

**FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE ECONOMIA DE SÃO PAULO**

LUCIANO DE GISSI

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO PELO USO DE
FERTILIZANTES NITROGENADOS REVESTIDOS**

**SÃO PAULO
2017**

LUCIANO DE GISSI

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO PELO USO DE
FERTILIZANTES NITROGENADOS REVESTIDOS**

Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas – EESP – FGV, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronegócio.

Campo de conhecimento: Economia e Gestão do Agronegócio.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Delgado Assad

**SÃO PAULO
2017**

Gissi, Luciano de.

Mitigação das emissões de óxido nitroso pelo uso de fertilizantes nitrogenados revestidos / Luciano de Gissi. - 2017.

50 f.

Orientador: Eduardo Delgado Assad

Dissertação (MPAGRO) - Escola de Economia de São Paulo.

1. Fertilizantes nitrogenados. 2. Gases estufa. 3. Efeito estufa (Atmosfera).
4. Economia agrícola - Brasil. I. Assad, Eduardo Delgado. II. Dissertação (MPAGRO) - Escola de Economia de São Paulo. III. Título.

CDU 551.588.7:631.8

LUCIANO DE GISSI

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO PELO USO DE
FERTILIZANTES NITROGENADOS REVESTIDOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Economia da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas – EESP/FGV, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Agronegócio.

Data de Aprovação:

__/__/__

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Delgado Assad
FGV-SP

Prof. Dr. Ângelo Costa Gurgel
FGV-SP

Prof^a. Dr^a. Susian C. Martins
FGV-SP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me permitir avançar nessa caminhada.

À Adriana, minha esposa, pelo companheirismo, dedicação, paciência na ausência em diversas ocasiões para a dedicação ao curso. Espero poder retribuir em nossa nova vida juntos.

Aos meus filhos Luan e Igor e à minha enteada Pâmela pela compreensão da minha indisponibilidade de estarmos juntos e à minha filha Anabella, que nasceu durante esse curso.

Ao meu amigo e sócio Renato Peixoto, pelo incentivo e apoio desde o início dessa jornada.

Ao meu orientador Dr. Eduardo D. Assad, pelos enormes e incansáveis ensinamentos e pela paciência na correção dos meus textos durante as orientações em Campinas, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos colegas de empresa Bruno e Juscélio, pelo apoio e compartilhamento do material técnico fundamental para a conclusão deste trabalho.

Aos meus professores da FGV-EESP, ESALQ e EMBRAPA e aos meus colegas de classe, que ajudaram a deixar as sextas-feiras e os sábados mais leves, mesmo com a pesada carga horária de nossa jornada dupla.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.

Albert Einstein

RESUMO

Os fertilizantes nitrogenados são responsáveis por parte das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) do setor agropecuário. Estimativas recentes apontam que em 2014 os fertilizantes sintéticos contribuíram com mais de 33 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂ eq) emitidos. Portanto, avaliar formas de mitigar essas emissões pode contribuir para a sustentabilidade do setor agrícola. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a ureia revestida proporciona redução de emissões de CO₂ eq e se as técnicas industriais de revestimento dos grânulos de ureia são economicamente viáveis. Para isso, fez-se uma busca sistemática na literatura; utilizaram-se dados de experimentos de campo; foi feita uma análise econômica do uso de fertilizante nitrogenado revestido. Conclui-se que a ureia revestida diminui em até 50% as emissões do óxido nitroso na atmosfera, quando comparada à ureia não revestida, pois o revestimento possibilita aumento da eficiência do fertilizante nas lavouras e a consequente redução da quantidade aplicada. Por meio deste estudo, espera-se contribuir para a mitigação da emissão de GEEs, melhorar a eficiência das práticas da agricultura ABC e estimular a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e de proteção do ambiente.

Palavras Chaves: Polímero. Aquecimento global. Ureia revestida. Mitigação. Gases de Efeito Estufa.

ABSTRACT

The use of nitrogen fertilizers is responsible for part of GHG emissions from the agricultural sector. In the 3rd edition of the inventory only synthetic fertilizers contributed with more than 33 million tons of CO₂ equivalent emitted in 2014. Therefore evaluating ways to mitigate these emissions can contribute to the sustainability of this sector. Therefore, the objective of this study was to evaluate possible options that could reduce CO₂ and eq emissions in the sector.

It was carried out an exploratory work of bibliographical review that had as objective to demonstrate the evaluation of possible industrial techniques of coating the granules of urea making possible the reduction of fertilizer use due to the increase of nutrient efficiency in the crops. A systematic search was carried out in the literature, field experiments were used, as well as a practical demonstration through verifying calculations where it was possible to observe that the use of a product with specific characteristics in the agribusiness that can contribute to decrease Up to 50% of the emissions of nitrous oxide into the atmosphere emitted by urea. Through this study, it is hoped to contribute to the mitigation of greenhouse gas emissions and to improve the efficiency of ABC agriculture practices, as well as to seek other ways to protect the environment and produce a more sustainable agribusiness in Brazil. An economic analysis on the reduction of costs in the use of protected nitrogen fertilizer is also made.

Keywords: Polymer. Global warming. Protected urea. Mitigation. Greenhouse gases.

ÍNDICES DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Câmaras de vidro utilizadas no experimento.	34
Figura 2 – Imagem ilustrativa das câmaras com recipiente de coleta de gases para análises.	35
Figura 3 – Detalhe da câmara de volatilização que consegue quantificar a quantidade volatilizada do nitrogênio na forma de gás amônio.....	36
Figura 4 – Equipamento que faz a aplicação dos polímeros na superfície dos grânulos da ureia.....	36
Figura 5 – Foto de microscopia eletrônica de varredura realizada na UNESP-Campus de Jaboticabal, mostrando as duas camadas sobre a superfície da Ureia fertilizante.	37
Figura 6 – Imagem ilustrativa do grânulo da ureia com revestimento.	38

TABELAS

Tabela 1 – Consumo esperado de nitrogênio por nível de tecnologia, Brasil, para arroz, feijão, trigo, milho, soja e total, até 2061/62.	17
Tabela 2 – Equivalência em carbono GWP e GTP dos gases mais comuns do efeito estufa.....	25
Tabela 3 – Distribuição do consumo mundial de ureia e emissões de óxido nitroso e equivalente CO ₂ – Conversão de Emissões em GWP-100.	25
Tabela 4 – Descrição dos tratamentos. Santa Maria, RS, 2012.....	29
Tabela 5 – Fontes de nitrogênio e doses de N em cobertura, aplicados a lanço.	30
Tabela 6 – Características químicas da área experimental na camada de 0-20 cm.	33

QUADROS

Quadro 1 – Ureia no mundo – Potencial de oferta/demanda (milhões de toneladas de produto)	16
Quadro 2 – Distribuição mundial da demanda de ureia em porcentagem.....	16
Quadro 3 – Previsões de Crescimento da População Mundial.	18
Quadro 4 – Variações de volume na demanda final para produtos selecionados: de 2015 a 2026.....	19
Quadro 5 – Estimativas anuais de emissões em CO ₂ eq. para os subsetores do setor agropecuário no Brasil de 1990 a 2014.	23
Quadro 6 – Síntese dos resultados oficiais de comparação de fertilizantes nitrogenados.....	39
Quadro 7 Cálculo das possíveis reduções de emissão de CO ₂ eq pela cultura do milho no Brasil, 2015.....	42

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Emissões de N ₂ O: Evolução das emissões de N ₂ O por setor, de 1990 a 2010.....	24
Gráfico 2 – Curva de eficiência comparativa entre ureia convencional e ureia revestida em milho safrinha-Fazenda São João, Rio Paranaíba-MG.	40
Gráfico 3 –Emissões acumuladas de N ₂ O do solo com aplicação de N-fertilizante com diferentes aditivos.....	40

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC – agricultura de baixo carbono.

CNPSA – Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.

FBN – fixação biológica do nitrogênio.

FFPSA – Fundo Federal de Pagamento por serviços Ambientais.

GEE – gases de efeito estufa.

GTP – Global Temperature Potential.

GWP – Global Warming Potencial.

ILP – integração lavoura-pecuária.

ILPF – integração lavoura-pecuária e floresta.

MARA – Ministério da Agricultura e Reforma Agraria.

NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada.

NPK – Nitrogênio, fósforo, cálcio.

PFPSA – Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais.

PNPSA – Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
ÍNDICES DE ILUSTRAÇÕES	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Hipótese	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
1.4 Crescimento da população	18
1.5 Crescimento da demanda de alimentos	19
1.6 Crescimento da demanda de fertilizantes.....	20
1.7 Aquecimento global	21
1.8 Emissões de N ₂ O pela ureia.....	22
2.1. Possíveis reduções de emissão do N ₂ O.....	25
2 METODOLOGIA	27
2.1 Etapa 1	27
2.1.1 Uso e manejo do nitrogênio na cultura do arroz.....	27
2.1.2 Avaliação da produtividade de arroz em função da adubação nitrogenada.....	28
2.1.3 Eficiência agrônômica da ureia revestida com polímeros em cobertura na cultura do algodão	30
2.1.4 Avaliação da produtividade de milho em função da adubação nitrogenada revestida com polímeros.....	31
2.1.5 Avaliação do comportamento produtivo do cultivar de arroz BRSMG Caravera a diferentes fontes e épocas de aplicação de adubação nitrogenada em cultivo irrigado e sequeiro	32
2.1.6 Eficiência da ureia revestida com polímeros, na produtividade do milho safrinha	32
2.2 Etapa 2	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade nos dias de hoje é a mudança do clima causada por interferência humana, pela alteração na composição gasosa da atmosfera do planeta (IPCC, 2007). A ciência tem avançando no conhecimento das principais causas dessa mudança e os impactos em diversos setores, como agricultura, recursos hídricos, saúde humana, energias renováveis, ecossistemas e biodiversidades, zonas costeiras e oceanos, infraestrutura, cidade e indústria (MCTI, 2016).

Os impactos das mudanças climáticas globais têm sido foco de autoridades científicas, governamentais, terceiro setor e da sociedade civil do mundo todo. Grandes eventos internacionais têm sido planejados visando definir estratégias para redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo um bom exemplo a COP 21, realizada em dezembro de 2015.

Os países protocolaram acordos, com metas de redução de emissões, num compromisso de contribuir para a melhoria do ambiente global. A meta de não ultrapassar 2°C de aquecimento até 2050 e de buscar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais é desafiadora. Porém, essa meta é necessária para evitar graves problemas mundiais.

A meta brasileira é reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% até 2030, tendo como ano-base 2005. A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) contém ações como o fim do desmatamento ilegal da Amazônia, a restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares, a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e o alcance de 45% de participação de energias renováveis na composição da matriz energética brasileira (COP21, 2016).

O aquecimento do planeta ocorre em função do aumento da concentração dos GEE emitidos na atmosfera. Em média, cada habitante do planeta emite sete toneladas de CO₂ equivalente (CO₂ eq) por ano (MCTI, 2016). Os três principais GEE são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

As emissões do N₂O, que tem o potencial de aquecimento em torno de 310 vezes maior que a do dióxido de carbono, aumentou de 303,5 Gg em 1990 para 472,1 Gg em 2010, somente no setor da agropecuária. Isso representa acréscimo de

55,55% em 20 anos. Convertendo gigagramas em toneladas, o Brasil emite, na atmosfera anualmente 472.100 toneladas somente no setor agropecuário (MCTI, 2016). Segundo o Sistema de Registro Nacional de Emissões (MCTI, 2016), em 2010, o Brasil emitiu 1.271.399 Gg de CO₂ eq na atmosfera, sendo 58,1% de CO₂, 27,6% de CH₄, 13,7% de N₂O e 0,6% de gases de flúor, do total de N₂O emitido 84,2% provêm diretamente do setor agropecuário.

Grande parte da emissão do N₂O na agropecuária vem dos fertilizantes nitrogenados a base de ureia, utilizada em grande escala na agricultura mundial. Trata-se do principal fertilizante fornecedor de nitrogênio para as culturas. A ureia emite N₂O tanto de maneira direta como indireta (IPCC, 2006). A cada 100kg de nitrogênio aplicado via solo em um hectare, para a fertilização das culturas, são emitidos 645,5 kg CO₂ eq. na atmosfera, considerando as emissões diretas e indiretas (IPCC, 2006).

A previsão de consumo mundial de fertilizantes é de crescimento e o Brasil se inclui nessa perspectiva, em função do aumento da população mundial e nacional. Embora esse fenômeno em países mais evoluídos seja praticamente nulo, os demais apresentam tendência de forte avanço populacional. Assim, mais de 50% da elevação da população mundial até 2050 deve se concentrar em nove países: Índia, Nigéria, República Democrática do Congo, Etiópia, Tanzânia, Estados Unidos da América, Indonésia e Uganda. A população mundial saltará de 7,3 bilhões de pessoas em 2015 para 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (ONU, 2016). O Brasil deverá ter população próxima de 240 milhões de pessoas em 2030 (IBGE, 2016).

Segundo a FAO (2014), se o ritmo de consumo continuar, o mundo demandará 60% a mais de alimento até 2050, provocando aumento do consumo de fertilizantes. Segundo a ANDA (2017), em 2016, foram entregues ao mercado brasileiro mais de 34 milhões de toneladas de fertilizantes, quantidade 12,9% superior ao volume entregue em 2015. Portanto, é preciso estudar possibilidades de redução de emissões do GEE de forma eficiente e, sobretudo, viável economicamente. A fixação biológica do nitrogênio (FBN) reduz drasticamente as emissões do gás. Diversos estudos e publicações já comprovaram a sua eficiência (PICHELLI, 2016).

O presente trabalho visa propor uma tecnologia para mitigação das emissões de nitrogênio pela ureia, um dos principais fertilizantes nitrogenados. A partir de polímeros adicionados a minerais, essa tecnologia reduz as perdas de nutrientes para o

ambiente, possibilita redução das doses de ureia por área, sem prejuízo da produtividade. Além disso, essa tecnologia reduz a volatilização e lixiviação do nitrogênio e, conseqüentemente, poderá reduzir as emissões de N_2O para a atmosfera.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar se ureia revestida proporciona redução de emissões de CO_2 eq e se as técnicas industriais de revestimento dos grânulos de ureia são economicamente viáveis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a capacidade da tecnologia dos polímeros de aumentar a eficiência da ureia e, conseqüentemente, de reduzir a quantidade de nitrogênio aplicado por área, sem prejuízo na produtividade;
- Analisar o potencial de redução de emissão do N_2O em decorrência da diminuição da dose de nitrogênio aplicado, bem como a redução de emissão do N revestido pelas camadas de polímeros;
- Avaliar a viabilidade econômica da tecnologia, bem como seus ganhos ambientais potenciais.

1.3 HIPÓTESE

A tecnologia de revestimento da ureia com complexo de polímeros associado a minerais reduzirá as emissões de óxido nitroso, proporcionará diminuição da quantidade de fertilizante aplicado por área e manterá a produtividade agrícola.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Um dos grandes desafios enfrentados pela sociedade contemporânea é seu crescimento de forma sustentável, ou seja, a necessidade de conseguir manter meios para suprir uma sociedade que tende cada vez mais a ser populosa, não apenas por aqueles que nascem, também pelo aumento de expectativa de vida. De acordo com as Nações Unidas, até o ano de 2050, estima-se que haverá cerca de 9,6 bilhões de indivíduos no planeta terra (ONU, 2015).

O mesmo trabalho estima que, até 2100 a população crescerá cerca de 53%. Esse aumento da população na ordem de 53% no período estimado demandará proporcional crescimento na produção de alimentos para o atendimento da necessidade crescente; a demanda de fertilizantes deve acompanhar essa tendência, já que o crescimento da produção possivelmente se dará por crescimento na produtividade e produção das culturas, uma vez que, de forma geral, exceto o Brasil, a maioria dos outros países tem limitações para aumento de áreas cultivadas.

Com a expectativa de crescimento da população, observa-se a necessidade de gerar aumento proporcional na produção de alimentos que, por sua vez, impulsiona o consumo de fertilizantes, principalmente do nitrogênio, fósforo e potássio e outros macronutrientes. Os macronutrientes levam esse nome por serem aqueles que são consumidos em maiores quantidades pela agricultura.

Os elementos químicos presentes nos fertilizantes, conforme a quantidade ou proporção, podem ser divididos em duas categorias: macronutrientes (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, silício, cobalto e níquel). Se o solo não dispuser de suficiente quantidade de qualquer dos nutrientes mencionados, mesmo aqueles minimamente necessários, há prejuízo no crescimento e no desenvolvimento da planta. As deficiências mais comuns são de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), daí a fórmula básica dos fertilizantes, NPK, que indica o percentual de nitrogênio na forma de N elementar, o teor percentual de fósforo na forma de pentóxido de fósforo e o teor de potássio em óxido de potássio.

Componente das proteínas e da clorofila, constituinte dos aminoácidos livres e proteicos, o nitrogênio é primordial no aumento da produtividade agrícola. O fósforo é responsável pelos processos vitais das plantas, pelo armazenamento e utilização de energia, promove o crescimento das raízes e a melhora da qualidade dos grãos, além

de acelerar o amadurecimento dos frutos. O potássio é responsável pelo equilíbrio de cargas no interior das células bem como pela regulação de abertura e fechamento dos estômatos.

Do ponto de vista do processo produtivo, o N, P, K são os mais importantes. Os demais macros e micronutrientes, apesar da importância biológica, não têm expressão econômica na indústria de fertilizantes, nem valorização comercial significativas, por serem utilizados em quantidades muito pequenas e que, por sua vez, crescem em volume e importação para aplicação foliar.

Os fertilizantes estão definidos na legislação brasileira segundo Decreto 86.955, de 18 de fevereiro de 1982 como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas”. Têm como função repor ao solo os elementos retirados em cada colheita, com a finalidade de manter ou mesmo ampliar o potencial produtivo. Sua participação é fundamental para o aumento do rendimento físico da agricultura, a produtividade.

O setor de fertilizantes é fundamental e estratégico na produção de alimentos, pois ainda não é possível produzir grande quantidade de alimentos (sejam cereais, frutas, verduras) sem a intervenção do uso de fertilizantes.

De acordo com Costa e Silva (2015), sem a utilização do uso de fertilizantes é impossível acompanhar a demanda por alimentos, esse cenário já foi sentido pelo Brasil na década de 2000, ocasionando déficit crescente e persistente por falta de recursos alimentares, exigindo grande quantidade de importação e, conseqüentemente, que ações estratégicas fossem implantadas com agilidade.

Como grande produtor agrícola, o país é também grande consumidor de fertilizantes, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos. Apesar de ser grande demandante, porém, a produção interna de insumos para fertilizantes é insuficiente para atender ao consumo, cerca de 80% dos fertilizantes utilizados provêm de importações. A alta dependência externa deixa o país vulnerável a flutuações de câmbio e preços, trazendo risco de escassez de insumos básicos. Tendo em vista a importância estratégica dos fertilizantes para o país, é necessário reduzir a participação das importações no consumo nacional, elevando a produção interna. O país tem reservas de fósforo e potássio, matérias-primas para a produção de fertilizantes fosfatados e potássicos, com potencial para serem exploradas (Outlook Fiesp, 2014).

Assim, os fertilizantes fazem parte do cotidiano do agronegócio. No entanto, como pôde ser observado anteriormente, apesar de existir a necessidade de demanda

cada vez maior de fertilizantes, para o sustento da sociedade como todo, é necessário ter em mente os malefícios potenciais que esses produtos químicos podem produzir, não só para os alimentos em si, mas também na emissão de GEE, como o óxido nítrico, que é grande potencializador de diversas doenças.

Dias e Fernandes (2006) explicam que os fertilizantes têm como fontes de matéria-prima produtos oriundos da petroquímica e da mineração. Dentre eles, podem ser destacados como os de maior importância e uso os fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, que constituem a mistura NPK.

Segundo o quadro 1, a demanda de nitrogênio fornecida pela fonte da ureia deve crescer de 2014 até 2018 próximo a 12,7% no mundo todo, atingindo em torno 202 milhões de toneladas consumidas em um ano.

Quadro 1 – Ureia no mundo – Potencial de oferta/demanda (milhões de toneladas de produto)

	2014	2015	2016	2017	2018
Oferta	188,17	195,84	204,74	211,41	215,97
Demanda	179,8	188,38	193,71	198,12	202,51

Fonte: Adaptado de M. Prud'Homme, IFA, Junho 2014, tradução do autor.

No quadro 2, é possível notar que o Brasil demanda 3% da ureia mundial, sendo o 6º maior do mundo, também é possível notar que 60% de toda demanda de ureia no mundo está concentrada em apenas três países: China, Índia e Estados Unidos.

Quadro 2 – Distribuição mundial da demanda de ureia em porcentagem

China	34%
Índia	20%
Estados Unidos	6%
Indonésia	4%
Paquistão	4%
Brasil	3%
Bangladesh	2%
Outros	27%

Fonte: Vale fertilizantes (2014), quadro elaborado pelo autor.

Porém, os fertilizantes nitrogenados a base de ureia possuem em sua característica intrínseca a liberação de N_2O para a atmosfera, o gás de efeito estufa com maior potencial nocivo dentre os três principais gases estudados.

O nitrogênio, segundo Malavolta (1980), em condições adversas, chega a perder em torno de 80% do nutriente, e as principais perdas conhecidas, até o momento, são pela lixiviação, quando o nutriente percola por entre os grânulos de solo e atingem as camadas mais profundas, onde ficam fora de alcance do sistema radicular, a outra

perda bem conhecida é por volatilização em forma de gás emitido na atmosfera e, por fim, a desnitrificação.

Roquetti Filho (2014), projetou o consumo do nutriente nitrogênio para a safra 2.061/62 em 2.669,076 Mil toneladas somente para a cultura do arroz, feijão, trigo e milho, sendo consumido na safra de 2011/12 o volume de 1.220,841 mil toneladas, ou seja, crescimento de 118,63% nos próximos 50 anos. A projeção então é mais que dobrar as emissões de N₂O nesse intervalo de tempo, para somente quatro culturas no Brasil.

Tabela 1 – Consumo esperado de nitrogênio por nível de tecnologia, Brasil, para arroz, feijão, trigo, milho, soja e total, até 2061/62.

Cultura	Nível 0 (Mil t) 2011/12	Nível 1 (Mil t) 2021/22	Nível 2 (Mil t) 2031/32	Nível 3 (Mil t) 2041/42	Nível 4 (Mil t) 2051/52	Nível 5 (Mil t) 2061/62
Arroz	153,412	194,742	219,460	240,159	253,880	253,880
Feijão	105,330	180,856	253,558	317,521	363,783	363,783
Trigo	86,195	130,327	173,347	206,035	217,587	217,587
Milho	875,904	1.191,761	1.496,500	1.707,240	1.833,825	1.833,825
Soja	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	1.220,841	1.697,687	2.142,866	2.470,957	2.669,076	2.669,076

Legenda: Mil t = Milhares de toneladas de nutriente.

Fonte: ROQUETTI, Filho (2014)

Atualmente, tem-se disponível no mercado, como tecnologias para redução da utilização do nitrogênio a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) que, inicialmente, foi desenvolvida para leguminosas, como é o caso da soja, e que hoje dispensa totalmente o uso de fertilizantes nitrogenados para a cultivo (EMBRAPA, 2010).

Em 2008, a Embrapa lançou oficialmente os inoculantes contendo as primeiras estirpes comerciais de *Azospirillum*, uma bactéria que tem a capacidade de fixar nitrogênio, indicadas para as culturas do milho e do trigo, esses inoculantes vêm sendo utilizados de forma crescente pelos agricultores, porém, apresenta contribuição modesta de FBN em comparação ao *Rhizobium*, utilizado nas leguminosas; ainda segundo a EMBRAPA, no rendimento na colheita de até 11.000 kg/ha, o aporte de N-fertilizante pode ser reduzido em somente 25%, portanto, outra forma de aumentar as reduções de emissões se fazem importantes.

Porém, é inquestionável que não conseguiremos aumentar a produtividade sem aumentar a quantidade empregada de fertilizantes, principalmente do nitrogênio.

A possibilidade de se usar uma tecnologia que reduz as emissões de óxido nítrico da ureia surge como alternativa para uma nova visão em relação ao uso crescente de fertilizantes nitrogenados.

1.4 CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO

De acordo com o relatório da ONU (2015), a população mundial vai crescer 53% e chegar a 11,2 bilhões em 2100. Ainda no relatório da ONU (2015), embora países europeus mais desenvolvidos apresentam baixo ou nulo crescimento, a África apresenta crescimento acima de 100% até 2100, já a Índia deve ultrapassar a população chinesa já em 2022.

Até 2050, segundo o estudo, a população dos 28 países africanos deve crescer em mais de 100%. Até 2100, pelo menos dez dessas nações observarão um avanço demográfico de mais de cinco vezes. São eles: Angola, Burundi, República do Congo, Malauí, Malu, Níger, Somália, Uganda, República Unida da Tanzânia e Zâmbia (Relatório da ONU, 2015).

Além dos países africanos, o crescimento da população mundial sofrerá impacto como todo, não apenas por seu crescimento por novos nascimentos, mas também porque a população está adotando um novo perfil e, devido a melhor qualidade de vida, percebe-se uma população mais velha e menores índices de morbimortalidade de nascituros.

Quadro 3 – Previsões de Crescimento da População Mundial.

Ano	População em bilhões de pessoas
2015	7,3
2030	8,5
2050	9,7
2100	11,2

Fonte: ONU (2016), quadro elaboração do autor.

Ainda sobre essa pesquisa, a ONU revela que 50% do crescimento populacional do planeta até 2050 vai se concentrar em nove países: Índia, Nigéria, República Democrática do Congo, Etiópia, Tanzânia, Estados Unidos da América, Indonésia e Uganda, só a África será responsável por mais de 50% do crescimento da população do planeta até 2050, sendo que, entre 2015 e 2050, o crescimento será de 32% e, entre 2015 a 2010, será de 53%.

Nessa linha de raciocínio, cabe levantar as estatísticas brasileiras referentes ao crescimento da população nacional. De acordo com o IBGE, o Brasil também terá crescimento considerável, chegando à população próxima dos 240 milhões em 2030, número influenciado principalmente pelo aumento do número de idosos e evolução das políticas públicas de saúde.

Nota-se ainda leve prevalência do número de mulheres sobre os homens. No entanto, reconhece-se que, independentemente do gênero, é necessário que a demanda por alimento, infraestrutura e sustentabilidade, de modo geral, passem a ser, de fato, alvo de políticas tanto na iniciativa pública como privada.

1.5 CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ALIMENTOS

Para alimentar a crescente população mundial, haverá necessidade de aumentar a oferta de alimentos e, conseqüentemente, a produção agropecuária em geral. Segundo a FAO (2014), se o ritmo de consumo continuar, em 2050, o mundo consumirá 60% mais alimentos.

Como se pode notar no quadro 4, segundo a variação positiva de demanda das principais culturas, o Brasil, que já é um dos grandes produtores mundiais e, por possuir recursos de terra, tecnologia e capital, tem potencial de crescimento, deverá se manter como um dos mais importantes produtores mundiais de alimentos, buscando suprir os volumes demandados.

Quadro 4 – Variações de volume na demanda final para produtos selecionados: de 2015 a 2026.

Cultura	Variação da demanda
Algodão	18%
Arroz	7%
Café	20%
Cana-de-açúcar	43%
Feijão	23%
Milho	21%
Soja em grãos	14%
Farelo de soja	26%
Óleo de Soja	18%
Trigo	6%

Fonte: FIESP (2016), quadro elaborado pelo autor.

Belik e Correa (2013) alertam que a falta de alimentos e falta de condução adequada no manejo e produção de alimentos podem contribuir direta e indiretamente para a fome.

A distribuição entre a fonte produtora e consumidora também é ponto que gera perdas e contribui para o aumento da demanda de alimentos. O aumento da quantidade de utilização de fertilizantes é necessário quando se projeta crescimento substancial na produção de alimentos e, inevitavelmente, terá de acontecer.

1.6 CRESCIMENTO DA DEMANDA DE FERTILIZANTES

Há consenso mundial de que o aumento da demanda de alimentos está diretamente ligado à demanda de fertilizantes. De acordo com Roquetti Filho (2014), quando observada a produtividade brasileira em relação a outros países, vê-se que o Brasil é um grande produtor de soja, algodão, café, cana-de-açúcar, carnes, entre outros produtos. Os resultados de pesquisa em agricultura tropical apontam para potencial aumento de produção e produtividade dessas commodities. Existe hoje uma faixa entre a produção atual e a quantidade produzida mundialmente. Isso significa que existe espaço para o crescimento na produtividade voltada para esses agropecuários.

A importância do aumento das quantidades de fertilizantes na produtividade agropecuária, bem como nos resultados do agronegócio, é de consenso no setor.

O Brasil demonstra grande dependência da importação desse insumo; segundo Outlook Fiesp 2026 (2016), no cenário 1: cerca de 71% dos fertilizantes NPK utilizados em 2025 serão provenientes de importação, sendo 73% do nitrogênio, 46% do fósforo e 92% do potássio e no cenário 2, cerca de 81% dos fertilizantes NPK utilizados em 2025 serão provenientes de importação, sendo 77% do nitrogênio, 61% do fósforo e 100% do potássio e aliado à expressiva taxa de crescimento anual de consumo, o tema fertilizantes trata-se de questão de segurança alimentar, sendo necessárias políticas públicas que reduzam os gargalos que existem hoje e, nesse sentido, o incentivo à produção nacional se torna inevitável. Assim, a tecnologia que aumente o aproveitamento a eficiência dos fertilizantes e reduza perdas, certamente, contribui para suprir essa necessidade brasileira.

De acordo com Roquetti Filho (2014), o equilíbrio entre o crescimento da agricultura sustentável e o atendimento às demandas por alimentos é fator preponderante para garantir o desenvolvimento da humanidade. Nesse sentido, o balanço de carbono na agricultura brasileira foi negativo, ou seja, maior emissão que sequestro.

Para minimizar essas emissões, é preciso estudar possíveis tecnologias que possam ter esse efeito, bem como fomentar sistemas de produção com menores emissões, como a agricultura de baixo carbono (ABC), integração lavoura pecuária (ILP), integração lavoura pecuária e floresta (ILPF), sistemas agroflorestais, plantio direto de qualidade e, quando possível, associar diferentes técnicas de mitigação para incremento de eficiência na redução de emissões.

Tais considerações ilustram a importância de se discutir possíveis soluções para os impactos ambientais do aumento da demanda de fertilizantes, como se tem mostrado no decorrer deste estudo.

1.7 AQUECIMENTO GLOBAL

Sabe-se que existem efeitos naturais que atuam no aquecimento global, porém, segundo o IPCC, e a maioria absoluta da classe científica defende, o aquecimento global é causado pela emissão dos GEE e já há inúmeros trabalhos científicos que demonstram ligações entre concentração desses gases e as mudanças climáticas, bem como seus efeitos.

Algumas mudanças são facilmente perceptíveis por nós e conhecidas como as maiores fontes de variabilidade interanual de precipitação, quais sejam: os eventos El Niño e La Niña. Tal variabilidade pode causar secas prolongadas ou décadas com mais eventos extremos de chuva (PBMC, 2014).

Neste estudo, optou-se por acompanhar o consenso mundial sobre o aquecimento global provocado por emissões de GEE e serão utilizadas como referências as informações da COP 21 de Paris. As teorias possuem embasamento científico com lastros amplos e será necessário plano de mitigação de emissões em curto espaço de tempo para que as metas brasileiras do acordo de Paris sejam alcançadas.

Na madrugada do dia 12 de dezembro de 2015, boa parte dos 195 países membros da Convenção do Clima das Nações Unidas, mais a União Europeia, assinaram o acordo em agir para manter o aquecimento do planeta “muito abaixo de 2°C” e a fazer esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C. A ambição coletiva será revisada a cada cinco anos, de forma a guiar os esforços para o atingimento da meta de temperatura – mecanismo conhecido como o “torniquete” do acordo.

De acordo com o IPCC (2006), as emissões de N₂O de um sistema agrícola ocorrem de forma direta e indireta. As emissões diretas ocorrem no local que recebe

a fonte de N indutora da formação de N_2O . As emissões indiretas são chamadas de *off-site emissions*, são aquelas produzidas do N de determinada fonte que foi transferido do local que recebe a fonte para outro local, por efeito de volatilização ou lixiviação/*run-off*.

No caso das emissões diretas – para cada kg de N na forma de fertilizante aplicado ao solo, espera-se que 1% seja emitido do solo como N_2O .

Já para as emissões indiretas – para cada kg N na forma de fertilizante aplicado ao solo, 10% são volatilizados e 30% lixiviados. Dos 10% volatilizados, 1% é emitido como N_2O e dos 30% lixiviados, 0,75% são emitidos como N_2O .

Assumindo que esses processos ocorrem em igual intensidade no país, para as culturas de sequeiro, fertilizadas com N, o fator de emissão de N_2O ponderado (perdas diretas e indiretas) é de 1,325% do N aplicado no solo.

Para uma aplicação de 100 kg N ha⁻¹ como fertilizante, esperam-se emissões de 1,325kg N ha⁻¹ como N_2O . Em termos de equivalentes de CO_2 1,325kg de N equivalem a 2,082kg de N_2O , e, pelo IPCC (2006), 1 mol N_2O equivale a 310mol CO_2 , o que significa que 2,082kg N_2O equivalem a 645,5kg CO_2 .

Então, 100kg N ha⁻¹ produzem emissões de N_2O equivalentes a 645,5kg CO_2 eq ha⁻¹, valor que será usado nos cálculos de emissões com base no IPCC 2006.

O aquecimento global é afetado diretamente pela emissão de substâncias químicas, dentre elas, o N_2O é um dos principais. Dessa feita, para esse tópico, escolheu-se abordar o aquecimento global, os impactos do N_2O e as possíveis tecnologias para se evitar os danos causados pelos fertilizantes, principalmente ante as demandas alimentícias.

1.8 EMISSÕES DE N_2O PELA UREIA.

O N_2O é produzido por processos biogênicos¹ da desnitrificação e nitrificação e são importantes para a química da atmosfera. Esse gás contribui para o aquecimento global e para destruição do ozônio na estratosfera.

¹ Proporção significativa das emissões de CO_2 provém da queima de biomassa (material biológico feito de carbono, hidrogênio e oxigênio), especialmente nas atividades produtivas relacionadas ao setor agrícola. Queimar biomassa resulta em emissões consideradas neutras em termos de impacto climático, pois este CO_2 é gerado em ciclo biológico (e não ciclo geológico, como no caso do CO_2 de origem fóssil). Nos termos do atual Protocolo de Quioto, o uso de biomassa e de seus subprodutos como combustíveis alternativos é considerado importante contribuição para a redução nas emissões de GEE (GHG- GREENHOUSE GAS PROTOCOL 2015).

Segundo Cassini (2013), a desnitrificação é processo heterotrófico pelo qual muitos gêneros de bactérias utilizam o carbono orgânico como fonte redutora e, na ausência do O₂, utilizam os óxidos de nitrogênio como aceptores de elétrons. A nitrificação é processo de oxidação biológica das formas redutíveis de nitrogênio (NH₄⁺) resultando em NO₂⁻ e NO₃⁻. As bactérias nitrificantes podem obter energia dessa oxidação ou utilizá-la como produto secundário de nitrificação heterotrófica.

Para Silveira (2015), o óxido nitroso é emitido, principalmente, pela utilização de fertilizantes nitrogenados. Porém, não é a única maneira de emissão na agricultura, pode-se observar também que o óxido nitroso também é emitido pela inserção de dejetos animais no solo, da mineralização da matéria orgânica integrante do solo, além da lixiviação presente nos solos, entre outros, como as queimadas das palhadas da cana-de açúcar que já se encerra em 2017.

No quadro 5 estão estimadas as emissões de CO₂ eq no setor agropecuário brasileiro, divididos em subsetores para visão mais detalhada, no qual pode-se notar claramente o aumento das emissões brasileiras de CO₂ eq para fertilizantes sintéticos. Dentre os fertilizantes sintéticos a ureia representa 94% das emissões MCTI (2016), em 24 anos de estimativa, entre 1990 e 2014, os números cresceram tanto em emissões diretas quanto 391%, indiretas, mais de 418% e lixiviações mais de 396% no período.

Quadro 5 – Estimativas anuais de emissões em CO₂ eq. para os subsetores do setor agropecuário no Brasil de 1990 a 2014.

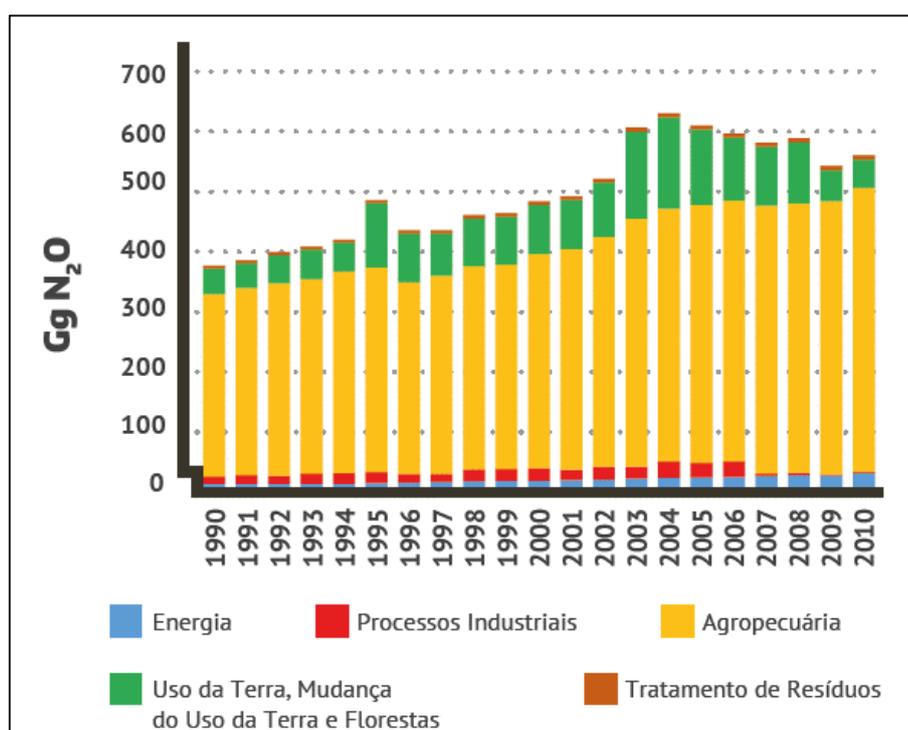
Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2014	VARIAÇÃO	
	Gg CO ₂ eq						2005-2010	2010 – 2014
Agropecuária	286.998	316.671	328.367	392.491	407.067	424.473	3,71%	4,28%
Fermentação Entérica	172.707	188.101	196.339	235.439	234.318	239.751	-0,50%	2,32%
Manejo e dejetos animais	11.963	13.466	13.636	15.396	17.372	17.785	12,83%	2,38%
Solos Agrícolas	90.137	100.930	105.933	127.911	140.250	153.010	9,65%	9,10%
Emissões Diretas	57.064	63.635	66.292	79.695	87.513	94.999	9,81%	8,55%
Animais em Pastagem	40.217	43.462	43.438	51.911	52.772	53.218	1,66%	0,84%
Fertilizantes Sintéticos	3.040	4.425	6.596	8.529	11.078	14.939	29,89%	34,85%
Aplicação de Adubo	4.618	5.082	4.925	5.520	6.612	6.809	19,79%	2,97%
Resíduos Agrícolas	4.713	6.137	6.711	9.021	12.244	15.152	35,73%	23,76%
Solos Orgânicos	4.437	4.529	4.622	4.715	4.807	4.881	1,97%	1,54%
Emissões Indiretas	33.073	37.296	39.641	48.216	52.736	58.011	9,38%	10,00%
Deposição Atmosférica	6.918	7.804	8.225	10.135	11.048	12.234	9,00%	10,73%
Fertilizantes Sintéticos	757	1.103	1.531	2.195	2.829	3.923	28,87%	39,69%
Adubo Animal	6.161	6.701	6.694	7.940	8.219	8.310	3,51%	1,11%
Lixiviação	26.155	29.492	31.417	38.080	41.688	45.777	9,47%	9,81%
Fertilizantes Sintéticos	2.847	4.146	6.095	8.043	10.430	14.147	29,68%	35,63%
Adubo Animal	23.037	25.346	25.322	30.037	31.258	31.631	4,06%	1,19%
Cultura do Arroz	9.105	10.726	9.410	9.737	9.748	9.711	0,11%	-0,38%
Queima de Cana e Algodão	3.091	3.448	3.048	3.958	5.380	4.215	35,94%	-21,66%

Fonte: MCTI (2016)

Segundo a 3ª Comunicação Nacional, para o Brasil a convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima, conforme quadro 4, demonstra claramente que a agropecuária é responsável por mais de 84% de toda emissão de óxido nitroso N₂O do Brasil, escala em Gigagramas (Gg), que corresponde a 1.000 toneladas emitidas.

No gráfico 1, nota-se claramente que a agropecuária é o setor que mais contribui para emissões de N₂O dentre os cinco setores analisados.

Gráfico 1 – Emissões de N₂O: Evolução das emissões de N₂O por setor, de 1990 a 2010.



Fonte: MCTI 2016, inventário anual de emissões.

Para entender como o N₂O interfere no aquecimento global, é necessário conhecer a equivalência em dióxido de carbono, essa equivalência é o potencial de aquecimento global (GWP – Global Warming Potential) de cada gás dada a comparação com o potencial de aquecimento do CO₂, então é denominado CO₂ equivalente e também pelo potencial de temperatura global (GTP – Global Temperature Potential).

O GWP considera a influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra e o GTP considera a influência no aumento de temperatura. Ambos são medidos para o prazo de 100 anos, sendo mais comumente utilizado o GWP.

Na tabela 2, pode-se notar que, enquanto o gás metano é 25 vezes mais prejudicial ao aquecimento global que o dióxido de carbono, o potencial de aquecimento do óxido nitroso é 310 vezes maior no GWP.

Tabela 2 – Equivalência em carbono GWP e GTP dos gases mais comuns do efeito estufa.

Gás Metano	GTP-100 (Potencial de temperatura global)	GWP-100 (Potencial de Aquecimento Global)
CO ₂ - Dióxido de carbono	1	1
CH ₄ - Metano	5	25
N ₂ O - Óxido Nitroso	270	310

Fonte: (IPCC AR2) Tradução livre do autor.

Na tabela 3, pode-se observar como estão distribuídos, percentualmente, o consumo mundial de ureia nos principais países consumidores, segundo a previsão de consumo de ureia no mundo em 2018, foi elaborado um cálculo da quantidade de nitrogênio puro utilizado, levando em consideração que a ureia contém 45% de nitrogênio e calculada de quantidade e emissões do N₂O, principal gás com potencial de aquecimento global, levando em consideração a conversão sugerida pelo IPCC.

Tabela 3 – Distribuição do consumo mundial de ureia e emissões de óxido nitroso e equivalente CO₂ – Conversão de Emissões em GWP-100.

1-Participação no consumo mundial de ureia (por país)	2-Quantidade de ureia prevista para consumo em 2018 (em milhões de toneladas)	3-Quantidade de nitrogênio (em milhões de toneladas)	4-CO _{2eq} - Dióxido de carbono equivalente (em milhões de toneladas)
34% China	68,68	30,91	19.952,41
20% Índia	40,40	18,18	11.735,19
6% Estados Unidos	12,12	5,45	3.520,56
4% Indonésia	8,08	3,64	2.347,04
4% Paquistão	8,08	3,64	2.347,04
3% Brasil	6,06	2,73	1.760,28
2% Bangladesh	4,04	1,82	1.173,52
27% Outros	54,54	24,54	15.842,51
Total	202	90,90	58.675,95

Fonte: Autor

2.1. POSSÍVEIS REDUÇÕES DE EMISSÃO DO N₂O

Existem tecnologias desenvolvidas que auxiliam na redução de emissão do N₂O, a mais conhecida é a fixação biológica do nitrogênio nas raízes das culturas (FBN) desenvolvida pela EMBRAPA, que já é hoje largamente utilizada na cultura da soja e feijão em praticamente todo território brasileiro, tal tecnologia reduz dispensa aplicação de N nessas culturas.

A tecnologia de FBN também está sendo empregada na cultura do milho ainda em escala menor que na soja, mas apresenta crescimento na adoção nas principais áreas de cultivo do Brasil.

A utilização dos fertilizantes organominerais também representa boa tecnologia, mas com limitação para se conseguir as quantidades necessárias, já que o Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (MARA) exige o mínimo de 50% da composição de composto orgânico nas formulações de fertilizante organomineral.

Outra possibilidade de reduzir as emissões é a utilização de fertilizantes que apresentem melhor eficiência em relação aos fertilizantes convencionais, podendo, dessa forma, utilizá-los de forma mais consciente e evitar perdas pelo uso de quantidades exata e, conseqüentemente, menores. Dentre esses fertilizantes de eficiência aumentada, podem-se destacar os fertilizantes revestidos com polímeros, que reduzem as perdas naturais dos fertilizantes convencionais. A aplicação do revestimento a base de polímeros é realizada em duas fases distintas, sendo a primeira adicionando composto líquido na ureia e a segunda adicionando o composto em pó aplicado através de equipamento rotativo apropriado para essa operação.

Essa tecnologia, aliada à recomendação quanto às quantidades e épocas corretas, baseada em análise de solo, proporcionará resultados mais interessantes.

2 METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho foi organizada em duas etapas distintas, sendo a etapa 1: análise de experimentos de campo e seus impactos na produtividade das culturas e, etapa 2: levantamento dos impactos na possível redução de emissões de N₂O em ensaios de laboratório.

2.1 ETAPA 1

Na etapa 1, a metodologia deste estudo consiste em buscar e revisar experimentos realizados com o fertilizante a base de ureia, revestido de complexo de polímeros adicionados a minerais, verificando se foram capazes de aumentar a eficiência do nutriente nitrogênio pela redução de perdas naturais do elemento por lixiviação e volatilização, sendo possível utilizar quantidade de nutriente sensivelmente menor e, mesmo assim, manter a produtividade das culturas em questão. Hoje o termo mercadológico utilizado é fertilizantes de eficiência aumentada.

Foram levantados seis experimentos científicos de campo, realizados em diversas regiões do Brasil e em algumas culturas de maior interesse econômico, cada ensaio utilizou uma metodologia mais indicada à região, cultura e manejo e apresenta-se a seguir uma breve discussão dos experimentos e de seus resultados:

2.1.1 Uso e manejo do nitrogênio na cultura do arroz²

Esse experimento foi conduzido na safra 2011/2012 na Granja Touro Passo, na estrada municipal Touro Passo, Km 5, zona rural da cidade de Uruguaiiana – RS, nas seguintes coordenadas geográficas 29°39'8.35" sul e 56°49'30.32" oeste. O solo da área foi classificado como neossolo, cuja as características químicas foram: 29% de argila; pH em água: 5,6; índice SMP: 6,1; 3,7 m V-1 de matéria orgânica; 6,7 mg dm⁻³ de fósforo; 123 mg dm⁻³ de potássio; 18,3 cmolc dm⁻³ de cálcio e 5,9 cmolc dm⁻³ de magnésio. Os tratamentos foram constituídos em um fatorial 3 x 4 + 1, com 3 doses de N (40, 80, 120 kg/ha-1); 4 fontes, ureia com 45% de N; ureia revestida com 35% de N (K-0293); 36% de N (K-0472); 38% de N (K-0481) e uma testemunha sem aplicação de N com 3 repetições, totalizando 13 parcelas experimentais. As parcelas

² Granja Touro Passo – Uruguaiiana-RS (Juscélio Ramos de Souza; Bruno Neves Ribeiro; Riscelly Santana Magalhães; Luciano de Gissi; Thiago Picinatti Raposo e Gustavo Spadotti Amaral Castro).

experimentais, com dimensões de 6 m de largura (32 linhas de semeadura de 0,17 m) e 100 m de comprimento foram distribuídas no campo. Em 21/10/2011 realizou-se a semeadura utilizando a variedade IRGA 424 na densidade de 80kg/ha-1 no sistema de cultivo mínimo (preparo antecipado da área com uma gradagem, plaina e entaipamento) e adubação de semeadura com 100 kg/ha-1 da fórmula 11-52-00, 150kg/ha-1 da fórmula 00-00-60 a lanço, logo após a semeadura. Aos 17 dias após a germinação, a cultura estava no estágio V3 (3 folhas), então aplicou-se o N em cobertura de forma mecanizada com adubadeira TDNG 520 em superfície conforme os respectivos tratamentos.

2.1.2 Avaliação da produtividade de arroz em função da adubação nitrogenada³

Esse experimento foi conduzido na safra 2011/2012 em área de várzea na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada na região central do Rio Grande do Sul. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições e os tratamentos encontram-se descritos na Tabela 7.

A semeadura ocorreu dia 20 de outubro de 2011, sendo utilizada a cultivar Puita Inta CL, na densidade de 85 kg/ha-1. Foi utilizada a adubação de base no momento da semeadura, na quantidade de 15 kg/ha-1 de nitrogênio, 60 kg/ha-1 de P₂O₅ e 60 kg/ha-1 de K₂O. Em V3, segundo escala de COUNCE, 2000, foi aplicado em cobertura mais 30 kg/ha-1 de K₂O. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada de acordo com as fontes de nitrogênio testadas conforme a Tabela 7.

Na aplicação de nitrogênio, a adubação com ureia foi feita em duas parcelas (em V3 e em V7) e com as fontes de ureia revestidas em apenas uma parcela no momento da primeira aplicação (V3).

³ Universidade Federal de Santa Maria – RS (Juscélio Ramos de Souza; Bruno Neves Ribeiro; Riscelly Santana Magalhães; Luciano de Gissi; Thiago Picinatti Raposo e Gustavo Spadotti Amaral Castro).

Tabela 4 – Descrição dos tratamentos. Santa Maria, RS, 2012.

Tratamento	Doses de N (kg.ha ⁻¹)
-	0
UREIA	40
UREIA	80
UREIA	120
UREIA RECOBERTA 36% N	40
UREIA RECOBERTA 36% N	80
UREIA RECOBERTA 36% N	120
UREIA RECOBERTA 38% N	40
UREIA RECOBERTA 38% N	80
UREIA RECOBERTA 38% N	120
UREIA RECOBERTA 43% N	40
UREIA RECOBERTA 43% N	80
UREIA RECOBERTA 43% N	120

O estabelecimento da lâmina de água com cerca de 10 centímetros foi realizada no estádio V3. O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida Kifix na dose de 200 gramas ha⁻¹ do produto comercial aplicado um dia antes da entrada de água. Foram realizadas duas aplicações de fungicidas em R2 e 15 dias após, como forma de controle preventivo de doenças. Utilizou-se também para controle preventivo de percevejos e lagartas a aplicação de Tiametoxam e Lambda-cialotrina na dosagem de 28,2 g.i.a ha⁻¹ e 21,2 g.i.a ha⁻¹, respectivamente, aplicados no mesmo momento da aplicação de fungicida em R2. Após a emergência das plantas de arroz, marcou-se uma secção de um metro linear em cada parcela, onde se determinou o estande de plantas.

No mesmo local, por ocasião da colheita, contou-se o número de panículas por metro quadrado, o peso de grãos e a esterilidade de espiguetas.

A colheita realizada para estimativa do rendimento de grãos deu-se manualmente numa área útil de 4,08 m² com as espiguetas apresentando umidade média de 22%. Após a trilha e limpeza, o peso de grãos foi convertido para kg/ha⁻¹ e corrigidos para 13% de umidade.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de pressuposições de variância e, após cumprirem os pressupostos para a normalização, foi submetido à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

2.1.3 Eficiência agrônômica da ureia revestida com polímeros em cobertura na cultura do algodão⁴

O experimento foi conduzido em Chapadão do Sul – MS, na unidade experimental da Fundação Chapadão, no ano safra 2009/2010, em área manejada sob plantio direto na palhada de milho. Antes do início do experimento, o solo foi amostrado na camada de 0cm a 20cm, os resultados indicaram: 27mg dm⁻³ de P (Resina); M.O 4,9 %; K 2,4 mmolc dm⁻³; Al 1,0 mmolc dm⁻³; Ca 49 mmolc dm⁻³; Mg 17 mmolc dm⁻³; H+Al 43 mmolc dm⁻³; V % 62 e (S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) 3; 0,42; 1,1 43; 2,7 e 2,9 mg dm⁻³ respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições, sendo as doses (0%, 50%, 75% e 100 % da recomendada para a cultura) e fontes (ureia, ureia revestida e ureia revestida 1) detalhadas na Tabela 5. A ureia utilizada continha 45 % de N; enquanto que as fontes de ureia revestida e N 1 continham 43 %.

Tabela 5 – Fontes de nitrogênio e doses de N em cobertura, aplicados a lanço.

Tratamentos	N Plantio kg ha ⁻¹	1 ^a Cober. kg N ha ⁻¹ V5*	2 ^a Cobert. kg N ha ⁻¹ B5**	Total kg N ha ⁻¹
Testemunha	18	0	0	-
Ureia 100	18	45	45	108
Ureia 75	18	33,75	33,75	85,5
Ureia 50	18	22,5	22,5	63,0
Kim N 100	18	45	45	108
Kimt N 75	18	33,75	33,75	85,5
Kim N 50	18	22,5	22,5	63,0
Kim N1 100	18	45	45	108
Kim N1 75	18	33,75	33,75	85,5
Kim N1 50	18	22,5	22,5	63,0

*V5 – DAE (15/01/2010) - Estádio no qual foi aplicado a 1^a cobertura; **B5 – Estádio no qual foi aplicado a 2^a cobertura - DAE (02/02/2010).

As dimensões das unidades experimentais foram de parcelas compostas por quatro linhas (0,9 m) x 10,0 m – 36,0 m². A semeadura foi realizada em sistema de plantio direto, em 15 de dezembro de 2009, o genótipo utilizado no experimento foi o Fibermax 993, com um estande de 10 sementes por metro linear. Em todos os tratamentos, incluindo a testemunha, a adubação de semeadura consistiu em 350kg/ha-1 de 03-22-11 Fosmag e cobertura de 100kg/ha-1 de KCl a lanço + nitrogênio conforme descrito nos tratamentos. A colheita foi realizada em 11 de julho de 2010 em duas

⁴ Fundação Chapadão – Chapadão do Sul – MS.

linhas (0,9 m) x 4,0 m. – totalizando 7,2 m² de área útil. As características agronômicas avaliadas foram: Altura de planta, massa média de dez capulhos e produtividade do algodão em caroço @ ha-1. Com isso, obteve-se a eficiência do uso do fertilizante pela razão entre a produtividade de algodão e a dose de nitrogênio aplicada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo a média dos tratamentos comparada à análise de regressão e pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

2.1.4 Avaliação da produtividade de milho em função da adubação nitrogenada revestida com polímeros⁵

O experimento foi conduzido na fazenda do Lote 29 de propriedade do Sr. Tãmio Sekita, localizada no município de Rio Paranaíba – MG no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2013. Em um Latossolo vermelho escuro, textura argilosa (38 dag/kg), a semeadura foi realizada no dia 23 de agosto de 2012, sob sistema de plantio direto em pivô central. Foi utilizado o material genético de milho 30F53 Hx Pioneer. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo montados tratamentos constituídos por duas fontes de N, sendo o padrão considerado a ureia convencional comparativamente à ureia revestida, e quatro doses de nitrogênio (0kg/ha-1, 40kg/ha-1, 80kg ha-1 e 120kg ha-1) aplicados em duas adubações de cobertura. Em todos os tratamentos, incluindo a testemunha, a adubação de semeadura consistiu em 450kg/ha-1 de 10-30-10 + 0,3 Zn e cobertura de 150kg/ha-1 de K₂O a lanço na forma de KCl.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada de acordo com cada tratamento, sendo a primeira cobertura realizada quando as plantas apresentavam de quatro a seis folhas completamente expandidas e a segunda com seis a oito folhas completamente expandidas. Os demais tratamentos culturais como controle de plantas daninhas e tratamentos fitossanitários também foram adotados seguindo o padrão de manejo da cultura do milho, respeitando o grau de dano da cultura. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo a média dos tratamentos comparada com análise de regressão e pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁵ Fazenda do lote 29 – Rio Paranaíba – MG (Marcelo Vieira Rolim; Juscélio Ramos de Souza; Bruno Neves Ribeiro; Thiago Picinatti Raposo).

2.1.5 Avaliação do comportamento produtivo do cultivar de arroz BRSMG Cavavera a diferentes fontes e épocas de aplicação de adubação nitrogenada em cultivo irrigado e sequeiro⁶

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental de Lambari (FELB) da EPAMIG Sul de Minas, e na Fazenda Experimental de Sertãozinho (FEST) da EPAMIG Triângulo e Alto Paranaíba localizadas respectivamente em Lambari, MG (21°56'48,49"S; 45°18'53,43"W e altitude de 877 m) e Patos de Minas, MG (18°36'S, 46°31'W e altitude de 940 m). Os ensaios foram arranjados em fatorial 7x2 com cinco repetições no delineamento de blocos casualizados (DBC), da seguinte forma: Sete fontes de N: ureias convencionais, ureia revestida (fertilizante polimerizado), Nitro Gold® (fertilizante revestido com enxofre); Nitro Mais® (fertilizante com inibidor de uréase), Super N® (fertilizante com inibidor de uréase), sulfato de amônio, nitrato de amônio; e duas épocas de aplicação da adubação nitrogenada: adubação total na base de plantio (15/11/2011) Patos de Minas e (20/11/2011) Lambari; e adubação dividida entre base e cobertura (5/1/2012) Patos de Minas e (12/1/2012) Lambari.

Parcelas de cinco linhas de 5 m cada, com espaçamento de 40 cm entre as linhas e densidade de 80 sementes viáveis por metro. A colheita foi realizada no dia 2 de abril de 2012. Foram avaliadas as seguintes características: produtividade em kg/ha; peso de 1.000 grãos; altura de plantas na colheita; número de panículas por metro quadrado. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Assistat (SILVA, 2002), e a comparação das médias foi realizada usando o teste de agrupamento de médias, proposto por Scott-Knott (1974).

2.1.6 Eficiência da ureia revestida com polímeros, na produtividade do milho safrinha⁷

O experimento foi conduzido na Fazenda São João, no município de Rio Paranaíba, no ano de 2013, Minas Gerais (19° 17' 22" S e 46o 17' 26" W) com altitude de 1.144 m. O solo ao qual foi submetido o estudo é classificado como sendo um Latossolo vermelho-amarelo distrófico, de textura argilosa e relevo plano (EMBRAPA, 1999). Cujos atributos químicos seguem na Tabela 6.

⁶ Fazenda Experimental de Lambari (FELB) da EPAMIG Sul de Minas e na Fazenda Experimental de Sertãozinho (FEST) da EPAMIG Triangulo e Alto Paranaíba – Patos de Minas – MG.

⁷ Fazenda São João – Rio Paranaíba – MG Rolim, (2012).

Tabela 6 – Características químicas da área experimental na camada de 0-20 cm.

pH	P (melh)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	M.O.
H ₂ O	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³		g dm ⁻³
6,10	22,90	0,31	3,10	0,80	0,00	2,68	6,89	46,00
B	Zn	Mn	Cu	Fe	P-rem	t	SB	V
.....		mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³		%	
0,80	1,50	5,90	2,20	34	3,7	4,21	4,21	61,10

P e K = (KCl 1 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); Ca, Mg e Al = (KCL 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão SMP a pH 7,5); M.O. = Método calorimétrico; Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA pH 7,3; B = Água quente.

Foi utilizado o material P3646 H da Pioneer, com uma população de 64.000 plantas ha⁻¹, como recomendado pela empresa. A semeadura foi realizada no dia 15 de fevereiro de 2013 sob sistema de plantio direto em sucessão a cultura da soja em pivô central. A colheita ocorreu no dia 26 de julho do mesmo ano, quando seus grãos apresentavam, em sua maioria, 16 % de umidade.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo montados tratamentos constituídos por duas fontes de N, com o padrão considerado a ureia convencional 45% de N, comparativamente à ureia revestida 43% de N, onde foram aplicadas quatro doses de nitrogênio (0kg, 40kg, 80kg e 120kg/ha-1) em adubação de cobertura.

Em todos os tratamentos, incluindo a testemunha, a adubação de semeadura consistiu de 250kg/ha-1 de 10-30-10 + 0,3 Zn mais uma cobertura de 150kg/ha-1 de K₂O a lanço na forma de KCl.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada de acordo com cada tratamento, sendo realizada quando as plantas apresentavam de quatro a seis folhas completamente expandidas todas efetuadas a lanço. Os demais tratamentos culturais como controle de plantas daninhas e tratamentos fitossanitários foram adotados seguindo o padrão de manejo da cultura do milho, respeitando o grau de dano da cultura.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressões lineares e polinomiais. As regressões foram avaliadas pela significância do R².

2.2 ETAPA 2

Na etapa, o ensaio preliminar, sem rigor estatístico realizado em laboratório, foi utilizado como base para análise, de maneira ainda preliminar para observação do potencial de redução de emissão de N₂O na atmosfera nos fertilizantes a base de ureia com aplicação da tecnologia de recobrimento com polímeros.

A metodologia empregada nesse experimento de laboratório foi utilizar frascos de vidro cujo volume é de 1,5 litros. Cada tampa utilizada possui uma junta de borracha de silicone para fechamento hermético e, na parte superior, foi instalado um tubo equipado com uma válvula de retenção para retirada das amostras de gases.

O solo utilizado no estudo foi coletado na camada 0-10cm em área cultivada com milho. Esse solo foi classificado como um Latossolo vermelho amarelo distrófico de textura média (EMBRAPA, 2006) com 18% de argila, pH (CaCl₂) de 5.2; 6.0 mg P dm⁻³, 4.6 mmolc K dm⁻³ e 46 % saturação por bases (V%). Em cada frasco foram adicionados 200g de solo seco. Após o preenchimento dos frascos, eles permaneceram em repouso, abertos, por 10 dias, para estabilização. Durante todo o período de estabilização e amostragem dos gases, os frascos foram mantidos dentro do laboratório à temperatura entre 24,5°C e 26°C.

Passado o período de estabilização, a quantidade de fertilizante aplicado foi 1 g de N por frasco. As fontes de nitrogênio com os respectivos aditivos avaliados foram designadas como: FERT 1 (42,75% N); FERT 2 (44% N); FERT 3 (33% N) e FERT 4 (45% N). Cada tratamento foi avaliado com cinco repetições.

Figura 1 – Câmaras de vidro utilizadas no experimento.



Após a aplicação do fertilizante, os frascos foram mantidos em repouso por mais 2h. Depois desse período, os frascos foram ventilados manualmente e, finalmente fechados para a realização da primeira amostragem. Para a amostragem, os

frascos permaneceram fechados por 30min. As amostras de gás com N_2O foram armazenadas em seringas contendo uma válvula de retenção acoplada e analisadas após o termino da coleta.

Figura 2 – Imagem ilustrativa das câmaras com recipiente de coleta de gases para



O N_2O foi separado do ar nas amostras no equipamento. Após a separação o gás foi quantificado por um detector de captura de elétrons (ECD).

A tecnologia foi desenvolvida com intuito de otimizar a performance dos fertilizantes nitrogenados através da redução de perdas naturais dos nutrientes quando aplicados em solo.

A volatilização é o principal objetivo desse estudo e responsável pela emissão do N_2O para atmosfera, pode ser quantificado através de câmaras de volatilização fechadas, com passagem de ar forçada e posterior coleta e análises de quantificação laboratorial. Essa metodologia objeto de estudo de quantificação da volatilização re-trata quantitativamente diferenças nas emissões do gás (CANTARELLA 2007).

Figura 3 – Detalhe da câmara de volatilização que consegue quantificar a quantidade volatilizada do nitrogênio na forma de gás amônio.



A tecnologia de polímeros reduz drasticamente essas perdas por volatilização e torna o fertilizante mais eficiente, podendo ser utilizado de maneira mais racional, reduzindo a quantidade aplicada de nutriente sem afetar a produtividade das lavouras.

A aplicação é realizada por processos mecânicos industriais antes da formulação dos fertilizantes, utilizando-se equipamentos especificamente desenvolvidos para essa finalidade. A figura abaixo demonstra um equipamento industrial instalado para fazer a aplicação das camadas de polímeros na superfície dos grânulos de fertilizantes:

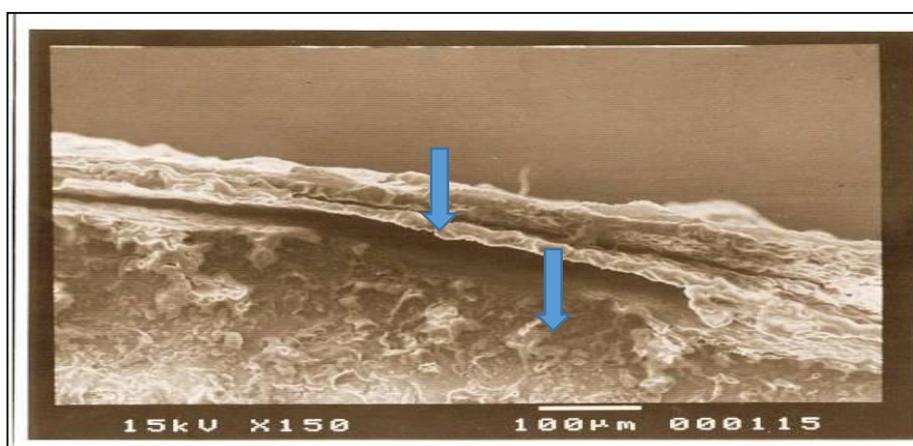
Figura 4 – Equipamento que faz a aplicação dos polímeros na superfície dos grânulos da ureia.



A tecnologia consiste em aplicar duas camadas de complexo de polímeros associados a minerais de cálcio, a primeira camada aplicada é na forma líquida pulverizando sobre a superfície dos grânulos da ureia e após a homogeneização total sobre os grânulos, em seguida, aplica-se a camada sólida contendo polímeros, pigmentos com função de traçadores que têm a capacidade de detectar visualmente se a operação de revestimento foi bem realizada. Por serem fotossensíveis e hidros sensíveis, auxiliam no rastreamento da qualidade de armazenagem do fertilizante revestido. Os minerais reagirão quimicamente com a camada líquida formando um revestimento resistente.

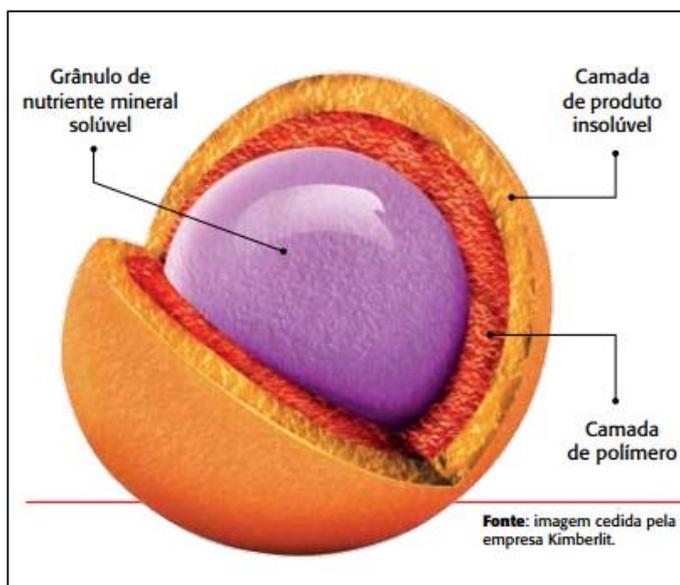
Ao final do processo de revestimento, em análise microscópica de varredura com aumento de 150 vezes, é possível visualizar as duas camadas de polímeros sobre o grânulo de ureia.

Figura 5 – Foto de microscopia eletrônica de varredura realizada na UNESP-Campus de Jaboticabal, mostrando as duas camadas sobre a superfície da Ureia fertilizante.



Na figura 8, é apresentada uma imagem ilustrativa do fertilizante ureia, com a aplicação das duas camadas de revestimentos, representadas pela cor laranja a primeira camada líquida de polímeros e a segunda camada de pó com minerais insolúveis na coloração amarela.

Figura 6 – Imagem ilustrativa do grânulo da ureia com revestimento.



Outras características são atribuídas nesse processo. Além do aumento considerável na eficiência. Também se nota o aumento da qualidade pela redução do pó solto, facilitando a escoabilidade nas adubadoras e aumento da dureza do grão do fertilizante, mesmo que de maneira discreta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor organização do trabalho, os resultados serão divididos em duas etapas, sendo a etapa 1 para resultados de experimento de campo e etapa 2 para resultado de experimento de laboratório.

Etapa 1 – O fertilizante a base de ureia revestido com complexo de polímeros adicionado com mineral de cálcio foi testado em diversas situações e em diversas áreas do Brasil e, em praticamente todos os trabalhos realizados, ficou claro o aumento da performance do produto em relação à ureia convencional, também chamada de ureia branca.

Pode-se observar no quadro 6 que os resultados possuem duas distintas vertentes de análise, sendo a primeira que a redução da dose do nutriente aplicado no fertilizante revestido de polímeros não interferiu negativamente na produtividade e que as diferenças de dose ficaram em torno de 30% e a segunda vertente que, quando mantida a dose de nitrogênio por hectare, a produtividade eleva-se sensivelmente.

Quadro 6 – Síntese dos resultados oficiais de comparação de fertilizantes nitrogenados.

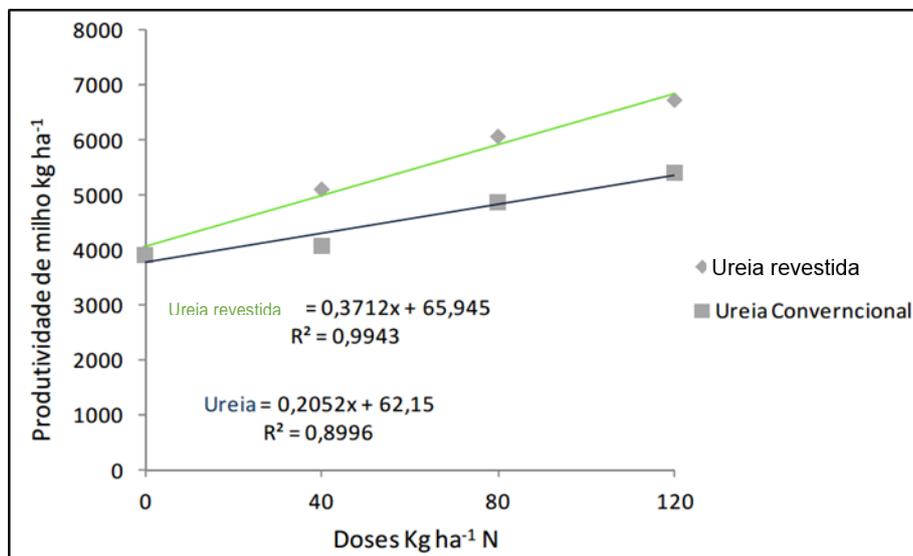
Local	Cultura	Doses de N (fonte Ureia Convencional-UC)	Produtividade por hectare (Kg)	Doses de N (fonte Ureia revestida - UR)	Diferença Dose (UR - UC) em kg	Produtividade por hectare	Diferença Produtividade (UR - UC) em kg
1 Uruguaiana	Arroz	120	11.985	80	-40	12.172	187
2 Santa Maria	Arroz	120	10.221	80	-40	10.804	583
3 Chapadão do Sul	Algodão	108	3.255	63	-45	3.195	-60
3 Chapadão do Sul	Algodão	108	3.255	85,5	-22,5	3.660	405
4 Rio Paranaíba	Milho	120	9.600	120	0	10.800	1.200
5 Lambari	Arroz Irrigado	100	5.951	100	0	6.831	880
6 Patos de Minas	Arroz Sequeiro	100	2.214	100	0	2.325	111

Fonte: compilação de seis artigos científicos.

Ainda na etapa 1, pode-se observar, pela curva de resposta apresentada no gráfico a seguir, mostra que a eficiência da ureia revestida é superior à ureia convencional branca em experimento, a razão de mais de 30%.

No gráfico 2, a curva de tendência demonstra a eficiência da ureia revestida comparada à ureia convencional.

Gráfico 2 – Curva de eficiência comparativa entre ureia convencional e ureia revestida em milho safrinha-Fazenda São João, Rio Paranaíba-MG.

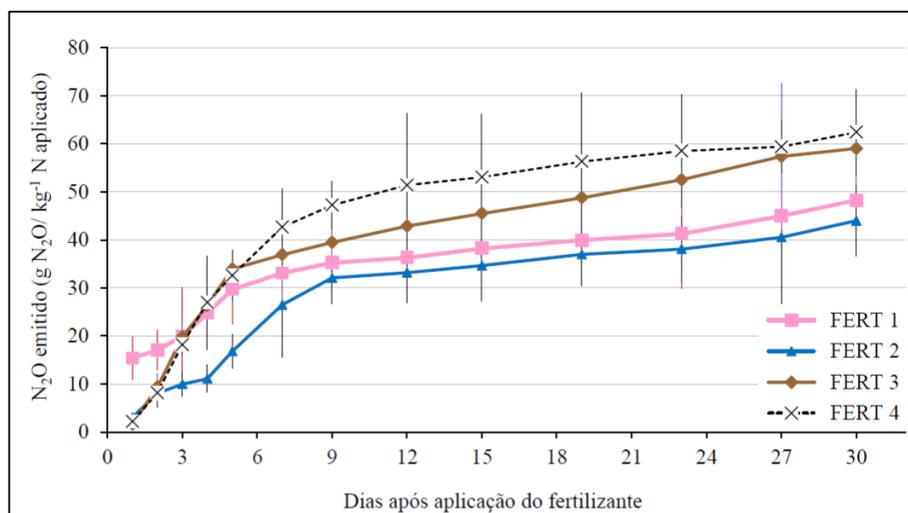


Fonte: Rolim et al, 2012.

Na etapa 2, os resultados de análise em laboratório referentes a uma pesquisa exploratória que teve como objetivo realizar experimento em condições controladas a fim de quantificar as emissões de N₂O no solo provenientes do uso de fertilizante nitrogenado com diferentes aditivos e sem aditivos, para ser usado como referência.

O produto comercial comparado apresenta a seguinte codificação: FERT1- Ureia revestida com polímero, com versão produzida até 2015, FERT2- Ureia revestida com polímero, na versão atual, FERT3-Ureia com revestimento de NBPT e FERT4-Ureia branca convencional sem revestimento.

Gráfico 3 – Emissões acumuladas de N₂O do solo com aplicação de N-fertilizante com diferentes aditivos.



A fonte FERT 2 apresentou as menores emissões de N₂O desde o início do estudo (Gráfico 2 – Emissões acumuladas). A emissão média acumulada para essa fonte foi 43.9g N₂O/kg de N aplicado, ou seja, redução na emissão em torno de 30% comparada à fonte FERT 4.

Os resultados encontrados nos experimentos de campo apontam que a tecnologia de polímeros adicionados a minerais aumentou a eficiência dos fertilizantes a base de ureia em duas vertentes analisadas, quando se reduziu a dose de nitrogênio na ordem dos 30% a 35%, em relação às quantidades prescritas na recomendação de fertilizantes convencionais, manteve-se produtividade semelhantes e, em outra vertente, em que foi empregada a mesma dose de nitrogênio por hectare, tanto na ureia convencional quanto na ureia revestida, foi encontrado aumento substancial de produtividade.

O aumento da eficiência agrônômica da tecnologia de revestimento em torno de 30%, se fosse aplicado em toda ureia utilizada no Brasil, seriam obtidos os resultados descritos a seguir.

Redução do volume consumido de ureia no Brasil em 2018, segundo previsão da Vale Fertilizantes (VALE, 2014) de 6,06 milhões de toneladas, seria reduzido para 4,24 milhões de toneladas somente em um ano.

Como o Brasil Importa 81% dos fertilizantes nitrogenados e o consumo previsto de 6,06 milhões de toneladas, significa que poderá deixar de importar 1,82 milhões de toneladas de ureia, contribuindo para a balança comercial em R\$ 2,366 bilhões anualmente, considerando o preço da tonelada da ureia em R\$ 1.300,00.

Ainda considerando o preço da tonelada da ureia em R\$ 1.300,00 e a tecnologia a R\$ 400,00 por tonelada, seria obtida redução do custo de fertilização para o produtor rural por volta de 9% para os produtores rurais brasileiros.

Também haveria redução logística marítima, portuária, rodoviária e interna nas fazendas na ordem de 30%, a economia estende-se ao sistema de aplicação desse fertilizante a campo, com redução do volume e conseqüentemente aumento da produtividade das operações de plantio e cobertura.

Os ganhos ambientais são relevantes e quantificados diretamente pelas emissões e parte ainda não foi possível mensurar, sugere-se estudo posterior para quantificar o ganho direto e indireto da redução de utilização de fertilizante.

Segundo IPCC (2006), para cada 100kg de nitrogênio aplicado no solo, emitimos 645,5kg CO₂ equivalente na atmosfera. Considerando que o estudo preliminar

realizado em laboratório, que encontrou redução de emissão de N₂O de 30% em relação a ureia convencional, matematicamente somando os resultados discutido acima, chegaremos à redução de emissão na ordem de 50%. No Brasil, somente em 2015, foram entregues 4.137.000 toneladas de ureia que representam 1.861.650 toneladas de nitrogênio e, de acordo com o Relatório AMA, (2016) esse volume é responsável por emitir 12,017 milhões de toneladas em um ano, assim, preservando essa base de cálculo acima demonstrada, haverá redução de emissão na ordem de 6 milhões de toneladas de CO₂ eq.

Analisando somente a cultura do milho no Brasil, projetando-se a utilização de 120kg de N por hectare, dose recomendada para boa produtividade, pode-se notar quantitativamente o volume total de emissões de CO₂ eq.

Conforme o quadro 7, somente na cultura do milho, no Brasil, será possível reduzir a emissão de 6,26 milhões de toneladas de CO₂ eq por ano com adoção da tecnologia aplicada na ureia.

Quadro 7 Cálculo das possíveis reduções de emissão de CO₂ eq pela cultura do milho no Brasil, 2015.

Área total plantada no Brasil (em hectares)	15.846.517
Projetando consumo ideal médio de 120 kg N/hectare (em toneladas)	1.901.582
Quantidade aplicada de N após redução de 30% (em toneladas)	1.331.108
Total de emissão com ureia convencional 1 tonelada de N emite 6,455 toneladas de CO ₂ eq (em toneladas)	12.274.711
Redução de emissão de CO ₂ eq do N com adoção da tecnologia de revestimento (30% de redução de dose + 30% de redução de emissão = 51% de redução total), (em toneladas)	6.260.102

Fonte: IBGE 2015

Seguindo a mesma base de cálculo e aplicando a situação projetada conforme cenário de Roquetti Filho (2014), o consumo do nutriente nitrogênio para safra 2.061/62 de 2.669.076 toneladas somente para a cultura do arroz, feijão, trigo e milho, esse volume emitirá cerca de 17,229 milhões de toneladas de CO₂ eq, assim, o emprego da tecnologia dos polímeros permitirá reduzir a emissão em mais de 8,614 milhões de toneladas.

Pelo cálculo estequiométrico, chega-se a proporção que, para se obter uma tonelada de carbono, precisaremos de 3,666 toneladas de CO₂ eq, então em 8,614 milhões de toneladas deixadas de emitir 2,350 milhões de toneladas de carbono.

O valor do crédito de carbono listado na bolsa que, em 1º de junho de 2008 atingiu o pico histórico de 28,77 euros por tonelada, no entanto, o fechamento do dia 21/01/2017 foi de 5,43 euros por tonelada. Embora com movimentação fraca e preços

baixos, com o valor atual, é possível calcular o potencial de apropriação pela adesão da tecnologia dos polímeros de 33,992 milhões de euros. Esse valor ajustado somente para a redução de emissão do fertilizante nas culturas citadas.

Existem ganhos de emissões, ainda não quantificadas, também nas operações logísticas para transportar o volume de fertilizante 30% menor, impactando em toda cadeia, desde a importação ou produção, transporte marítimo, rodoviário, ferroviário e distribuição interna nas propriedades. Nessa redução do volume de operação, também se deve encontrar redução de emissões por combustível.

Algumas empresas colocaram diferentes tecnologias de ureia revestida no mercado, porém, o custo era em torno de cinco a oito vezes mais elevado que a tecnologia analisada nesse estudo, causando a inviabilidade do produto para culturas extensivas

O potencial de mercado para o uso dessa tecnologia abrange toda ureia consumida no Brasil ou fora do país, sendo que, em 2015, foram entregues mais de 4 milhões de toneladas aos agricultores brasileiros.

Outra possibilidade de capturar valor com a tecnologia é com a adesão ao projeto de lei de Rubens Bueno e Arnaldo Jordy (2015) que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA). Esta estabeleceu diretrizes e criou o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), Fundo Federal de Pagamento por serviços Ambientais (FFPSA) e o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) para incentivar de maneira sistemática a adoção de mecanismos que promovam ações destinadas à preservação do meio ambiente e captura de valor pelos participantes ativos do programa. Nessa instância, a prioridade será dada a agricultores familiares e por empreendedores familiares rurais para adesão ao programa.

Desde que enquadrados e comprovados serviços ambientais, é possível recebimento por esses valores por bancos públicos. Abre-se, dessa forma, a possibilidade do estudo de enquadramento do uso da ureia revestida para adesão ao programa e recebimento de recursos adicionais, bem como isenção de impostos como INSS e Imposto de Renda.

Outro ponto importante a ser considerado é a industrialização do produto que consiste em aplicar as camadas de polímeros sobre os grânulos de fertilizantes por processos mecânicos em cilindros rotativos ou misturadores de fertilizantes. Esse processo oferece redução no gasto de energético para a produção de ureia, que é alto, e com a dose reduzida de aplicação, diretamente já se atinge 30% de economia. Para

a aplicação da tecnologia no fertilizante o gasto energético é extremamente baixo, pois a operação entra diretamente no processo existente dos misturadores de fertilizantes, necessitando apenas de um conjunto de motobomba de 2 CV, portanto, gasto energético quase desprezível.

Após o revestimento, o fertilizante pode ser formulado normalmente, como um fertilizante convencional, e embalado para comercialização e transporte. Também são inalterados o processo de armazenamento e a aplicação do produto final.

A calibração para a redução de dose é feita de maneira técnica, levando em consideração os aspectos agronômicos da cultura, solo, tecnologia entre outros.

O custo da adição dessa tecnologia é sempre inferior ao volume da redução de dose, o valor adicionado pela tecnologia a uma tonelada de ureia é em torno de 30%, ou seja, a tonelada da ureia revestida custará 130% do valor da ureia convencional.

Com a adoção da tecnologia, obtém-se redução média de 30% do volume a ser aplicado ao solo, dessa forma, o valor final por área, que emprega essa tecnologia, terá um valor de 130%, subtraindo-se 30% do volume, encontra-se 91% do valor do fertilizante convencional, resultando em economia 9%. De certa forma, pode-se dizer que a adoção dessa tecnologia não tem aumento de custo para o agricultor.

Analisando com base em valores, uma tonelada de ureia custa R\$ 1.300,00, adicionando o custo da tecnologia de R\$ 400,00, obtém-se o valor de R\$ 1.700,00 por tonelada. Um produtor agrícola que utiliza 250kg de ureia por hectare terá o custo de R\$ 325,00, se adotar a tecnologia da ureia revestida passará utilizar 175kg por hectare, com custo de R\$ 1.560,00 por tonelada, perfazendo um custo de R\$ 297,50 por hectare, economia em torno de 9% para o produtor.

Vale lembrar que os ganhos se estendem também para outras partes da operação, como logística externa e interna de transporte, rendimento de plantadeiras e espaço de armazenagem desses fertilizantes.

4 CONCLUSÕES

A tecnologia de revestimento da ureia com polímeros associados a minerais se mostrou eficiente, reduzindo consistentemente as perdas naturais do nutriente nitrogênio, podendo ser analisado como uma tecnologia que pode reduzir a quantidade de nutriente sem alteração na produtividade e também mantendo a dose com incremento de produtividade.

Como a adoção da tecnologia para a redução de dose do fertilizante aplicados no solo na ordem de 30% já subsidia o custo, a redução da emissão ocorre sem custo adicional, já que o custo da tecnologia acresce ao valor da ureia em torno de 25% a 30%.

Dados preliminares indicam que a tecnologia é promissora para redução da emissão de N_2O e espera-se redução em torno de 30%, comparando-se a mesma dose de N por vaso, porém ainda não foi testada em campo.

Experimentos apresentados comprovam que a tecnologia de revestimento da ureia com polímeros aumenta a eficiência do nutriente e que se pode reduzir a dose em aproximadamente 30%, sem prejuízo na produtividade, ou elevar a dose e aumentar a produtividade.

Teoricamente se aplicarmos as reduções de dose e as reduções de emissões na mesma área, poderíamos chegar a redução total de 50% das emissões de N_2O , supostamente.

Então, ainda hipoteticamente, o acumulado, se for considerada a redução aproximada de 50%, somente no Brasil, a ureia emite em torno de 1,2 bilhão de tonelada de CO_2 eq. poderia ser reduzida para 0,6 bilhão de tonelada anuais.

Como possibilidade de pesquisas futuras, recomendam-se estudos mais aprofundados em campo, para comprovar se, nessas condições, a redução de emissão permanece em 30%. Também cabe explorar levantamento por culturas, regiões, análise econômica mais detalhada, por região e por cultura, bem como comparar a outras fontes de nitrogênio, além da ureia, comparar ao sulfato de amônia e nitrato de amônia.

Neste estudo, observa-se que o produto tem efeito promissor na redução de N_2O e, conseqüentemente, potencial efeito econômico positivo com relação à redução do consumo de ureia que, em sua maior parte, é importada.

Recomenda-se também a inclusão dessa tecnologia no plano e no programa ABC, agricultura de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. & SANCHES, B. C. (2012) Fertilizantes nitrogenados com liberação lenta e estabilizada na agricultura. **Revista Verde**, Mossoró: v. 7, n. 5, p. 31-35,.
- BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P (1999) Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil Till Res.** 53:29-39.
- BELIK, W.; CORREA, V. H. C. A (2013) Crise dos Alimentos e os Agravantes para a Fome Mundial. **Mundo Agrário**, vol. 14, no 27, dic.
- BLAYLOCK, A. (2007) Novos Fertilizantes nitrogenados: O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. **Informações Agronômicas**. Piracicaba: n. 120, p.8-10, dez.
- BREDA, F. A. F.; WERNECK, C. G.; ALTOE, A.; LIMA, E. S. A.; POLIDORO, J. C.; CANTARELLA, H. (2007). Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, cap. 7 p 375-470.
- CASSINI, S.T. (2013). **Gestão Ambiental**. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima – CGMC. Disponível em: <https://www.inf.ufes.br/~neyval/Gestao_ambiental/Tecnologias.../CicloNPS.doc> Acesso em 1/ de janeiro de 2017.
- COSTA, L. M. da; SILVA, Martim, F. de O. e. (2015) **A indústria química e o setor de fertilizantes**, BNDS, s.n.t.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E. (2006). **Fertilizantes, uma visão global e técnica**. BNDS, s.n.t.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro. 412p.
- FAO. (2016). **Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisara-de-60-mais-alimentos-e-40-mais-agua/>> acesso em 23 de janeiro de 2017.
- FIESP. (2016). **Outlook FIESP 2026**. Disponível em: <<http://apps2.fiesp.com.br/outlookDeagro/pt-BR>>. Acesso em 07/12/2016. Acesso em 07/12/2016
- FOLLETT R. F.; Shafer S R.; Franzluebbbers A. J. (2005) Research and implementation needs to mitigate greenhouse gas emissions from agriculture in the USA. **Soil Till Res** 83:159-166.
- FRAZÃO, J. J. *et al.* (2012). Redução de perdas: Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta surgem como alternativa para aumento da eficiência da adubação na cultura do tomate. **Cultivar HF**, 72:20 – 22.
- GOMES, C. D. (2014) Determinantes das vendas de fertilizantes para a soja no Brasil de 1988 a 2012. (s.n.t.) 56 f.
- GUARESCHI, R. F. (2010). **Emprego de fertilizantes revestidas por polímeros nas culturas da soja e milho**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde. 44 f.

IBGE (2015). **Tabela 839**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839#resultado>>. Acesso em 21/01/2017.

IBGE. (2016). **Crescimento populacional**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em 20 dezembro de 2016.

IFA (2014). **Prud'Homme, IFA**, Junho. Disponível em: <http://www.fertilizer.org/imis20/images/Library_Downloads/2015_ifa_istanbul_summary.pdf?Website-Key=411e9724-4bda-422f-abfc-8152ed74f306&=404%3bhttp%3a%2f%2fwww.fertilizer.org%3a80%2fen%2fimages%2fLibrary_Downloads%2f2015_ifa_istanbul_summary.pdf>. Acesso em 11 de janeiro de 2017.

IPCC (2007) Climate change 2007: mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**. Cambridge and New York.

IPCC AR2 IPCC (1995). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml>. Acesso em 15 de dezembro e 2017.

LIMA, M. A. (2002). Agropecuária Brasileira e as mudanças climáticas globais: Caracterização do problemas, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, vol.19, n. 3, p.451-472, Brasília, set./dez.

MALAVOLTA, E. (1980). Os elementos minerais. In: MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed.: Agronômica Ceres.

MARUYAMA, W, I. Parcelamento de fontes alternativas de nitrogênio no milho safriinha em sucessão à soja. Científica, Jaboticabal, v.40, n.2, p.179 – 188, 2012.

MCTI (2016). **3º Comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Disponível em: <http://si-rene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/MCTI_TCN_SUMARIO+EXECUTIVO_port.pdf/7aad0f1d-332b-45b4-9fda-88e9efb049fd>. Acesso em 22 de dezembro de 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA e Inovação – MCTI (2016). Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa. Brasília: MCTI.

NATURE MAGAZINE. (2010). Editorial. The growing problem. News feature food Nature, vol 466, p 456-547, 29 July.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. (2015). **COP21 tem acordo pelo clima**. Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/cop21-tem-acordo-pelo-clima/>>. Acesso em 06/06/1916.

ONÇA, D.de S. & FELÍCIO, R. A. (2010). O culto à frugalidade e a produção artificial de escassez. In: **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 6, n. 8.

ONU (2015). **População mundial deve atingir 9,6 bilhões em 2050, diz novo relatório da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>>. Acesso em 9 de dezembro de 2016

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES Unidas. **Estimativa de crescimento populacional**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>>. Acesso em 18/01/2017.

PBMC 2007 – AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report.

PBMC; (2016). **Primeiro relatório de avaliação nacional**. Disponível em <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientificas-das-mudancas-climaticas-volume-1-completo?category_id=18>. Acesso em 07/12/2016.

PICHELLI, K. (2015). Brasil reduz carbono de sua agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3622663/brasil-reduz-carbono-de-sua-agropecuaria>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2017.

PINTO, M. A. C.; COSTA, M. M. da; MARTINS, G. G.; COSTA, L. F. P. da; FERREIRA, R. de O. (2008) Revista Do BNDES., Rio de Janeiro: V. 14, N. 29, P. 115-156, Jun.

Relatório AMA. (2016). Disponível em <<http://amabrasil.agr.br/web/portfolio-item/producao-e-importacao-de-fertilizantes>>. Acesso em 02/01/2017.

ROLIM, M. V.; SOUZA, J. R. de; CASTRO, G. S. A.; RIBEIRO, B. N.; Kaneko, F. H. **Eficiência agrônômica da ureia revestida com polímeros em cobertura na cultura do algodão**. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão.

ROLIM, M. V.; SOUZA, J. R. de; RIBEIRO, B. N.; Raposo, T. P.; CASTRO, G. S. A. (2012). **Eficiência da ureia revestida com polímeros, na produtividade do milho safrinha**. Rolim: Fazenda São João, Rio Paranaíba.

ROLIM, M. V.; SOUZA, J. R.; CASTRO, G. S. A.; RIBEIRO, B. N.; KANEKO, F. H. (2012). Eficiência Agrônômica da ureia revestida com Polímeros em Cobertura na Cultura do Algodão (*Gossypium hirsutum* L.). In: **Fertbio**, Anais 17 a 21 setembro. Macaíó.

SAATH, K. C. de O. I.; FACHINELLO, A. L. **Crescimento da demanda de alimentos e as limitações do fator terra no Brasil**. Artigo apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina. S.n.t.

Sehy U., Ruser R., Munch J.C. (2003). Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. **Agr Ecosyst Environ** 99: 97-111.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. (2012) Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. **Biosci. J.**, Uberlândia: v. 28, Supplement 1, p. 104-111, Mar.

SILVEIRA, E. O. da. & SILVEIRA F. B. F. (2015). Uma nova agricultura para um novo ambiente, RECED. Jan.-jul. UFAM/ICSEZ.

SORATTO, R. P.; COSTA, T. A. M.; FERNANDES, A. M.; PEREIRA, M.; VIERO, F. (2011). **Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados nas culturas do trigo e do milho em sistema plantio direto no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: UFRS, 61 p.

WORLD RESOURCES INSTITUTE & World Business Council for Sustainable Development. (2014). A Corporate Accounting and Reporting Standard. Conches-Geneva & Washington: WRI & WBCSD.

ZONTA, E.; LIMA, E. (2010) Perdas por volatilização de n-ureia revestida com polímero. In: **Fertbio**, Anais, 13 a 17 de set. Guarapari.