplicadas no solo seco e então hidratadas, concluíram que a dose ideal para a cultura estudada está na faixa de 5,1 a 6,1 g por kg de solo. Já Demartelaere *et al.* (2009), usando 27 g do polímero misturado na cova, observaram redução de 25% da água utilizada na irrigação, maior crescimento radicular, porém com menor produtividade total em relação a não aplicação do polímero.

Não foram encontrados estudos recentes acerca da aplicação de hidrogel em plantas frutíferas perenes na fase adulta na agricultura brasileira, sendo necessários estudos que envolvam todas as fases fenológicas das plantas.

## Olericultura

No cultivo do coentro, Albuquerque Filho *et al.* (2009), testando as doses do hidrogel Hidratassolo® (0, 4, 8, 12 e 16 dg kg<sup>-1</sup> de solo seco), observaram crescimento linear no rendimento de matéria verde e seca, assim como no aumento do número de plantas com o aumento das doses estabelecidas do polímero.

Na produção de alface, Mendonça *et al.* (2015) observaram que 300 mL do polímero hidratado a partir da mistura de 4 g L<sup>-1</sup> de água não responderam na produção, mas proporcionaram economia de água e estabilidade da condutividade elétrica do solo quando aplicados diretamente nas covas de plantio. Santos *et al.* (2015), com resultados a partir do uso de hidrogel não hidratado diretamente no solo, recomendam adotar doses de até 16 g por planta em solo arenoso para produção de alface lisa, o que resulta em maior produtividade e maior eficiência do uso da água.

In the production of sweet pepper seedlings, Marques and Bastos (2010) found a positive linear responses in the development of seedlings, as well as improved use of irrigation water when testing hydroplan-EB® hydrogel at doses of 0; 1; 1,5; and 2 g kg<sup>-1</sup> soil.

### Hydrogel use in coffee cultivation

The use of hydrogels in coffee cultivation is quite well-established in such Brazilian states as Minas Gerais and Espírito Santo, due to the existence of veranicos in the period during which seedlings are transplanted into the field. This slows the speed of their establishment and development, and has therefore encouraged the use of hydrogels for this crop.

A study by Souza *et al.* (2016) found satisfactory growth results of coffee plants were using 1.5 kg of hydrogel in 400 L of water, with application of 1.5 L of the solution per planting pit. In addition, Oliveira *et al.* (2014) reported that, following applications of the hydrogel Hidroplan-EB® at levels of some 1.5 kg of gel diluted in 400 L of water, anatomical modifications in the phloem, xylem, stomata and leaf parenchyma were seen of kinds that favor water relations in coffee plants.

Using hydrogels as an alternative to complementary irrigation in the production of coffee seedlings, Marques *et al.* (2013) found that 2 g of Hidroplan-EB® polymer mixed with the substrate resulted in seedlings of the same quality as those produced under conventional irrigation.

### Hydrogels and grasses

Studying initial development of sugarcane, Alves *et al.* (2015) tested the use of hydrogel in granules mixed in soil at doses of 0, 15, 30 and 45 kg ha<sup>-1</sup> and observed that polymer use contributed to the greater vegetative growth and an increase of the number of tillers. The most promising dose was 45 kg ha<sup>-1</sup> with 60 mm of water used via irrigation. Similarly, Monteiro *et al.* (2015) found Hydroplan®-EB hydrogel to be efficient in promoting the survival of *Brachiaria* species planted on an Oxisol.

These results differ from those reported by Marques and Pinto (2013), who tested a hydrogel made from a mixture of two commercial hydrogels (Hydroplan-EB / HyB-M and Hydroplan-EB / HyC) at doses 0; 26.67; 53.33 and 80.00 kg ha<sup>-1</sup> and recorded no effect on sugarcane.

## CONCLUSIONS

With results coming from studies across a diversity of different agricultural segments, it is evident that the use of hydrogel polymers has grown significantly in the last years in Brazilian agriculture, pointing great potential for their use

Já na produção de mudas de pimentão, Marques e Bastos (2010) encontraram respostas positivas lineares no desenvolvimento das mudas, além do melhor aproveitamento da água de irrigação ao testarem as doses do hidrogel Hidroplan-EB® (0; 1; 1,5; e 2 g kg<sup>-1</sup> de solo).

### Uso do hidrogel em Cafeeiros

A utilização de hidrogel no cultivo de café é bastante abrangente em estados brasileiros como Minas Gerais e Espírito Santo devido à existência de veranicos no período de transplante para as mudas no campo, o que dificulta seu pleno estabelecimento e desenvolvimento, portanto, foi separado um tópico para apresentar alguns resultados da utilização de hidrogel para essa cultura.

Em pesquisa realizada por Souza *et al.* (2016), foram observados resultados satisfatórios de crescimento de mudas de cafeeiro utilizando 1,5 kg de hidrogel em 400 L de água, com aplicação de 1,5 L da solução por cova. Além disso, Oliveira *et al.* (2014) observaram nas doses aproximadas de 1,5 kg do hidrogel Hidroplan-EB® diluído em 400 L de água modificações anatômicas no floema, xilema, estômatos e parênquima das folhas que favorecem as relações hídricas das plantas de cafeeiro.

Utilizando o hidrogel como alternativa à irrigação complementar na produção de mudas de cafeeiro, Marques *et al.* (2013) observaram que 2 g do polímero Hidroplan-EB®, misturadas ao substrato, promoveram mudas de mesma qualidade que aquelas produzidas sob irrigação convencional.

### Uso do hidrogel em Poaceas

Estudando o desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar, Alves *et al.* (2015) testaram o uso de hidrogel em grânulos misturados ao solo nas doses 0, 15, 30 e 45 kg ha<sup>-1</sup> e observaram que o uso do polímero contribuiu para o maior crescimento vegetativo e para o incremento do número de perfilhos. A dose mais promissora foi a de 45 kg ha<sup>-1</sup> quando se utiliza 60 mm de água via irrigação. Da mesma forma, Monteiro *et al.* (2015) constataram que o hidrogel Hydroplan®-EB foi eficiente para promover a sobrevivência de espécies de braquiária em um Latossolo.

Esses resultados divergem dos encontrados por Marques e Pinto (2013), que testando as doses 0; 26,67; 53,33 e 80,00 kg ha<sup>-1</sup> de um hidrogel confeccionado a partir da mistura de dois hidrogéis comerciais (Hydroplan-EB/HyB-M e Hydroplan-EB/HyC) não encontraram efeito dessas doses nas variáveis analisadas de cana-de-açúcar.

## CONCLUSÕES

Com os resultados encontrados nos diversos segmentos da agricultura, observa-se que a utilização do polímero vem crescendo significativamente nos últimos anos na agricultura brasileira, apontando grande potencial de utilização na agricultura local em função da consolidação de suas benfeitorias às culturas;

in Brazilian agriculture, a result of experimental testing that has shown the potential benefits of using such materials;

Research coverage is not equally distributed; silviculture, with studies on seedling production and post-plant survival tests, has, over the last ten years conducted by far the largest number of studies on hydrogels use in Brazilian agriculture. However, fruit production, and the coffee industry also stand out in the frequency with which such polymers are used. However, use of the polymer in commercial plantations of adult phase perennial species has not been reported;

There are many trademarked forms of hydrogel being applied in research across various branches of Brazilian agriculture, including: Hidroplan-EB<sup>®</sup>, ForthGel<sup>®</sup>, Hidroterragel<sup>®</sup>, EcogelVEG<sup>®</sup>, Hidrossolo<sup>®</sup>, Supragua<sup>®</sup> and Hidratassolo<sup>®</sup>, underscoring the progress in the use of this technology in the Brazilian agriculture in recent years. In the literature assayed for this study, not all the studies mentioned the commercial brand used in testing. Due to the large number of options and the possible differences between them, it is suggested that in the future work the trademark, the amount of hydrogel used and the method of application should be disclosed;

For polymer application methods, the use of granules directly mixed with substrates is most often used in seedling production, while use of hydrated gel at the planting site is a promising alternative for shoots and cuttings;

The amount of hydrogel applied varies according to the species, method and purpose. Meanwhile, physico-chemical studies of these polymers are focussed mainly on improving their water-retention capacity and enhancing biodegradability;

All the works cited here discuss their results in terms of improvements known to be derived from the use of hydrogels. No studies reporting negative effects of hydrogel use were found.

Nota-se que a silvicultura, com estudos realizados na produção de mudas e em testes de sobrevivência pós-plantio, concentra o maior número de trabalhos acerca da utilização dos hidrogéis nos últimos dez anos na agricultura brasileira, porém, a fruticultura, a olericultura e a cafeicultura também se destacam em número quanto ao uso desse polímero;

Não foi relatado o uso do polímero em plantios definitivos de espécies perenes na fase adulta;

Há muitas marcas comerciais de hidrogel sendo aplicadas em pesquisas nos diversos ramos da agricultura brasileira, tais como Hidroplan-EB<sup>®</sup>, ForthGel<sup>®</sup>, Hidroterragel<sup>®</sup>, EcogelVEG<sup>®</sup>, Hidrossolo<sup>®</sup>, Supragua<sup>®</sup> e Hidratassolo<sup>®</sup>, confirmando o avanço da utilização dessa tecnologia na agricultura brasileira nos últimos anos;

Na literatura pesquisada, verificou-se que nem todos os trabalhos apresentaram a marca comercial do produto testado. Em função da grande quantidade e das possíveis diferenças entre elas, sugere-se que nos trabalhos futuros sejam divulgadas a marca comercial, a quantidade do hidrogel utilizado e o método de aplicação;

Quanto ao método de aplicação do polímero, o uso em grânulos em mistura direta com substratos é o mais utilizado na produção de mudas, porém, a utilização do gel hidratado no local de plantio apresenta-se como uma alternativa promissora;

A quantidade de hidrogel aplicado varia em função da espécie, do método e do objetivo de uso. Já os estudos avançados desses polímeros estão voltados, principalmente, às melhorias de sua capacidade de retenção de água e do poder biodegradativo;

Todos os trabalhos aqui citados discutem seus resultados em função das benfeitorias já caracterizadas pelo uso dos hidrogéis, não tendo sido constatados trabalhos com efeitos negativos pelo uso de hidrogel.

## SCIENTIFIC LITERATURE CITED

AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**. v. 6, p. 105–121, 2015.

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; SILVA JUNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 6, p. 671–679, 2009.

ALVES, J. E. C.; CLEMENTE, C. V.; RODRIGUES, P. H. V. Polímero hidrorretentor no desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar. **Bioenergia em Revista: diálogos**. v. 5, n. 1, p. 66-72, 2015.

AOUADA, F. A.; MOURA, M. R.; MENEZES, E. A.; NOGUEIRA, A. R. A.; MATTOSO, L. H. C. Síntese de hidrogéis e cinética de liberação de amônio e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n. 4, p. 1643-1649, 2008.

AOUADA, F. A.; MOURA, M. R.; ORTS, W. J.; MATTOSO, L. Preparation and characterization of novel micro- and nanocomposite hydrogels containing cellulosic fibrils. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v. 59, n. 17, p. 9433-9442, 2011.

AOUADA, F. A.; MUNIZ, E.; VAZ, C. M. P.; MATTOSO, L. H. C. Correlação entre parâmetros da cinética de intumescimento com características estruturais e hidrofílicas de poliacrilamida e metilcelulose. **Química Nova**. v. 32, n. 6, p. 1482-1490, 2009.

- AZEVEDO, G. T. O. S.; SOUZA, A. M.; AZEVEDO, G. B.; CERQUEIRA, P. H. A. Enraizamento de miniestacas de eucalipto com diferentes doses de polímero hidrorretentor incorporado ao substrato. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 773-780, 2015.
- AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.
- BARTIERES, E. M. M.; CARNEVALI, N. H. S.; LIMA, E. S.; CARNEVALI, T. O.; MALLMANN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 145-151, 2016.
- BERNARDI, A. C. C.; TAVARES, S. R. L.; SCHMITZ, A. A. Produção de meloeiro utilizando um polímero hidrofílico em diferentes frequências de irrigação em casa-de-vegetação. **Irriga**, v. 10, n. 1, p. 82-87, 2005.
- BERNARDI, M. R.; SPEROTTO JUNIOR, M.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 67-74, 2012.
- BERTOLIN, A.; AOUADA, F. A.; LONHO, E.; MATTOSO, L. H. C. Investigação do processo de absorção de água de hidrogéis de polissacarídeos: efeito da carga iônica, presença de sais, concentrações de monômero e polissacarídeos. **Polímeros**, v. 22, n. 4, p. 311-317, 2012.
- BOWMAN, D. C.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amend container media. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 3, p. 382-386, 1990.
- BRITO, C. W. Q.; RODRIGUES, F. H. A.; FERNANDES, M. V. S.; SILVA, L. R. D.; RICARDO, N. M. P. S.; FEITOSA, J. P. A.; MUNIZ, E. C. Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos a partir de copolímeros acrilamina-acrilato e caulim: efeito da constituição de diferentes caulins do nordeste brasileiro. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 40-45, 2013.
- CARVALHA, R. R.; CRUZ, M. C. M.; MARTINS, L. M. Frequência de irrigação utilizando polímero hidroabsorvente na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 518-526, 2013.
- CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-09/dados-da-conab-informam-ue-producao-agricola-brasileira-cresceu-82-em-2015>.
- CRUZ, M. C. M. HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D.; RAMOS, P. S. Desempenho do porta-exerto de tangerineira ‘Cleópatra’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 471-475, 2008.
- DEMARTELAERE, A. C. F.; DUTRA, I.; ALVES, S. S. V.; TEÓFILO, T. M. S.; ALVES, S. V. Utilização de polímeros hidroabsorventes no meloeiro (*Cucumis melon* L.) sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 5-8, 2009.
- DIMITRI, C.; SCALERA, F.; MADAGHIELE, M.; SANNINO, A.; MAFFEZZOLI, A. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. **International Journal of Polymer Science**, v. 2013, p. 1-6, 2013.
- DRANSKI, J. A. L.; PINTO JUNIOR, A. S.; CAMPAGNOLO, M. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Sobrevivência e crescimento do pinhão-mansão em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. **Revista Brasileiro de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 537-542, 2013a.
- DRANSKI, J. A. L.; PINTO JUNIOR, A. S.; CAMPAGNOLO, M. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M.; GUIMARÃES, V. F. Sobrevivência e crescimento inicial do pinhão-mansão em função da época de plantio e do uso de hidrogel. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 489-498, 2013b.
- DUSI, D. M. Efeito da adição do polímero hidrorretentor na eficiência da adubação nitrogenada no crescimento de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, em dois diferentes substratos. 2005. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 187-190, 2009.
- FAGUNDES, M. C. P.; CRUZ, M. C. M.; CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA J.; SOARES, B. C. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 121-129, 2015.
- FERREIRA, E. A.; SILVA, V. A.; SILVA, E. A.; SILVEIRA, H. R. O. Eficiência do hidrogel e respostas fisiológicas de mudas de cultivares apirênicas de citros sob déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 158-165, 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. The State of Food and Agriculture in 2013: food system for better nutrition. 2013.

- GERVÁSIO, E. S.; FRIZZONE, J. A. Caracterização físico-hídrica de um condicionador de solo e seus efeitos quando misturado a um substrato orgânico. **Irriga**, v. 9, n. 2, p. 94-105, 2004.
- HAFLE, O. M.; CRUZ, M. C. M.; RAMOS, J. G.; RAMOS, P. S.; SANTOS, V. A. Produção de mudas de maracujazeiro-doce através da estaquia utilizando polímero hidrorretentor. **Revista Brasileira de Ciências Agrária**, v. 3, n. 3, p. 232-236, 2008.
- HASSAN, A.; EL-REHIM, A. Characterization and possible agricultural application of polyacrylamide/sodium alginate crosslinked hydrogels prepared by ionizing radiation. **Journal Applied Polymer Science**, v. 101, p. 3572-3580, 2006.
- KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.
- LIMA, R. M. F.; SOUZA, V. V. Polímeros Biodegradáveis: aplicação na agricultura e sua utilização como alternativa para a proteção ambiental. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 1, p. 75-82, 2011.
- LOPES, J. L. W.; SILVA, M. R.; SAAD, J. C.; ANGÉLICA, T. S. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 217-224, 2010.
- MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, 2010.
- MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 1-7, 2013.
- MARQUES, T. A.; PINTO, L. E. V. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 680-685, 2013.
- MENDONÇA, T. G.; QUERIDO, C. M.; SOUZA, C. F. Eficiência do polímero hidroabsorvente na manutenção da umidade do solo no cultivo da alface. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 239-245, 2015.
- MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L.; AZEVEDO, G. T. O. S.; SOUZA, A. M. Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 107-116, 2015.
- MONTEIRO, M. M.; SOUZA, D. M.; VENTUROLI, F. Influência de polímero hidroabsorvente na recuperação ecológica de latossolo recoberto com braquiária no cerrado. **Revista Biológica Neotropical**, v. 12, n. 1, p. 20-25, 2015.
- MONTESANO, F. F.; PARENTE, A.; SANTAMARIA, P.; SANNINO, A.; SERIO, F. Biodegradable superabsorvente hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 451-458, 2015.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; CRUZ, M. C. M.; VILLAR, L.; HAFLE, O. M. Efeito de doses de polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira. **Revista Agrarian**, v. 3, n. 8, p. 133-139, 2010.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; CRUZ, M. C. M.; VILLAR, L.; HAFLE, O. M. Ácido indolbutírico e polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira-preta. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 1, p. 74-81, 2012.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; FIOR, C. S.; CUNHA, F. S.; BERGUETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucapalyptus dunni* Maiden. **Scientia Florestal**, v. 43, n. 106, p. 467-476, 2015a.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; REININGER, L. R. S.; FIOR, C. S.; ACHAFAER, G.; PEREIRA, M. O. Initial growth of seedlings of *Eucalyptus dunnii* Maiden as influenced by the addition of natural polymer and farming substrates. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 627-637, 2016.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; REININGER, L. R. S.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA, M. O. Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucapalyptus dunni*. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 315-328, 2015b.
- OLIVEIRA, N. K.; CASTRO, E. M.; GUIMARÃES, R. J.; PIEVE, L. M.; BALIZA, D. P.; MACHADO, J. P.; FREITAS, T. Anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímeros hidrorretentores. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 258-265, 2014.
- OLIVEIRA, P. G. F.; MOREIRA, O. C.; BRANCO, L. M. C.; COSTA, R. N. T.; DIAS, C. N. Eficiência de uso dos fatores de produção água e potássio na cultura da melancia irrigada com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 153-158, 2012.
- OLIVO, A. M.; ISHIKI, H. M. Brasil frente à escassez de água. **Colloquium Humanarum**, v. 11, n. 3, p. 41-48, 2014.

PAZ, V. P. S.; TEODORO R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

SAAD, J. C. C.; LOPES, J. L. W.; SANTOS, T. A. Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urgrandis* em dois solos diferentes. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 404-411, 2009.

SABADINI, R. S. Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes. Tese. Universidade de São Carlos – USP. 150p. 2015.

SANTOS, H. T.; CARVALHO, D. F.; SOUZA, C. F.; MEDICI, L. O. Cultivo de alface em solos com hidrogel utilizando irrigação automatizada. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 852-862, 2015.

SOUZA, A. J. J.; GUIMARÃES, R. J.; COLOMBO, A.; SANT'ANA, A. V.; CASTANHEIRA, D. T. Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining polymer in irrigated system. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 162-171, 2016.

TEO, M. A.; CORREA, T. U.; DENARDIN, R. B. N. Efeito da aplicação do gel hidrorretentor sobre a sobrevivência de mudas de *Eucalyptus grandis* aos cinco e trinta dias pós-plantio. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 24, n. 1, p. 40-47, 2014.

VICENTE, M. R.; MENDES, A. A.; SILVA, N. F.; OLIVEIRA, F. R.; MOTTA JÚNIOR, M. G.; LIMA, V. O. B. Uso de gel hidrorredentor associado à irrigação no plantio do eucalipto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 5, p. 344-349, 2015.

VICHIATO, M.; VICHIATO, M. R. M.; SILVA, C. R. R. Crescimento e composição mineral do porta-enxerto tangerineira Cleópatra cultivado em substrato acrescido de polímero hidrorretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 748-756, 2004.

VUNDAVALLI, R.; VUNDAVALLI, S.; NAKKA, M.; SRINIVASA, R. D. Biodegradable nano-hydrogels in agricultural farming - alternative source for water resources. **Procedia Materials Science**, v. 10, p. 548-554, 2015.