



A LIXIVIAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA ZONA NÃO SATURADA SUPERIOR DO AQUIFERO BARREIRAS-ÁREA DA BACIA DO RIO CATU-RN

THE NITROGEN FERTILIZATION LEACHING IN UPPER UNSATURATED ZONE OF BARREIRAS AQUIFER-AREA IN THE CATU-RN RIVER BASIN, NE BRAZIL

Leandson Roberto Fernandes Lucena¹, José Araújo Dantas², Aldo Arnaldo Medeiros³, Ernani Francisco Rosa Filho⁴

Artigo recebido em: 10/08/2012 e aceito para publicação em: 04/02/2013

Abstract: This article presents a synthesis of studies carried out in the hydrographic basin of the Catu River, southern part of the State of Rio Grande do Norte (Brazil), we analyze the relation between nitrogen fertilization from the sugar-cane (*Saccharum officinalis* L.) monoculture and the quality of water from the Barreiras Aquifer. The methods adopted were based on the analysis of pedologic risings, infiltration tests, physical-chemical analyses of waters and soils, and the hydrogeological local context. Results indicate that high infiltration rates associated with the physical characteristics of predominantly sandy soils, which allows greater vertical mobility of nitrogen compounds. This characteristic, summed up with the substantial concentration of nitrate in the deepest layers of the soil, point to a degradation of the underground water resource. These findings are corroborated by the detection of positive anomalies of NO₃⁻ in local wells, which are could be not associated with the infiltration of non-treated sanitary effluents.

Keywords: Soil classification. Barreiras Aquifer. Groundwater quality. Rio Catu basin management. Nitrogen fertilization.

Resumo: O presente artigo representa uma síntese de estudos realizados no âmbito da bacia hidrográfica do Rio Catu, litoral sul do Rio Grande do Norte, envolvendo um diagnóstico preliminar da relação entre a fertilização nitrogenada proveniente da monocultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinalis* L.) e a qualidade da água do Aquífero Barreiras na região. A metodologia adotada foi fundamentada em análises conjunta de levantamentos pedológicos, testes de infiltração, análises físico-químicas de águas e solos, além da contextualização hidrogeológica local. Os resultados obtidos evidenciaram uma proeminente influência dos aspectos físicos dos solos, estes predominantemente de natureza arenosa, associado com taxas de infiltração relativamente elevadas, favorecendo uma maior mobilidade vertical desses compostos nitrogenados. Tais características, somadas com a presença de teores substanciais de nitrogênio nas camadas mais profundas dos solos, evidenciam uma tendência à degradação do manancial hídrico subterrâneo na forma de concentrações elevadas de nitrato. Esta configuração ficou corroborada pela caracterização de anomalias positivas de NO₃⁻ em poços locais, uma vez que estes teores relativamente elevados não estão associados com infiltração de efluentes sanitários não tratados.

Palavras-Chave: Caracterização de solos. Aquífero Barreiras. Qualidade de água subterrânea. Gestão da bacia do Rio Catu. Fertilização nitrogenada.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A bacia do Rio Catu localiza-se no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte e possui uma área aproximada de 200 Km², abrangendo parte dos municípios de Canguaretama, Goianinha, Tibau do Sul e Vila Flor (figura 1). Sua vegetação é representada por três formações principais: a ve-

getação dos manguezais, a vegetação das praias e dunas e floresta tropical subperenifólia, relativa á denominada mata atlântica. O relevo da bacia do Rio Catu compreende as planícies fluviais, as planícies costeiras/dunas e tabuleiros costeiros, sendo estes últimos com maior representatividade na área de estudo.

¹ UFRN (leandson@geofisica.ufrn.br).

² EMPARN (dantas-emparn@rn.gov.br).

³ EMBRAPA-EMPARN (aldo-emparn@rn.gov.br).

⁴ LPH-UFPR (ernani@ufpr.br).

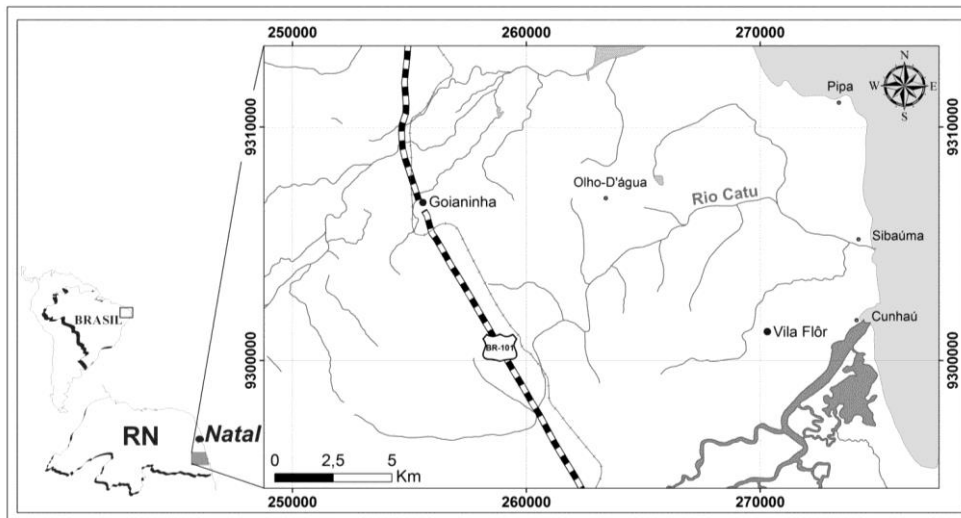


Figura 1 - Localização da área de estudo.
Figure 1 - Location of the research area.

Esta bacia acha-se esculpida sobre terrenos sedimentares cenozóicos da Formação Barreiras, embora capeadas por coberturas quaternárias (aluviões, dunas, sedimentos praias e de mangues) e, conseqüentemente, encontrando-se sob forte influência do aquífero homônimo. Esta influência do Aquífero Barreiras, somado ao índice pluviométrico da ordem de 1.500 mm/ano (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte-EMPARN, 2011), é responsável por esta bacia apresentar rios perenes em praticamente toda a sua extensão, a exemplo de outras pequenas bacias que escoam em direção ao litoral leste potiguar. Estas formações geológicas originaram solos de textura essencialmente arenosa e média, com destaque para os neossolos quartzarênicos, latossolos amarelos e argissolos amarelos. O clima local é tropical úmido (As), segundo a classificação de Köppen (*in* EMPARN, 2011), com temperaturas médias em torno de 27°C e umidade relativa de 76%.

A região é caracterizada pelas culturas de coco da bahia (*Cocos nucifera L.*), mandioca (*Manihot esculenta L.*), banana (*Musa ssp*), manga (*Mangifera indica L.*), dentre outras, tradicionalmente adotadas pelas comunidades locais (pequenos e médios produtores e agricultura de subsistência). Contudo, a cultura mais proeminente local é a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), voltada para a agroindústria (produção de açúcar e etanol). Outras atividades sócio-econômicas desenvolvidas na área da bacia em questão são a carcinicultura e o turismo. Em termos de uso e ocupação do solo, a agricultura representa cerca de 99% de toda a área da bacia (SERHID, 1998), sendo cerca de 90% ocupado apenas pela cana-de-açúcar.

A literatura especializada já relata a influência de agroquímicos, especialmente fertilizantes (com destaque para os compostos nitrogenados), na qualidade das águas subterrâneas (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1983; HIRATA *et al.*, 1993; LUIZ *et al.*, 2004). Somado a isso, outras pesquisas (KOSLOWSKY, 1999; RUIZ, 2002) enfatizam este tipo de contaminação como sendo de difícil remediação, por se tratar de uma contaminação do tipo difusa. Feitosa *et al.* (2008) destaca que aplicações de fertilizantes nitrogenados variam de 100 a 500kg/ha.ano, valores estes similares àqueles praticados nos canais da região litorânea do nordeste brasileiro. Brito *et al.* (2009), por sua vez, adverte para um incremento do potencial de contaminação do lençol freático, com base em um experimento realizado no interior do Estado de São Paulo em que foi aplicado cerca de 120kg/ha de nitrogênio em um perímetro de cana-de-açúcar, durante períodos de elevada pluviosidade e drenagem interna significativa. Jadoski *et al.* (2010) igualmente adverte para o risco da lixiviação de nitrato em áreas de solos de textura mais arenosa e considerando a prática intensiva da fertilização nitrogenada associada com irrigação abundante.

As referidas pesquisas podem subsidiar, direta ou indiretamente, avaliações de vulnerabilidade de aquíferos, sobretudo aqueles de caráter hidráulico livre, mediante metodologias empíricas propostas por Aller *et al.* (1987) e Foster e Hirata (1988). A vulnerabilidade de um aquífero é definida como sendo as características intrínsecas que determinam a sensibilidade de um manancial hídrico subterrâneo ser adversamente afetado por uma carga

contaminante antrópica imposta (FOSTER, 1987; FOSTER E HIRATA, 1988), sendo função, primordialmente, da acessibilidade da zona saturada e da capacidade de atenuação da zona não saturada. Nesse contexto, a caracterização física (morfológica, litológica, espessura, condições hidráulicas) e química dos solos, estes associados com as zonas não saturadas superiores, representam informações preponderantes nas análises de vulnerabilidade natural de aquíferos.

Entretanto, estudos que caracterizem a zona não saturada superior, sob o ponto de vista de risco de contaminação de aquíferos, são escassos no litoral do nordeste brasileiro, apesar da secular agroindústria da cana-de-açúcar (e o conseqüente uso de fertilização química). Tal deficiência de pesquisas nessa área vem impossibilitando um diagnóstico regional da influência dessa fertilização química na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

O Aquífero Barreiras, particularmente, representa o principal manancial hídrico do litoral leste do Estado, respondendo por cerca de 80% do abastecimento público de todos os municípios inseridos nesta região, além da irrigação. A Formação Barreiras, homônima do aquífero, possui uma constituição litológica bastante diversificada, envolvendo desde conglomerados a argilitos, embora se tenha o predomínio de arenitos argilosos. Esta formação, conforme reportado, é capeada por coberturas quaternárias, com ampla predominância de sedimentos inconsolidados de natureza arenosa.

O comportamento hidráulico deste aquífero, variando de livre a semi-confinado (IPT, 1982; MELO *et al.*, 1994; AUTOR *et al.*, 2004a), torna-o particularmente vulnerável a contaminações, sobretudo em locais de espessuras não saturadas reduzidas. Resultados preliminares obtidos por Autor *et al.* (2004b) na área da bacia do Rio Pirangi (distado cerca de 30 km ao norte do Rio Catu), indicam a presença de anomalias com teores elevados de Nitrogênio e, secundariamente, Potássio associado com a fertilização química em perímetros irrigados nessa área.

Diante desse contexto, o presente artigo objetivou contextualizar os horizontes pedológicos locais, associados com a zona não saturada superior, e a lixiviação de compostos nitrogenados provenientes de fertilização química como subsídio na avaliação preliminar do risco de contaminação por nitrato do Aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Catu-RN.

MÉTODOS

A metodologia geral, de natureza multidisciplinar, foi fundamentada na integração de dados

provenientes de levantamentos pedológicos, resultados de análises de testes de infiltração e contextualização do meio hidrogeológico local. Esta contextualização do meio hidrogeológico contemplou a elaboração de uma cartografia evidenciando a disposição de teores de nitrato em amostras de água do Aquífero Barreiras coletadas em poços ao longo da área da bacia do Rio Catu-RN.

A referida coleta foi realizada utilizando-se a metodologia de baixa vazão (NIELSEN & NIELSEN, 2002), compreendendo purgas de 500ml/min e rebaixamentos mínimos do nível d'água nos poços, minimizando o distúrbio na formação aquífera e garantindo uma maior representatividade das amostras. A coleta de cerca de 2000ml de água por poço foi efetuada quando se observou a estabilização do nível d'água e parâmetros como a temperatura e condutividade elétrica mensurada em uma sonda multiparâmetros.

Este processo de amostragem apresentou como objetivo principal a determinação de teores dos compostos nitrogenados, sobretudo o nitrato (N-NO_3^-), embora tenha contemplado adicionalmente a determinação em laboratório dos seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), cor (uH), turbidez (UT), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), sólidos totais a 105°C (mg/L), sólidos dissolvidos totais (mg/L), sólidos em suspensão (mg/L), alcalinidade total (mg/L CaCO_3), alcalinidade de hidróxido (mg/L CaCO_3), alcalinidade de carbonato (mg/L CaCO_3), dureza total (mg/L CaCO_3), nitrogênio amoniacal (mg/L N-NH_3), nitrito (N-NO_2^-), cálcio (mg/L Ca^{2+}), magnésio (mg/L Mg^{2+}), sódio (mg/L Na^+), potássio (mg/L K^+), ferro (mg/L Fe_{Total}), carbonato (mg/L CO_3^{2-}), bicarbonato (mg/L HCO_3^-), sulfato (mg/L SO_4^-) e cloreto (mg/L Cl^-).

Após a obtenção dos resultados analíticos para os parâmetros físico-químicos reportados, os mesmos foram submetidos a testes de consistência, através do cálculo da diferença do balanço iônico-DBI, onde se adotou um erro máximo permissível de 5%, compatível com condutividades elétricas não superiores a $400 \mu\text{S/cm}$ (FEITOSA *et al.*, 2008).

No mapeamento local de solos, tomando-se como base o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2004), abordou-se suas características morfológicas, físicas e químicas, relativas à gênese, morfologia e classificação dos mesmos. Além desses estudos, procurou-se caracterizar a dinâmica hídrica dos solos com vistas a averiguar taxas de velocidade de infiltração básica nos diferentes solos identificados. Os trabalhos de campo foram

efetuados tomando-se como referência as unidades de mapeamento existentes nos municípios envolvidos. Nesse aspecto, o estudo dos solos compreendeu as seguintes etapas: reconhecimento geral da área, sondagens a trado para identificar classes de solos distintas, escolha de locais para abertura de perfis pedológicos representativos, descrição morfológica e coleta de amostra de solo nos perfis pedológicos e execução de testes de infiltração em cada perfil representativo. Estes testes de infiltração foram efetuados com vistas a aferir a velocidade de entrada de água no solo. Nesse caso, utilizou-se a metodologia do duplo anel concêntrico, com lâmina de água constante (BERNARDO, 1989)

As análises físicas e químicas foram realizadas no laboratório de Solo, Água, Plantas e Adubos, pertencente à EMPARN. A metodologia básica empregada nas determinações das análises físicas e químicas, além da descrição e coleta de solos, foi preconizada pela EMBRAPA (1997) e Lemos e Santos (2002), respectivamente. A classificação taxonômica dos solos, por sua vez, foi efetuada segundo normas da EMBRAPA (2006).

Os dados provenientes de tais levantamentos foram analisados em conjunto com a contextualização do Aquífero Barreiras na área, incluindo resultados de análises físico-químicas de águas de poços, objetivando qualificar possíveis indicativos de tendência à contaminação do aquífero por fertilizantes nitrogenados provenientes da lixiviação desses componentes alocados na superfície do terreno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação dos solos da bacia do Rio Catu

Na bacia do Rio Catu foram identificadas e mapeadas seis unidades de solos, com suas associações, conforme descrição a seguir: Argissolos, Latossolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Quartzarênicos Marinhos, Neossolos Flúvicos e Solos Indiscriminados de Mangues. Entretanto, apenas as três primeiras unidades de mapeamento foram descritas, uma vez que representam mais de 90% da área da bacia hidrográfica em questão, conforme identificação abaixo:

ARGISSOLO AMARELO

Alítico típico A (P1) - moderada textura arenosa/média, fase floresta subtropical perenifólia e relevo plano. As coordenadas geográficas do perfil

pedológico e respectivo teste de infiltração são: 06° 21' 08" Sul, 35° 09' 12" W e altitude de 240 metros (figura 2). Os solos desta classe têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação, inclusive de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escuras. A profundidade dos solos é variável, embora costumeiramente pouco profundos. Representam, juntamente com os latossolos, os solos mais expressivos do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões. Na bacia do Rio Catu, entretanto, ocorre apenas em pequenas superfícies, principalmente no seu setor sul-sudoeste, não sendo mapeável em escalas menores que 1:50.000.

LATOSSOLO AMARELO

Distrófico típico A (P2) - moderada textura média, fase floresta subtropical perenifólia e relevo suave ondulado. As coordenadas geográficas do perfil pedológico e respectivo teste de infiltração são: 06° 15' 06" Sul, 35° 04' 13" W e altitude de 200 metros (figura 2). Em geral são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, conforme pode ser observado nos atributos morfológicos, físicos e químicos (tabelas 1, 2 e 3). Na bacia do Rio Catu e a exemplo dos argissolos, os latossolos ocorrem apenas em pequenas superfícies, principalmente no seu setor nordeste, não sendo mapeável em escalas menores que 1:50.000.

NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO

Órtico típico (P3 e P4) - fase floresta subtropical perenifólia e relevo plano. As Coordenadas geográficas dos perfis pedológicos e respectivos testes de infiltração são: 06° 14' 06" Sul, 35° 07' 08" W e altitude de 167 metros e 06° 12' 02" Sul, 35° 06' 10" W e altitude de 160 metros (figura 2). Os neossolos quartzarênicos, muito expressivos no Brasil, são comuns na região litorânea e em alguns estados do Nordeste, compreendendo solos profundos e de natureza arenosa. Representa o tipo pedológico amplamente predominante na área da bacia do Rio Catu.

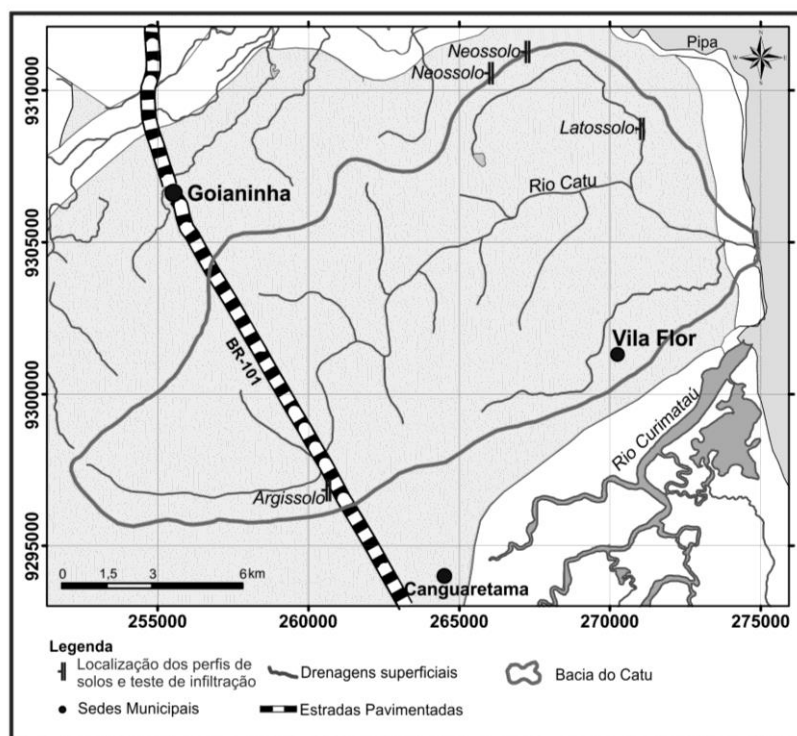


Figura 2 - Localização dos perfis de solos e testes de infiltração.

Figure 2 - Location of soil profiles and infiltration tests.

Atributos morfológicos

Os solos mapeados na bacia do Rio Catu, em particular, os argissolos amarelos, os latossolos amarelos e os neossolos quartzarênicos são no geral profundos, com cores predominantemente amareladas, inseridos nas classes texturais variando de arenosa a franco-argilo-arenosa. A estrutura também apresenta pouca variação, enquanto que a consistên-

cia varia de solta, não plástica e não pegajosa a plástica e pegajosa no horizonte Bt do argissolo. Já a transição entre os horizontes no argissolo varia de clara e plana a abrupta e ondulada, enquanto que nos outros solos variam de clara e plana a difusa e plana, estando em conformidade com as características morfológicas dessas classes de solos (tabela 1).

Tabela 1 - Características morfológicas dos solos da bacia do Rio Catu-RN.

Table 1 - Morphological characteristics of the soils of Catu-RN River basin.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor (úmida)	Classe textural	Estrutura ¹	Consistência ² (úmida e molhada)	Transição ³
Argissolo Amarelo alítico típico, textura arenosa/média, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₁)						
Ap	0-12	10 YR 4/3	areia	fr. Peq. Gran.	So., nplás. E npeg.	Cla.. e pla.
A ₃	12-28	10YR 4/4	areia	fr. Peq. Gran.	So., nplás. E npeg.	Gra.. pla.
B _{1t}	28-44	10 YR 5/4	areia franca	fr. Peq. Gran. E gr. Simp.	So., nplás. E npeg.	Cla.. e pla.
B _{21t}	44-70	10 YR 5/4	franco aren.	Fr. Peq. Bl. Subang.	Lig plás. E lig. Peg.	Abr. E ond.
B _{22t}	70-140+	7,5 YR 5/4	franco argilo aren.	Fr. Peq. Bl. Subang.	Plás e peg.	-
Latossolo Amarelo distrófico, textura média, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (P₂)						
Ap	0-18	10 YR 4/3	areia franca	fr. Peq. Gran.	So., nplás. E npeg.	Cla.. e pla.
A ₃ /B ₁	18-30	10YR ¾	areia franca	fr. Peq. Gran.	So. A mfríria, nplás e npeg.	Cla.. e pla.
B ₁	30-50	10 YR 5/4	franco arenosa	fr. Peq. Bl. Subang.	So. Lig plás. E lig. Peg.	Gra. E pla.
B _{w21}	50-85	10 YR 6/4	franco arenosa	fr. Peq. Bl. Subang.	So. Lig plás. E lig. Peg.	Gra. E pla.
B _{w22}	85-150+	10 YR 6/4	franco arenosa	fr. Peq. Bl. Subang.	So. Lig plás. E lig. Peg.	-

Tabela 1 – Características morfológicas dos solos da bacia do Rio Catu-RN.
Table 1 – Morphological characteristics of the soils of Catu-RN River basin.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor (úmida)	Classe textural	Estrutura ¹	Consistência ² (úmida e molhada)	(conclusão) Transição ³
Neossolos Quartzarênico órtico típico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₃)						
Ap	0 – 15	10 YR 4/4	areia	fr. peq. gran.	so., nplás. e npeg.	cla. e pla.
A ₃	15 – 40	10 YR 5/4	areia	fr. peq. gran.	so., nplás. e npeg.	gra. e pla.
C ₁	40 -75	10 YR 5/4	areia	fr. peq. gran. e gr. simp.	so., nplás. e npeg.	dif, e pla.
C ₂	75 -120	10 YR 5/4	areia	fr. peq. gran. e gr. simp.	so., nplás. e npeg.	dif, e pla.
C ₃	120-170+	10 YR 6/4	areia	fr. peq. gran. e gr. simp.	so., nplás. e npeg.	-
Neossolos Quartzarênico órtico típico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₄)						
Ap	0 – 15	10 YR 4/4	areia	fr. peq. gran.	so., nplás. e npeg.	cla. e pla.
A ₃	15 – 30	10 YR 5/4	areia	fr. peq. gran.	so., nplás. e npeg.	dif, e pla.
C ₁	30 - 54	10 YR 5/4	areia	fr. peq. gran. e gr. simp.	so., nplás. e npeg.	dif, e pla.
C ₂	54 – 90	10 YR 5/4	areia	fr. peq. gran. e gr. simp.	so., nplás. e npeg.	dif, e pla.
C ₃	90-150+	10 YR 6/4	areia	fr. peq. gran. e gr. simp.	so., nplás. e npeg.	-

⁽¹⁾ Fr.: fraca; peq.: pequena; mpeq.: muito pequena; gran.: granular; gr. simp.: grãos simples; bl. subang.: blocos subangulares. ⁽²⁾ so.: solto; friá.: friável; mfriá.: muito friável; nplás.: não plástico; npeg.: não pegajoso; lig. Plás.: ligeiramente plástico; plás.: plástico; lig. Peg.: ligeiramente pegajoso; peg.: pegajoso; ⁽³⁾ cla.: clara; dif.: difusa; pla.: plana; gra.: gradual; abr.: abrupta; ond.: ondulada.

Atributos físicos do solo

As frações granulométricas dos solos estudados apresentam predominância da fração areia, principalmente nos neossolos quartzarênicos, conforme se observa na camada A₃ do perfil P₄, com teores de areia de 97% do total da fração granulométrica (tabela 2). No argissolo, tem-se um predomínio da fração areia nos horizontes superficiais, enquanto que a acumulação de argila ocorre no horizonte B_{2t}, horizonte este diagnóstico do solo. No latossolo, verifica-se uma uniformidade nas frações granulo-

métricas, no qual a fração silte apresentou teores mais elevados em relação aos demais tipos de solos. A relação silte/argila demonstra que se trata de solos bem intemperizados, no qual ocorreu intensa lixiviação ao longo da sua formação. As densidades dos solos são bastante uniformes e estão compatíveis com os outros atributos estudados, especialmente a granulometria e a estrutura. A condutividade elétrica do extrato de saturação indica que os solos não apresentam problemas relativos à salinização (tabela 2).

Tabela 2 - Características físicas dos solos da bacia do Rio Catu-RN.
Table 2 - Physical characteristics of the soils of Catu-RN River basin.

Horiz.	Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	S/A	Ds	CEes
			g kg ⁻¹		-	kg dm ⁻³	dS.m ⁻¹
Argissolo Amarelo alítico típico, textura arenosa/média, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₁)							
Ap	0-12	908	72	20	3,6	1,43	0,27
A ₃	12-28	911	69	20	3,45	1,43	0,13
B _{1t}	28-44	862	78	60	1,3	1,43	0,10
B _{21t}	44-70	791	69	140	0,49	1,35	0,08
B _{22t}	70-140+	630	90	280	0,32	1,38	0,15
Latossolo Amarelo distrófico, textura média, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (P₂)							
Ap	0 -18	864	96	40	2,40	1,55	0,15
A ₃ /B ₁	18 – 30	807	93	100	0,93	1,48	0,91
B ₁	30 – 50	773	107	120	0,89	1,44	0,16
B _{w21}	50 – 85	789	40	171	0,23	1,36	0,20
B _{w22}	85– 150+	699	181	120	1,51	1,37	0,18
Neossolos Quartzarênico órtico típico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₃)							
Ap	0 – 15	949	31	20	1,55	1,53	0,15
A ₃	15 – 40	953	27	20	1,35	1,51	0,08

Tabela 2 - Características físicas dos solos da bacia do Rio Catu-RN.**Table 2** - Physical characteristics of the soils of Catu-RN River basin.

Horiz.	Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	S/A	Ds kg dm ⁻³	CEes dS.m ⁻¹
C ₁	40-75	924	56	20	2,80	1,49	0,07
C ₂	75-120	899	81	20	4,05	1,56	0,05
C ₃	120-170+	925	55	20	2,75	1,56	0,04
Neossolos Quartzarênico órtico típico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₄)							
Ap	0-15	941	39	20	1,95	1,47	0,20
A ₃	15-30	970	10	20	0,50	1,46	0,12
C ₁	30-54	943	37	20	1,85	1,45	0,08
C ₂	54-90	954	26	20	1,30	1,45	0,06
C ₃	90-150+	942	38	20	1,90	1,48	0,06

S/A: relação silte/argila; Ds: densidade do solo; CEes: condutividade elétrica do extrato de saturação.

Atributos químicos do solo

Quanto à caracterização química, observou-se que os valores de pH mostraram-se similares em todos os tipos de solos, excetuando-se o neossolo quartzarênico (perfil P₄), com valores mais elevados.

Esta diferenciação decorre da prática de correção do solo com calcário dolomítico, objetivando exatamente a elevação do pH e de teores de cálcio e magnésio (tabela 3).

Tabela 3 - Características químicas dos solos da bacia do Rio Catu-RN.**Table 3** - Chemical characteristics of the soils of Catu-RN River basin.

Hor./Prof. (cm)	pH	MO g.dm ⁻³	N	P mg/kg	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺ TFSE	SB	CTC	V %	m
Argissolo Amarelo alítico típico, textura arenosa/média, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₁)														
Ap 0-12	5,4	6,9	0,46	3	1,23	0,51	0,10	0,06	0,00	2,30	1,90	4,20	45,2	12,3
A ₃ 12-28	5,0	4,4	0,46	2	0,48	0,16	0,03	0,02	0,10	1,82	0,69	2,56	26,9	12,6
B _{1t} 28-44	5,1	2,3	0,61	2	0,48	0,14	0,02	0,02	0,15	2,04	0,66	2,70	24,4	18,5
B _{21t} 44-70	5,1	2,3	0,81	2	0,35	0,14	0,02	0,04	0,46	2,64	0,55	3,15	17,4	45,5
B _{22t} 70-140+	5,2	1,4	0,96	3	0,21	0,11	0,03	0,04	0,72	2,73	0,39	4,13	9,4	66,3
Latossolo Amarelo distrófico, textura média, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (P₂)														
Ap 0-18	5,0	11,7	0,46	70	0,74	0,51	0,03	0,03	0,15	2,64	1,06	3,70	28,6	12,3
A ₃ /B ₁ 18-30	5,8	6,90	0,46	6	0,62	0,16	0,08	0,02	0,00	1,36	0,90	2,26	38,8	00,0
B ₁ 30-50	5,0	5,98	0,46	3	0,61	0,14	0,11	0,03	0,10	1,36	0,85	2,21	38,4	10,5
B _{w21} 50-85	4,4	5,75	0,89	1	0,49	0,14	0,03	0,01	0,57	3,66	0,73	4,39	16,6	43,8
B _{w22} 85-150+	4,4	3,68	0,88	1	0,57	0,11	0,02	0,02	0,51	2,64	0,75	3,39	28,4	40,4
Neossolos Quartzarênico órtico típico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₃)														
Ap 0-15	5,4	8,96	0,68	5	0,41	0,08	0,04	0,15	0,26	1,79	0,68	0,94	72,3	27,6
A ₃ 15-40	4,8	5,06	0,61	2	0,29	0,02	0,01	0,02	0,26	1,11	0,34	0,60	56,6	43,3
C ₁ 40-75	4,7	5,29	0,70	1	0,03	0,02	0,01	0,02	0,26	0,43	0,08	0,34	23,5	76,4
C ₂ 75-120	4,7	4,60	0,99	1	0,03	0,01	0,01	0,02	0,15	0,43	0,07	0,22	31,8	68,1
C ₃ 120-170+	4,8	2,53	1,03	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,34	0,04	0,44	6,82	23,0
Neossolos Quartzarênico órtico típico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano (P₄)														
Ap 0-15	6,5	16,5	0,76	152	3,15	1,05	0,03	0,02	0,00	0,51	4,25	4,76	89,3	0,0
A ₃ 15-30	6,5	9,65	0,61	11	0,85	0,39	0,02	0,06	0,00	0,60	1,32	1,92	68,7	0,0
C ₁ 30-54	5,3	6,90	0,61	8	0,22	0,07	0,02	0,01	0,26	1,45	0,32	1,77	18,1	44,8
C ₂ 54-90	4,9	8,05	0,95	5	0,10	0,04	0,03	0,01	0,31	1,96	0,18	2,14	8,40	37,5
C ₃ 90-150+	4,7	8,73	0,98	2	0,04	0,02	0,03	0,02	0,26	1,19	0,11	1,30	8,51	29,7

Velocidade de infiltração básica do solo – VIB

A velocidade de infiltração básica do solo (VIB) tem grande importância no ciclo hidrológico. Durante uma chuva ou irrigação, parte da água infiltra no solo e a outra parte escorre na forma de enxurrada, podendo causar erosão. Portanto, quanto maior a infiltração de água, menor é o potencial de ocorrer erosão. A quantificação da velocidade de infiltração

da água no solo possui utilidade em diversas áreas na agricultura, sobretudo em projetos de irrigação (manejo agrícola sob irrigação), na aplicação de biossólidos e em projetos conservacionistas. A VIB é determinada com o objetivo de estabelecer a taxa máxima de aplicação ou a quantidade máxima de chuva que o terreno suporta sem que ocorram perdas

por escoamento superficial e, conseqüentemente, minimizando o processo erosivo. Em projetos de drenagem do solo, o conhecimento da VIB e da condutividade hidráulica do solo são essenciais para a determinação do tamanho e da distância entre os drenos. No presente estudo, particularmente, a utilização dos valores de VIB objetivou ressaltar este parâmetro como indicativo de acessibilidade no

tempo de determinada carga contaminante conservativa à zona não saturada e, posteriormente, à zona saturada.

No caso da bacia do Rio Catu foram efetuados quatro testes de infiltração, para avaliar a velocidade de infiltração básica do solo. Os resultados são sintetizados na figura 3.

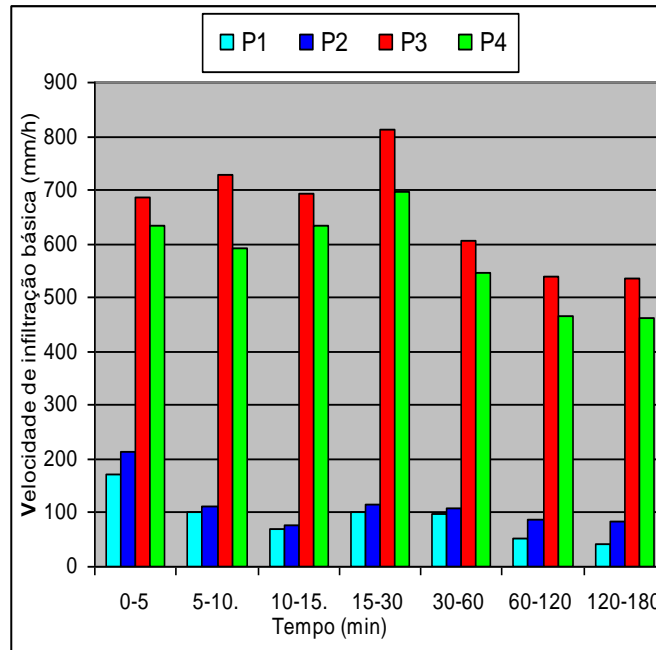


Figura 3 - Velocidade de infiltração básica dos tipos de solos caracterizados.
Figure 3 - Basic infiltration velocity of soils types characterized.

Os valores da VIB mostrados na figura 3 para o argissolo amarelo, sob cobertura da cultura de coqueiro anão, foram substancialmente elevados nos primeiros cinco minutos, compatível com um solo de granulometria arenosa. Na primeira hora, duas primeiras horas e três primeiras horas de teste, a VIB média foi de 108,53 mm h⁻¹, 79,97 mm h⁻¹ e 67,12 mm h⁻¹, respectivamente. Estes valores são concordantes com valores citados por Reichert et al. (2011) em solos que apresentam características físicas semelhantes a este argissolo.

Para o latossolo amarelo, sob cobertura da cultura de cana-de-açúcar e a exemplo do argissolo, a VIB mostrou-se bastante elevada nos primeiros cinco minutos. Na primeira hora de teste a VIB média foi de 125,34 mm h⁻¹, nas duas primeiras horas a VIB média foi de 105,86 mm h⁻¹ e em três horas foi de 98,66 mm h⁻¹. Estes valores são similares com aqueles encontrados por Lanzanova et al. (2007) para um argissolo vermelho-amarelo aluminoso típico, o qual apresentou valores variando de 84 a 114 mm h⁻¹. Sabe-se que nos latossolos, de maneira geral, existem uniformidades nos horizontes, com

transições difusas entre eles. Desta forma, pode-se observar na figura 3 que a VIB apresentou valores mais uniformes durante as três horas de teste, quando comparado com os valores obtidos para o argissolo amarelo. Tal fato é justificado pelas características morfológicas e físicas diferenciadas entre os latossolos e podzólicos.

Para os neossolos quartzarênicos, tem-se valores de VIB substancialmente mais elevadas em ambos os perfis, considerando-se sobretudo sua textura arenosa e estrutura granular com grãos simples característicos.

A tabela 4 apresenta uma síntese das relações entre as propriedades físicas dos solos, particularmente a granulometria e velocidade de infiltração básica do solo (VIB), e seus respectivos teores de nitrogênio total. Em linhas gerais, verifica-se uma conformidade da VIB com as propriedades físicas desses tipos de solos, observando-se um valor médio no argissolo amarelo, elevado no latossolo amarelo e muito elevado nos neossolos quartzarênicos. No caso específico da bacia do Rio Catu, a cana-de-açúcar, cultivada em aproximadamente 90% da área,

é irrigada e adubada com fertilização química, conforme reportado, além de efetuar-se correção com calcário dolomítico e aplicação de vinhaça como fertilização complementar. No tocante aos teores de nitrogênio total, observa-se um aumento com a profundidade do solo em todos os perfis analisados,

embora os maiores teores tenham sido caracterizados nos solos de textura mais arenosa. Tal fato decorre da maior lixiviação do nitrogênio dentro das camadas dos neossolos quartzânicos, quando comparado com o argissolo e latossolo.

Tabela 4 - Relações entre classes de solos, granulometria, teores de nitrogênio e velocidade de infiltração básica no solo (VIB).

Table 4 - Relationships between soils classes, granulometry, nitrogen content and basic infiltration velocity (BIV).

Classe de solo	Horiz	Prof. (cm)	Classe Textural	Teores de nitrogênio total (g.dm ⁻³)	Velocidade de infiltração básica (VIB)	
					Tempo (minuto)	Valores (mm h ⁻¹)
Argissolo Amarelo (P ₁)	Ap	0-12	areia	0,46	0-5	171,36
	A ₃	12-28	areia	0,46	5-10	102,84
	B _{1t}	28-44	areia franca	0,61	10-15	68,52
	B _{21t}	44-70	franco arenosa	0,81	15-30	102,80
	B _{22t}	70-140+	fr. arg. aren. ⁽¹⁾	0,96	30-60	97,12
					60-120	51,41
					120-180	41,41
Latossolo Amarelo (P ₂)	Ap	0-18	areia franca	0,46	0-5	214,20
	A ₃ /B ₁	18-30	areia franca	0,46	5-10	111,12
	B ₁	30-50	franco arenosa	0,49	10-15	77,16
	B _{w21}	50-85	franco arenosa	0,89	15-30	114,24
	B _{w22}	85-150+	franco arenosa	1,12	30-60	109,96
					60-120	86,39
					120-180	84,25
Neossolo Quartzarênico (P ₃)	Ap	0-15	areia	0,68	0-5	685,44
	A ₃	15-40	areia	0,61	5-10	728,28
	C ₁	40-75	areia	0,70	10-15	693,96
	C ₂	75-120	areia	0,99	15-30	811,10
	C ₃	120-170+	areia	1,03	30-60	606,90
					60-120	539,07
					120-180	534,07
Neossolo Quartzarênico (P ₄)	Ap	0-15	areia	0,76	0-5	634,08
	A ₃	15-30	areia	0,69	5-10	591,24
	C ₁	30-54	areia	0,69	10-15	633,96
	C ₂	54-90	areia	0,95	15-30	696,88
	C ₃	90-150+	areia	1,23	30-60	545,50
					60-120	466,24
					120-180	461,96

Análises físico-químicas de água de poços do Aquífero Barreiras

As análises físico-químicas de água foram realizadas em 40 amostras coletadas em poços tubulares produtores (30), piezômetros (4) e poços amazons (6), ambos inseridos no Aquífero Barreiras. A seleção dos pontos d'água para amostragem procurou contemplar toda a área da bacia, embora deva ser ressaltado a não ocorrência de poços ou amostragem em algumas subáreas, seja pela ausência de captações, seja pela não autorização para amostra-

gem por parte dos proprietários dos canaviais.

As águas foram classificadas, com base nos íons dominantes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ + K⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻ e Cl⁻) expressos em unidade de meq/L (FEITOSA et al., 2008), em cloretadas sódicas (30 amostras), cloretadas mistas (5 amostras) e bicarbonatadas mistas (5 amostras). Os resultados analíticos para os compostos nitrogenados (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato) evidenciaram 11 amos-

tras/poços com teores de nitrogênio amoniacal variando de 0,01 a 2,86 mg/L, 3 amostras/poços com teores de nitrito variando de 0,03 a 0,63 mg/L e 37 amostra/poços apresentando teores de nitrato varian-

do de 0,05 a 6,67 mg/L. A distribuição desses teores de nitrato ao longo da área da bacia é mostrado na figura 4.

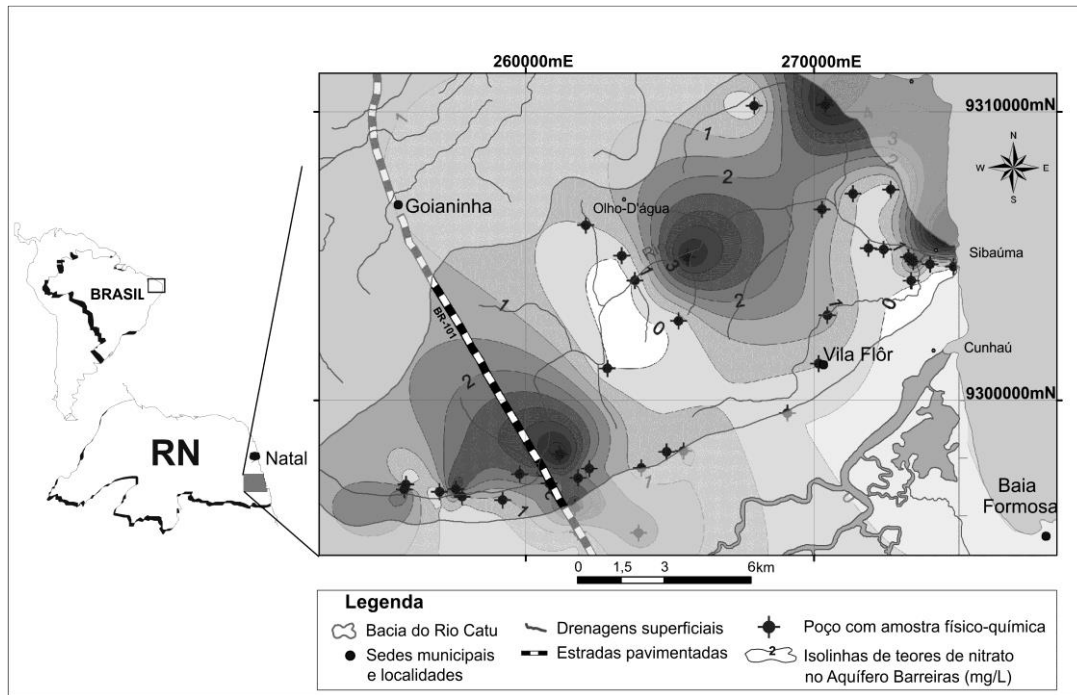


Figura 4 - Mapa de isolinhas de teores de Nitrato em amostras de água do Aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Catu-RN; os poços amostrados acham-se assinalados por símbolo característico na cor preta.

Figure 4 - Isolines map of Nitrate content in samples of water of Barreiras Aquifer in the area of Catu-RN River basin; the wells sampled are marked by characteristic black symbols.

Aspectos da influência da lixiviação de compostos nitrogenados como subsídio na análise de risco à contaminação do Aquífero Barreiras

Conforme reportado, o risco de contaminação a qual um determinado sistema aquífero está submetido, mediante uma carga contaminante imposta, está associado à acessibilidade da zona saturada e capacidade de atenuação da zona não saturada (FOSTER, 1987; FOSTER E HIRATA, 1988), dentre outros fatores. Nesse contexto, a influência da lixiviação de compostos químicos, particularmente aqueles de natureza nitrogenada, em diferentes tipos de solos na análise de vulnerabilidade de aquíferos sedimentares fundamenta-se basicamente na acessibilidade hidráulica desse contaminante à zona saturada. Somado a isso, ressalta-se que a espessura da zona não saturada representa a principal linha de defesa do aquífero, posto que nela ocorrem os principais processos de atenuação da carga contaminante imposta, particularmente mediante dispersão, retardação e degradação (FEITOSA et al., 2008).

A análise dos dados inseridos nas tabelas de

que tratam as propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos identificados (tabelas 1, 2 e 3, respectivamente), somado com valores representativos de infiltração básica nos referidos solos (figura 3), evidencia uma maior mobilidade do nitrogênio nas porções superiores da zona não saturada (solos). Este fato é igualmente corroborado pelas texturas arenosas predominantes e consequentes taxas de infiltração/lixiviação relativamente elevadas. Os teores de nitrogênio total, embora se mostrem crescentes com a profundidade nos quatro perfis de solos caracterizados (tabela 4), apresentam valores maiores nos horizontes mais profundos dos neossolos (P3 e P4), sendo estes responsáveis igualmente por velocidades de infiltração e infiltração acumulada substancialmente maiores. Dessa forma, tais características morfológicas e hidráulicas dos neossolos contribuem para uma maior acessibilidade de compostos nitrogenados provenientes da fertilização química a

zona saturada. De maneira análoga, as elevadas velocidades de infiltração registradas nos neossolos tendem a reduzir a assimilação do nitrogênio pela planta, contribuindo para uma redução na capacidade de atenuação da zona não saturada.

Considerando esse contexto, o mapa de teores de nitrato das águas subterrâneas (figura 4) revela indícios de contaminação, com alguns setores do mesmo apresentando teores já superiores a 5 mg/L (conforme faixa de valores associados à contaminação citado por FEITOSA et al., 2008). Ressalta-se, entretanto, que anomalias identificadas no extremo nordeste do referido mapa poderiam decorrer das condições deficitárias de esgotamento sanitário em adensamentos populacionais locais. Esta observação, contudo, não pode ser aplicada às outras duas anomalias (centro-nordeste e centro-sudoeste do mapa), as quais se situam em áreas de intensivo cultivo da cana-de-açúcar e reduzida ou mesmo inexistente ocupação populacional.

Considerando todo o contexto físico-químico reportado referente às zonas não saturada e saturada, a literatura disponível já sinaliza com procedimentos alternativos a utilização de concentrações elevadas de compostos nitrogenados como componentes da fertilização química. DEMATTE (2009), dentre outros autores, defendem o procedimento de incorporação da palha ao solo, ao invés da queima, como forma de evitar a perda de nutriente no cultivo da cana. Em área na qual a cana-de-açúcar não é queimada, a quantidade de nutriente acumulado na palha é apreciável. Para cada tonelada de massa seca há cerca de 4,6 kg de nitrogênio, 4,7 kg de oxido de potássio, 1,8 kg de cálcio e 0,9 kg de magnésio. Entretanto, a disponibilidade destes nutrientes tem taxa diferenciada e depende dos componentes nos quais estão presentes na planta. O nitrogênio possui liberação lenta, menos de 20% ao ano, uma vez que integra a celulose e a hemicelulose, as quais possuem taxas de mineralização lentas. Outros procedimentos que são válidos para manter a capacidade produtiva dos solos cultivados com cana-de-açúcar é aplicação de subprodutos obtidos no beneficiamento. A aplicação da torta de filtro, misturado ou não às cinzas de caldeira, pode substituir parte do nitrogênio, todo o fósforo e parte do potássio usado na adubação mineral. Somado a isso, tem-se adicionalmente a possibilidade de adubação verde com leguminosas fixadoras de nitrogênio.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados relativos às análises físico-químicas de solos, somado com resultados dos testes de infiltração, revelam uma nítida tendência conservativa do nitrogênio em sua lixiviação, com teores

mais elevados detectados nas camadas mais profundas dos horizontes pedológicos. Esse contexto é substancialmente agravado pela ocorrência de solos bastante arenosos e com respectivas taxas de infiltração elevadas, as quais propiciam uma acentuada lixiviação dos compostos nitrogenados, particularmente o nitrato (NO_3^-), conferindo uma maior acessibilidade do poluente ao topo da zona saturada.

O mapa de teores de nitrato nas águas subterrâneas ao longo da bacia do Rio Catu, embora ainda não apresente valores substancialmente anômalos (superiores a 10 mg/L, conforme portaria Brasil-MS 2914 de 2011), já apresenta indícios de possíveis contaminações dessa natureza, particularmente nos setores centro-nordeste e centro-sudoeste do mesmo. Essa tendência de degradação qualitativa do Aquífero Barreiras, em relação a teores de nitrato nesses locais, deve estar associada com a fertilização química dos perímetros de cultivo da cana-de-açúcar. Essa observação é respaldada tendo em vista a reduzida ou mesmo inexistência de ocupação populacional que pudesse explicar a configuração de uma poluição decorrente de infiltração de esgotos sanitários não tratados.

Diante dos dados ora apresentados, ressalta-se a necessidade de um manejo otimizado da fertilização química, considerando mapas de vulnerabilidade do aquífero na área, sobretudo no que diz respeito a espessura e características físico-químicas da zona não saturada. Dessa forma, maiores quantitativos de nitrogênio poderiam ser utilizadas em locais de elevada espessura não saturada e minimizadas em espessuras não saturadas reduzidas. Ambos os procedimentos considerando igualmente a disposição da textura das camadas de solos, ressaltando-se as maiores taxas de lixiviação associadas com horizontes mais arenosos.

A continuidade da presente pesquisa deverá contemplar a elaboração de uma cartografia detalhada da vulnerabilidade do Aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Catu-RN, com ênfase nos dados ora reportados e variabilidade espacial dos demais parâmetros que compõem um estudo dessa natureza, particularmente a espessura não saturada. Somado a isso, deve-se considerar, de maneira mais conservadora, o referido manancial como sendo totalmente de natureza hidráulica livre.

Os resultados ora apresentados, em última análise, buscam fornecer subsídios para uma exploração eficiente que garanta a produtividade, embora de maneira ambientalmente sustentável, sobretudo minimizando a degradação do ecossistema envolvido, particularmente mananciais hídricos subterrâneos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq o financiamento do projeto que envolve o presente estudo. L. R. F. L. agradece igualmente ao CNPq a bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J.; HACKETT, G. DRASTIC: standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1987. 643 p. (EPA Publication 600287035).
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, v. 239, p. 39-46, 14 dez. 2011, seção 1.
- BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; GHIBERTO, P.J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 33:295-303, 2009.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrología Subterránea**. 2a ed. Barcelona: Omega, 1983. 2v.
- DEMATTE, J.L. I. **Racionalização do Uso de Fertilizantes e Corretivos na Cultura da cana-de-açúcar: uma importante alternativa de redução de custo agrícola**. Informações Agronômicas, Piracicaba n. 127, 2009. 27 p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Mapas de solos dos municípios do Estado do Rio Grande do Norte. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Solos, UEP-Recife, 2004. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/rn>.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPARN. Monitoramento climático do Estado do Rio Grande do Norte. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, Bol. de pesquisa, Natal-RN, 2011.
- FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Organização e coordenação científica Fernando A. C. Feitosa...[et al]... 3ª ed. rev. e ampl., Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.
- FOSTER, S.S.D. Fundamental concept in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy; Vulnerability of soil and groundwater to pollution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN THE NETHERLANDS. TNO/RIVM, Committee on Hydrological Research, Delft, Netherlands. Proceedings and information, 1987. p. 69-86.
- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/CEPIS WHO-PAHO/CEPIS, Lima, 1988. 81p.
- HIRATA, R. ; RODRIGUES, G. ; PARAIBA, L. ; BUSCHINELLI, C. Groundwater contamination risk for agriculture activity in São Paulo State (Brazil). In: Chilton, J.. (Org.). **Groundwater and agriculture: the inter-relationship**. Wallingford, Reino Unido, 1993, v. , p. 91-93.
- IPT. Estudo hidrogeológico regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. Natal, 1982. 389 p. Secretaria de Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Norte. Relatório técnico IPT nº 15.795.
- JADOSKI, S.O.; SAITO, L.R.; PRADO, C.; LOPES, E.C.; SALES, L.L.S.R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v3, nº1, 193-200, 2010.
- KOSLOWSKY, H.P. Contaminación de suelos y aguas subterráneas por agroquímicos. Memorial Congreso AIDIS-ACODAL, Medellín. 1999. 14p.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 31:1131-1140, 2007.
- LEMONS, R. C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4. Ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 84p.
- AUTOR, L.R.F.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A. V. L. A potenciometria do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi-RN e considerações sobre a relação com mananciais superficiais. **Revista Águas Subterráneas**, Curitiba, Nº 18, p. 19-27, 2004(a).
- AUTOR, L.R.F.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L. Características hidroquímicas do Aquífero Barreiras no âmbito do setor oriental da bacia do Rio Pirangi-RN. **Revista Águas Subterráneas**, Curitiba, Nº 18, p. 29-38, 2004(b).

LUIZ, A.J.B.; NEVES, M.C.; DYNIA, J.F. Implicações potenciais na qualidade das águas subterrâneas das atividades agrícolas na região metropolitana de Campinas, SP. EMBRAPA/MEIO AMBIENTE, Bol. de Pesquisa Nº 25, Jaguariúna-SP, 2004, 33 p.

MELO, J.G.; REBOUÇAS, A.C.; QUEIROZ, M.A. Análise dos componentes hidrogeológicos da área de Natal-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, VIII., Recife, 1994. **Anais**. Recife, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1994. p. 471-480.

NIELSEN, D. N., NIELSEN, G. L. Technical Guidance on Low-Flow Purging & Sampling and Minimum-Purge Sampling. The Nielsen Environment Field School. Galé, OH, U.S.A. 2002.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; GUBIANE, P.I.; KAISER, D.R.; MINELLA, J.P.G.; REINERT, D.J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: **Tópicos em ciência do solo**. Vol. VII (2011) – Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011.

RUIZ, L.F. Contaminación de origen agrario. El problema de los nitratos. In: **Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jean**. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 2002. P. 157-166.

SERHID. Plano Estadual de Recursos Hídricos - Relatório Síntese. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Natal, 1998. 254p. Disponível em: www.semarh.rn.gov.br.