



Exercícios de simulação de dispersão do vírus da febre aftosa em rebanhos bovinos não vacinados

1. Considerações iniciais

O Departamento de Saúde Animal (DSA/SDA) e o Laboratório de Epidemiologia e Bioestatística da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da USP (FMVZ/USP) realizaram exercícios de simulação da dispersão da febre aftosa na população bovina, na hipótese de ingresso do agente viral em rebanhos não vacinados contra a doença. Para tanto, foram utilizadas bases de dados de cadastro e de movimentação animal mantidas pelos Órgãos Executores de Sanidade Agropecuária (OESA), particularmente dos Estados do Acre, Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia e Santa Catarina, que dispõem de representativo número de estabelecimentos rurais com coordenadas geográficas¹.

O objetivo principal dos exercícios foi gerar informações para apoiar a definição sobre a estimativa de doses de vacina contra a febre aftosa em bovinos, destinadas à contenção da doença em potenciais ações de emergência veterinária. Referida estimativa mostra-se fundamental para orientar a contratação de bancos de antígenos ou vacinas, diante da ampliação de zonas livres de febre aftosa sem vacinação no País. Adicionalmente, as simulações fornecem importantes subsídios para previsão de estruturas e estratégias necessárias para contenção da doença, incluindo expectativa de número e distribuição de focos ou rebanhos infectados, e o consequente dimensionamento de recursos necessários para intervenção e indenização, neste momento, limitados ao rebanho bovino, tendo em vista o objetivo principal do trabalho.

Nas simulações realizadas foi considerado o processo de difusão da doença em duas escalas: dentro dos rebanhos e entre rebanhos da espécie bovina. O modelo utilizado foi implementado de forma estocástica (probabilística), em *Python*, rodando em computadores da FMVZ/USP.

Dentro dos estabelecimentos rurais que possuem bovinos foi utilizado, neste momento, modelo do tipo SIR (**S**usceptíveis-**I**nfecciosos-**R**emovidos), utilizando-se os seguintes parâmetros descritos na literatura:

- coeficiente de transmissão $\beta = 0,7$;
- expectativa média de vida de um animal = 5 anos;
- recuperação da doença em 10 dias;
- duração de imunidade resultante de infecção = 1 ano; e
- probabilidade média de morte por doença do coração tigrado (animais jovens): 0,002.

Para a transmissão da doença entre rebanhos, foram consideradas as seguintes definições:

- distância máxima de transmissão igual a 3 km, decaindo com a distância, de forma que a probabilidade de transmissão a exatos 3 km é de 10^{-6} ; e
- transmissão em decorrência de movimentação animal, considerando a emissão de GTA (houve variação desse parâmetro de modo a permitir que o modelo representasse a eventual sazonalidade de movimentação). Nas simulações realizadas, a movimentação animal continuou mesmo após o início da epidemia, ou seja, não houve intervenção oficial, como interdição de propriedades ou suspensão da emissão de GTA.

As simulações foram conduzidas conforme as seguintes premissas:

- todos os estabelecimentos rurais com bovinos constituídos por rebanho totalmente suscetível;
- foco inicial representado por estabelecimento infectado no dia 0, escolhido nas regiões de fronteira, com alta movimentação animal e localizado em um dos municípios caracterizados como de maior risco no “Estudo de identificação de áreas de risco”, coordenado pelo MAPA com apoio do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA);
- número de animais infectados no foco inicial, no dia 0 = 10 animais; e
- Para cada cenário foram realizadas 100 simulações, considerando 30 dias em cada simulação.

¹ Dados de propriedades e produtores estão protegidos por termo de confidencialidade



2. Resultados

As bases de dados resultantes das simulações estão disponíveis no DSA/SDA e na FMVZ/USP. Foram realizadas 13 simulações, sendo duas em cada um dos Estados do AC, MT, PR, RS e SC, e três em RO.

Considerando os objetivos principais do trabalho, neste documento estão destacados os resultados da dispersão da doença no décimo e no vigésimo dia pós infecção, utilizando-se valores de uma curva média de dispersão. A síntese dos resultados encontra-se no Anexo 1, enquanto representações geográficas da dispersão da doença, para cada um dos Estados considerados e simulação realizada, estão disponíveis nos Anexos 2 a 14.

Quanto mais precoce a identificação e intervenção diante de eventual reintrodução da febre aftosa, maior chance de sua contenção, reduzindo os inerentes impactos econômicos e sociais. De forma a reforçar esse entendimento, o total de focos e de bovinos nos focos, por dia de simulação, para os 13 cenários considerados, utilizando-se curva média de dispersão, estão demonstrados na Figura 1. Observa-se clara relação direta entre o número de dias de dispersão e o número de focos (na Figura estão destacados os dias 10 e 20 da simulação). O 10º dia representa o tempo médio entre o provável início da doença e o primeiro atendimento pelo serviço veterinário oficial observado nas notificações de suspeitas de doença vesicular registradas no País nos últimos anos². O 20º dia, por sua vez, representa uma condição temporal extrema para primeiro atendimento pelo serviço veterinário oficial, especialmente em zonas livres de febre aftosa sem vacinação, sendo utilizado para prever o número de doses de vacina a ser utilizado para contenção da doença em uma perspectiva pessimista. O raio de 15 km a partir dos focos, foi definido como espaço geográfico destinado à adoção das medidas de contenção da febre aftosa, podendo sofrer adequações, em observância à existência de barreiras naturais ou artificiais e de acordo com as características dos sistemas de produção predominantes em cada realidade observada.

Considerando que um dos principais parâmetros utilizados na simulação foi a dispersão da doença entre rebanhos por proximidade, é de se esperar que nas unidades federativas e, particularmente, nos municípios identificados para início do exercício, que apresentam maior concentração de estabelecimentos rurais (propriedades/km²) ocorresse o maior número de focos, conforme observado nas simulações conduzidas no Acre e em Santa Catarina, em comparação com, por exemplo, Mato Grosso e Rio Grande do Sul. No 10º dia, o número de focos, considerando as 13 simulações realizadas, variou entre 3, em MT, a 443 em SC. As informações extraídas das simulações ao 10º dia são úteis, por exemplo, para estimar o valor das indenizações de bovinos sacrificados ou destruídos, por ocasião do despovoamento de focos e possíveis contatos. Nesse caso, também considerando as 13 simulações, os valores variaram de \$US 700 mil a \$US 10 milhões. Como referência, foi utilizado o valor médio por bovino, em US\$, praticado nos últimos focos registrados no país (2005/2006), ou seja, \$US 360,00. Como se observa, a estimativa está limitada ao rebanho bovino, e sua extrapolação deve considerar particularidades econômicas de cada região, assim como a concentração de outras espécies susceptíveis.

Quanto à previsão de estoque de vacinas a ser utilizado como estratégia de contenção da doença durante ações de emergência veterinária, objeto principal deste trabalho, a maior demanda foi observada na Simulação 1 conduzida no AC, estimando-se o total de 1,6 milhão de doses, para vacinação e revacinação do rebanho bovino existente nos raios de 15 km em torno dos focos identificados no 20º dia de simulação. **De acordo com os resultados observados, numa perspectiva conservadora, recomenda-se um estoque de até 2 milhões de doses de vacina, por cepa viral, a ser mantido em bancos de antígenos ou vacinas para uso em ações de emergência veterinária, com objetivo único de apoiar as medidas de contenção da doença.**

² Realidade observada especialmente em zonas livres com vacinação. Na condição de livre de febre sem vacinação, esperam-se sinais clínicos mais evidentes e um menor tempo médio entre o início da doença e a notificação.

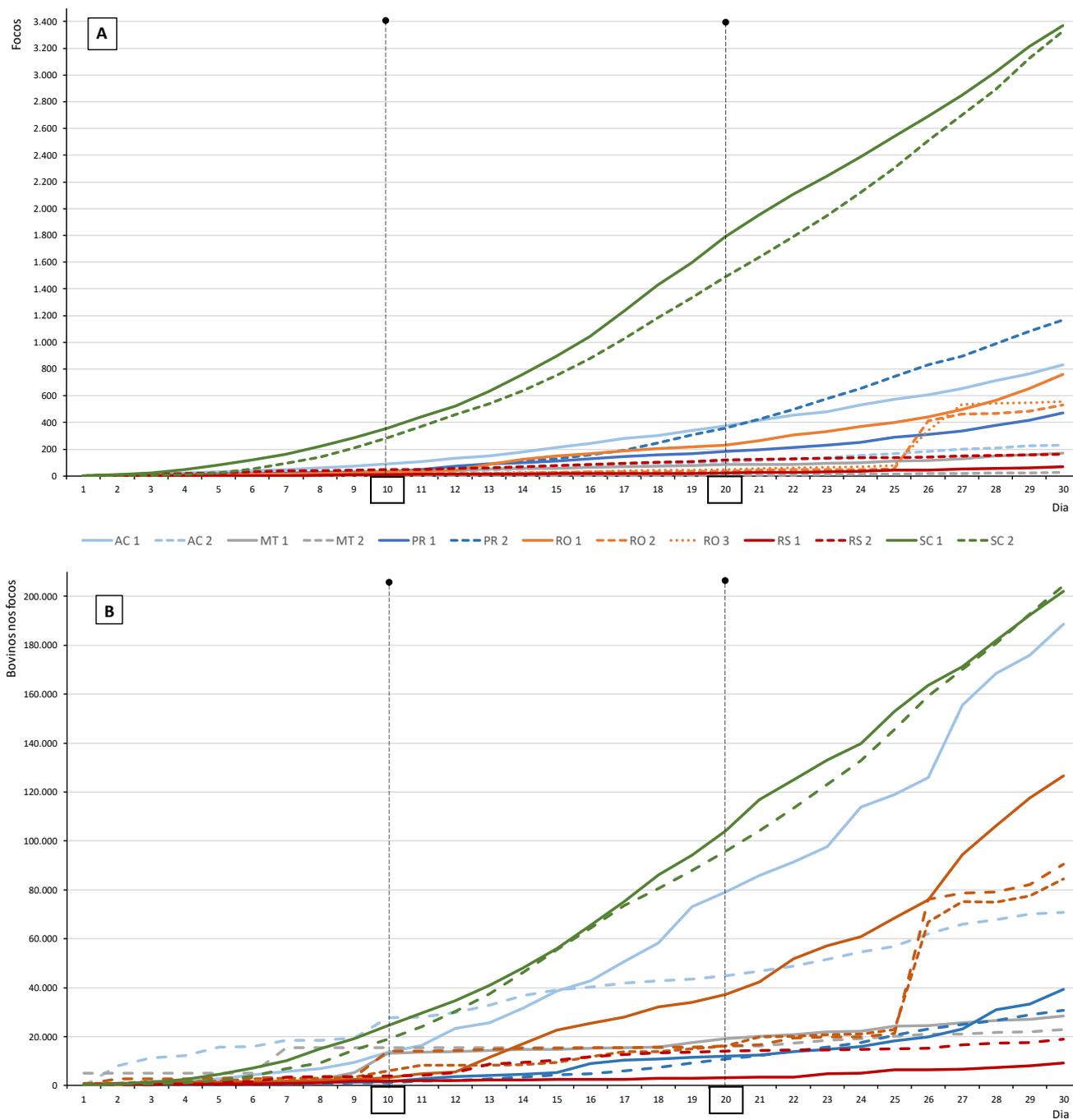


Figura 1. Total de focos (A) e de bovinos nos focos (B), por dia de simulação, considerando curva média de dispersão



Anexo 1 – Síntese dos resultados das simulações de dispersão da febre aftosa em zonas livres sem vacinação

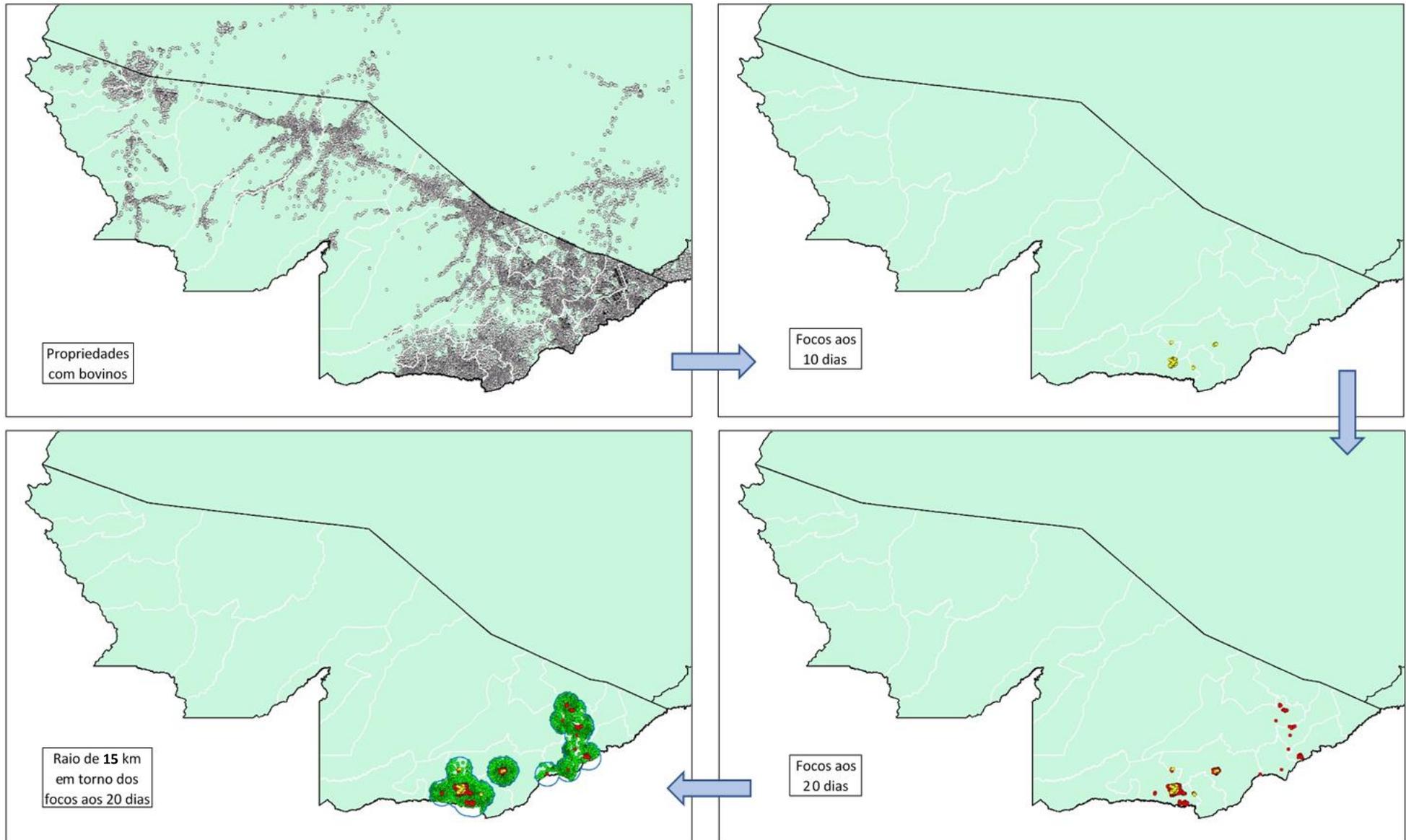
UF	Simulação	Cadastro		Simulação (curva média)							Raio de 15 km em torno dos focos (aos 20 dias)		
		Propriedades	Bovinos	10 dias		20 dias		Indenização (USD) ¹			Propriedades	Bovinos	Vacina ³
				Focos	Bovinos	Focos	Bovinos	10 dias	20 dias	Incremento ²			
AC	1	22.117	3.481.079	107	16.365	415	85.794	5.891.400	30.885.840	5,2	4.647	813.878	1.627.756
	2			33	27.997	114	46.684	10.078.920	16.806.240	1,7	1.830	360.788	721.576
MT	1	92.212	26.011.329	38	13.526	85	20.044	4.869.360	7.215.840	1,5	738	226.994	453.988
	2			3	15.384	5	16.228	5.538.240	5.842.080	1,1	1.219	232.240	464.480
PR	1	146.068	8.582.103	48	2.751	196	12.406	990.360	4.466.160	4,5	4.145	247.938	495.876
	2			46	1.888	427	12.138	679.680	4.369.680	6,4	4.348	126.054	252.108
RO	1	100.421	13.067.622	36	4.732	265	42.228	1.703.520	15.202.080	8,9	3.046	427.418	854.836
	2			14	14.179	42	16.561	5.104.440	5.961.960	1,2	718	127.240	254.480
	3			20	8.282	56	19.810	2.981.520	7.131.600	2,4	746	138.923	277.846
RS	1	299.103	11.954.580	13	2.008	25	3.334	722.880	1.200.240	1,7	1.201	74.169	148.338
	2			50	4.094	125	14.336	1.473.840	5.160.960	3,5	1.526	117.264	234.528
SC	1	194.245	4.742.649	443	29.591	1.955	116.814	10.652.760	42.053.040	3,9	7.303	117.775	235.550
	2			370	24.141	1.639	104.084	8.690.760	37.470.240	4,3	10.012	218.167	436.334

¹ Valor médio de indenização nos focos de 2005/2006 = \$US 360,00

² Aumento relativo do valor da indenização aos 20 dias em relação aos 10 dias

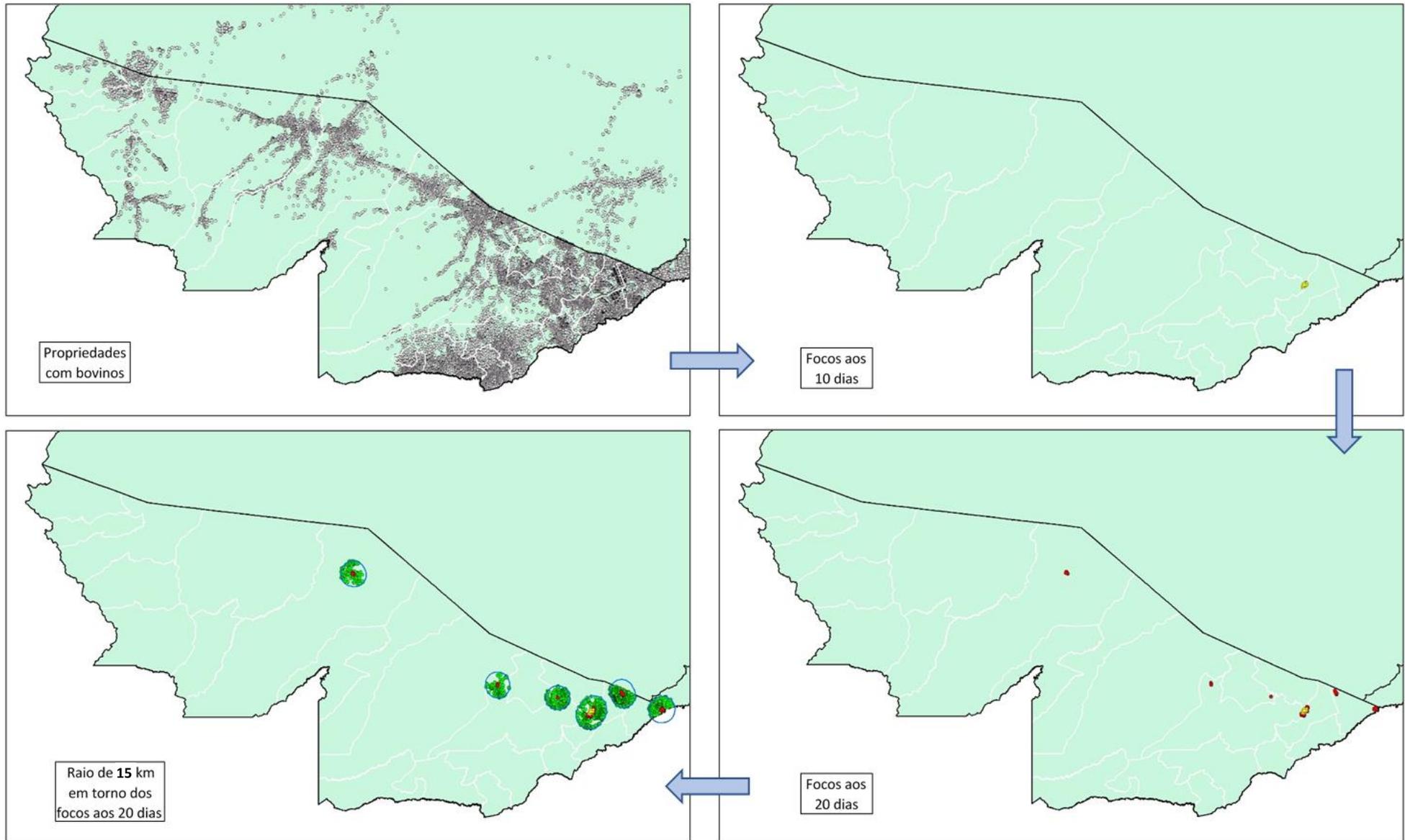
³ Considerando duas doses por bovino (vacinação e revacinação)

Anexo 2 – Representação geográfica das simulações no Estado do Acre – Simulado 1



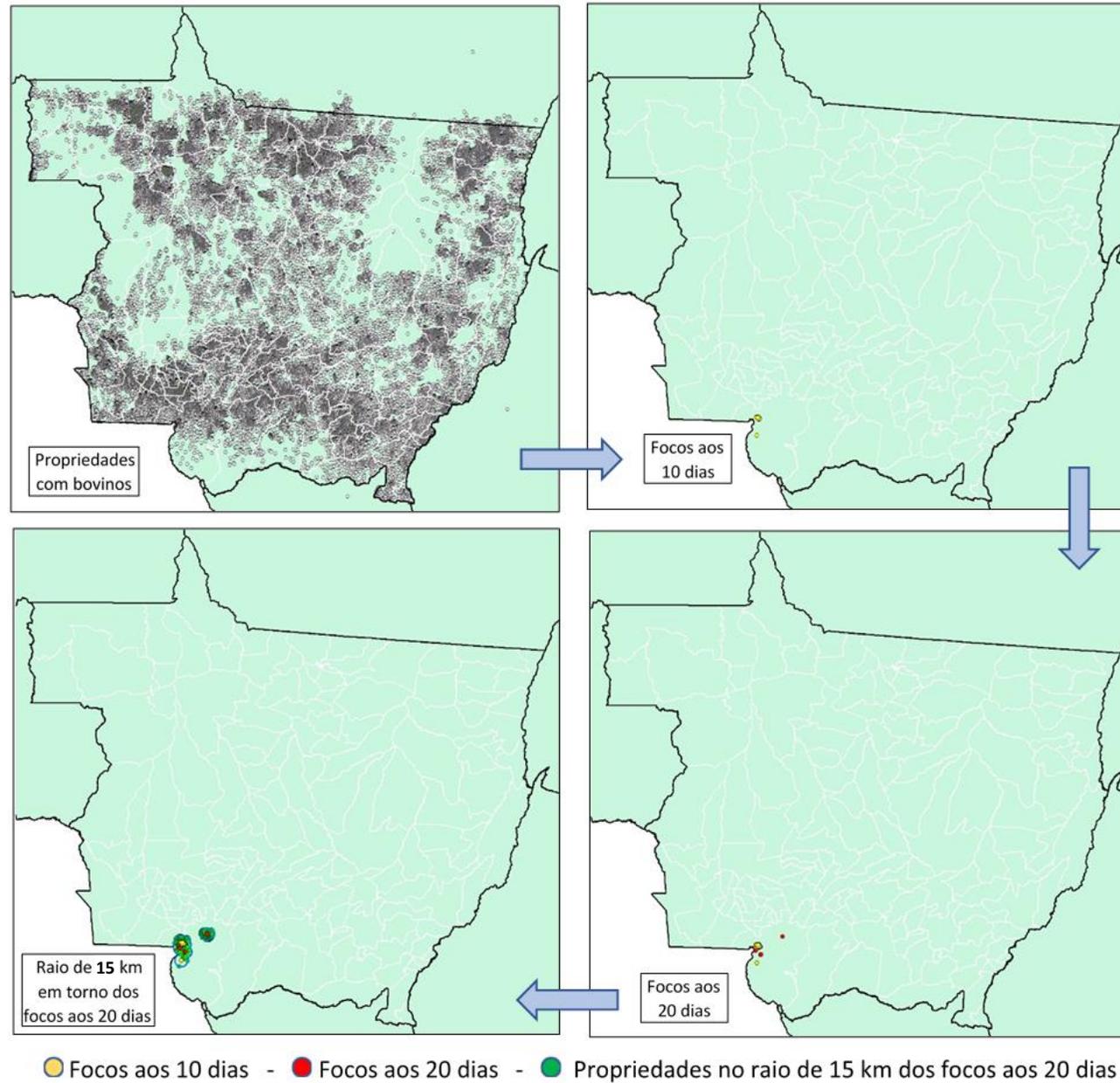
● Focos aos 10 dias - ● Focos aos 20 dias - ● Propriedades no raio de 15 km dos focos aos 20 dias

Anexo 3 – Representação geográfica das simulações no Estado do Acre – Simulado 2

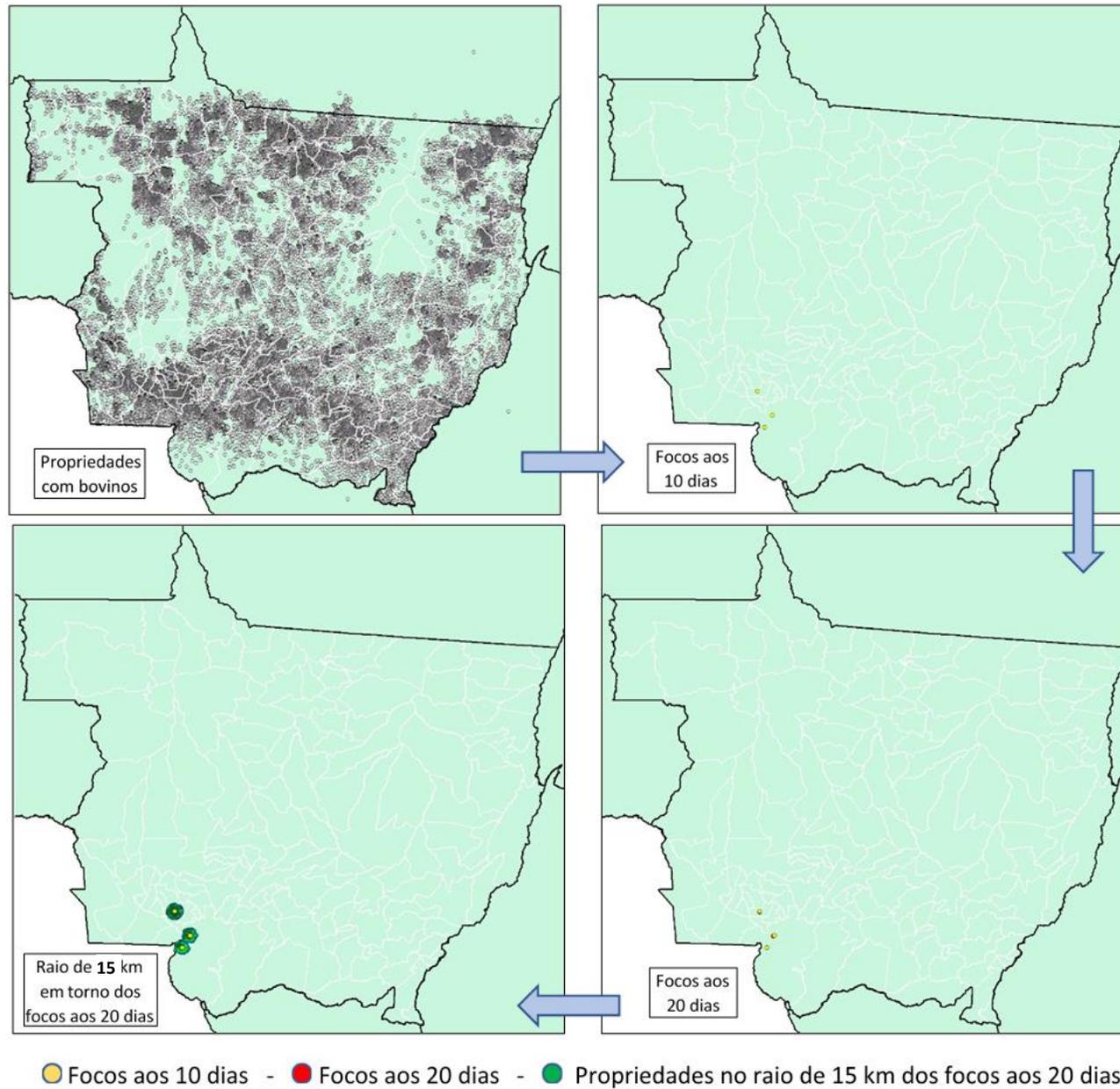


● Focos aos 10 dias - ● Focos aos 20 dias - ● Propriedades no raio de 15 km dos focos aos 20 dias

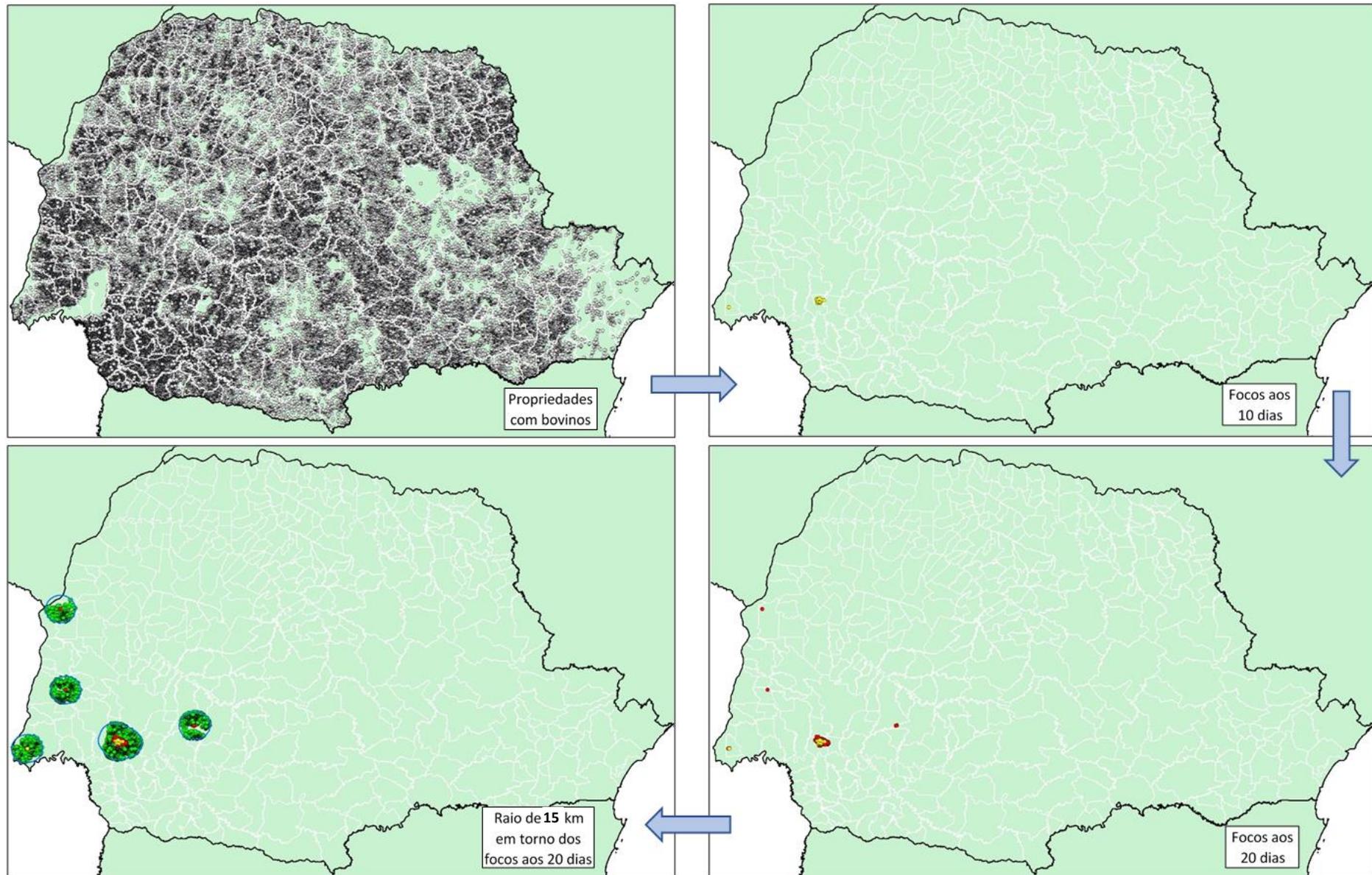
Anexo 4 – Representação geográfica das simulações no Estado do Mato Grosso – Simulado 1



Anexo 5 – Representação geográfica das simulações no Estado do Mato Grosso – Simulado 2

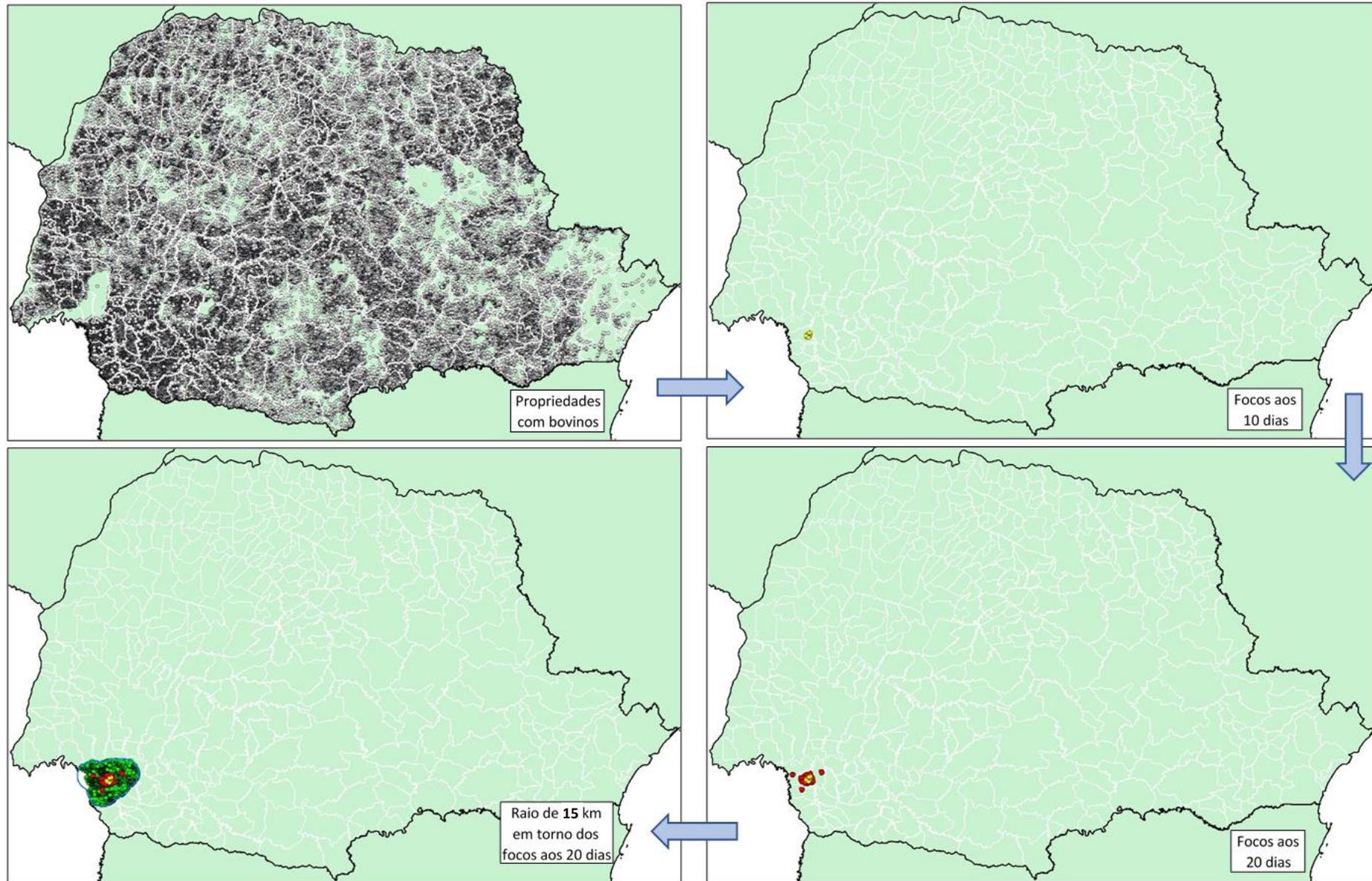


Anexo 6 – Representação geográfica das simulações no Estado do Paraná – Simulado 1



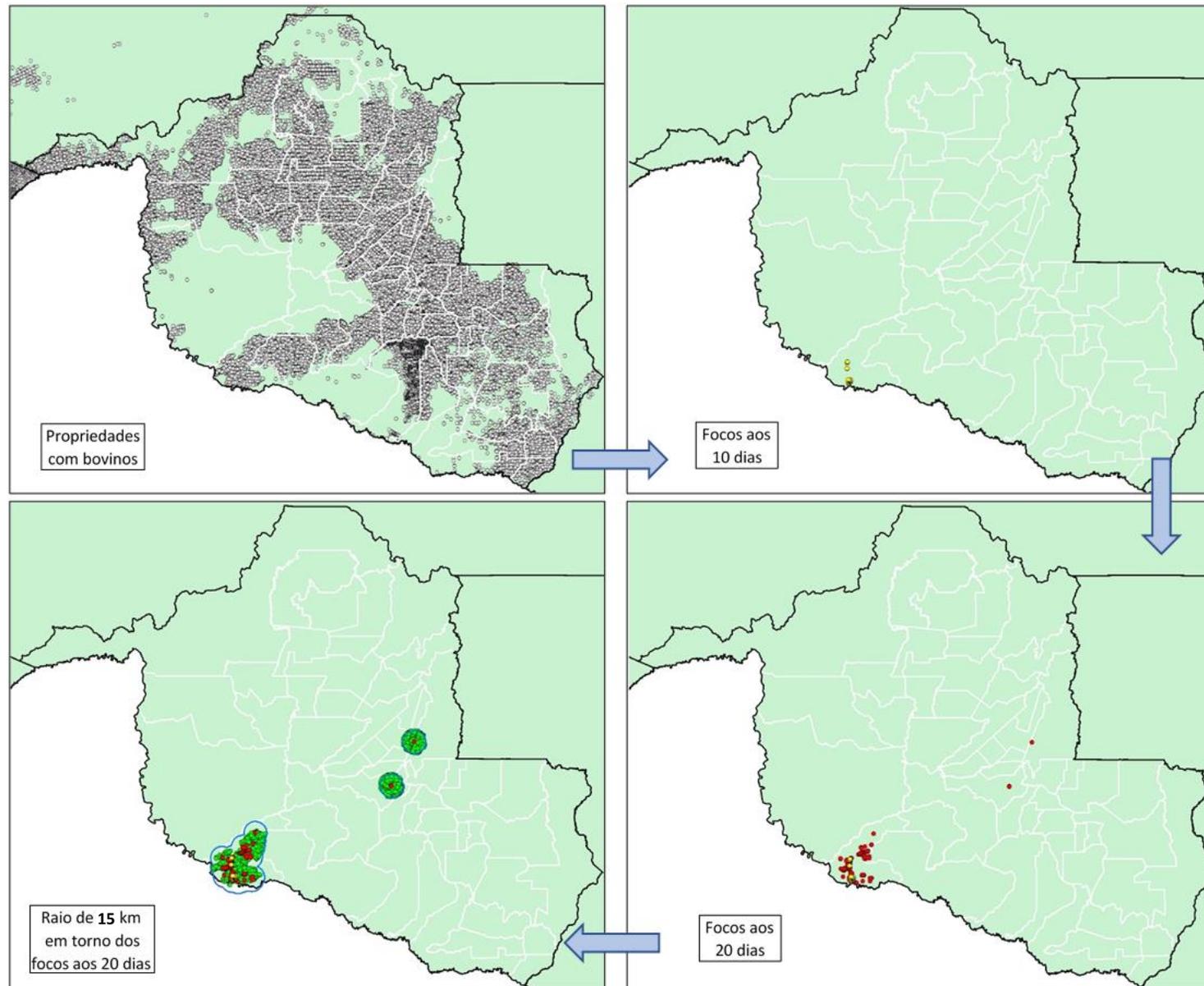
● Focos aos 10 dias - ● Focos aos 20 dias - ● Propriedades no raio de 15 km dos focos aos 20 dias

Anexo 7 – Representação geográfica das simulações no Estado do Paraná – Simulado 2



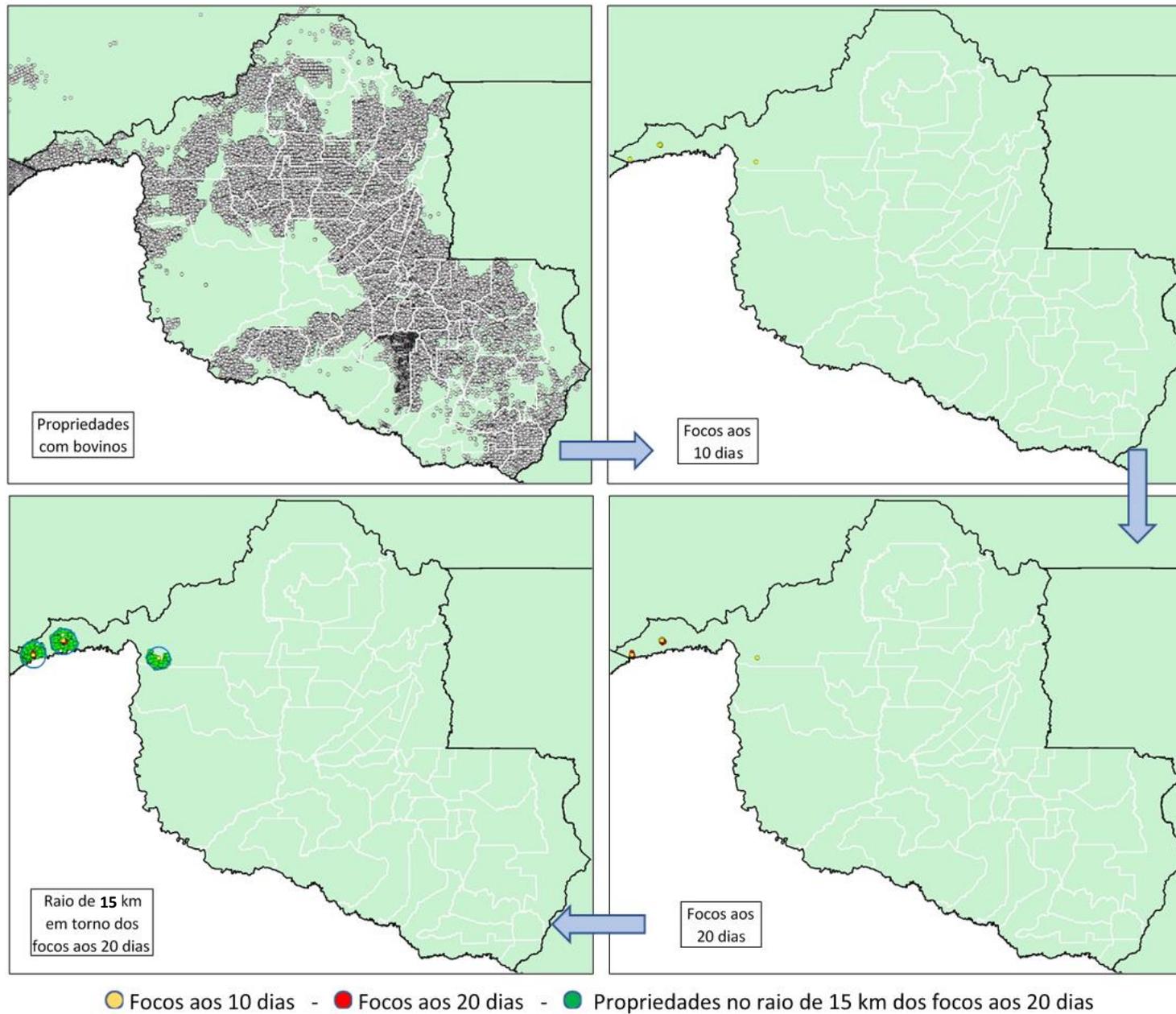
● Focos aos 10 dias - ● Focos aos 20 dias - ● Propriedades no raio de 15 km dos focos aos 20 dias

Anexo 8 – Representação geográfica das simulações no Estado de Rondônia – Simulado 1

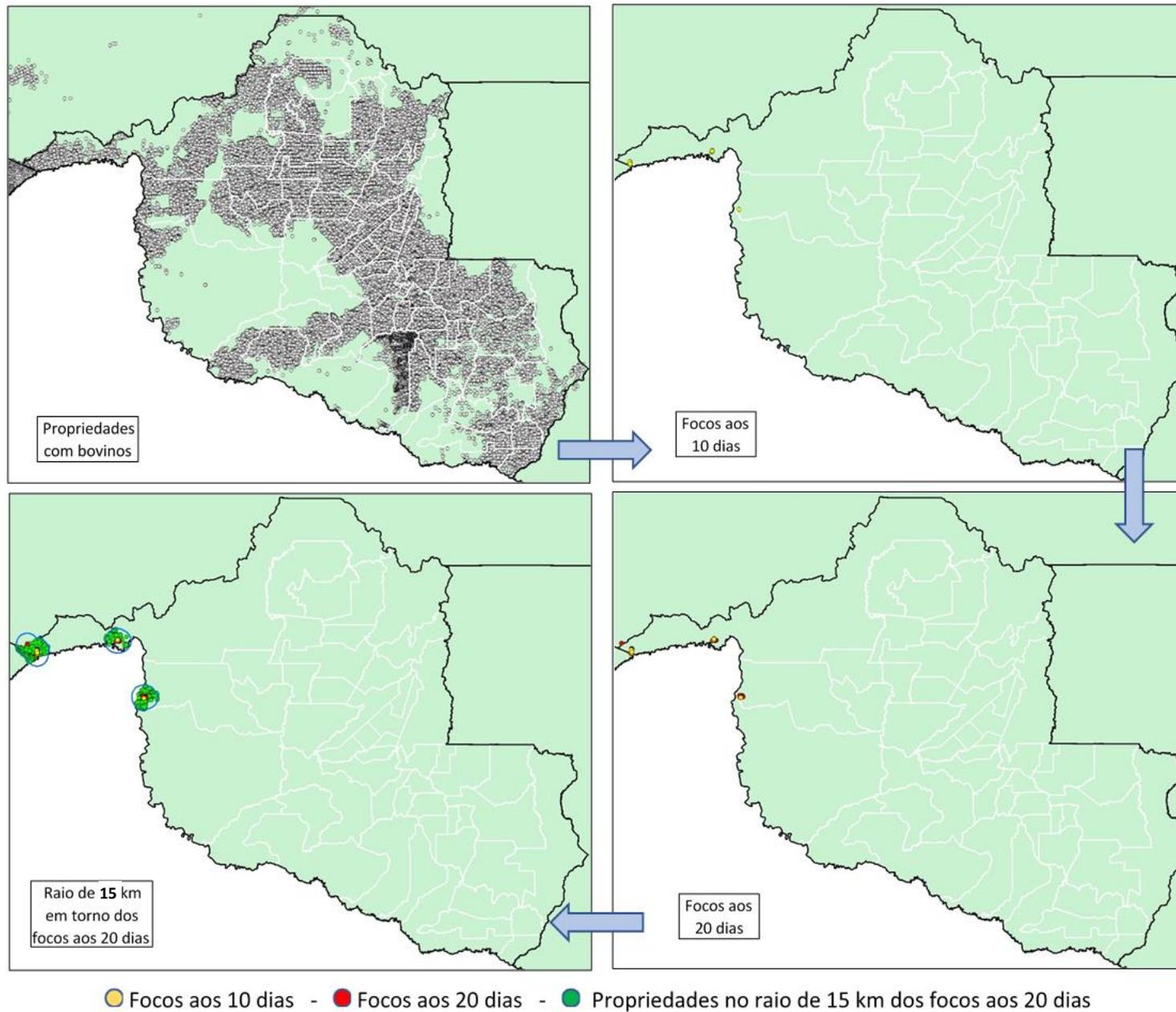


● Focos aos 10 dias - ● Focos aos 20 dias - ● Propriedades no raio de 15 km dos focos aos 20 dias

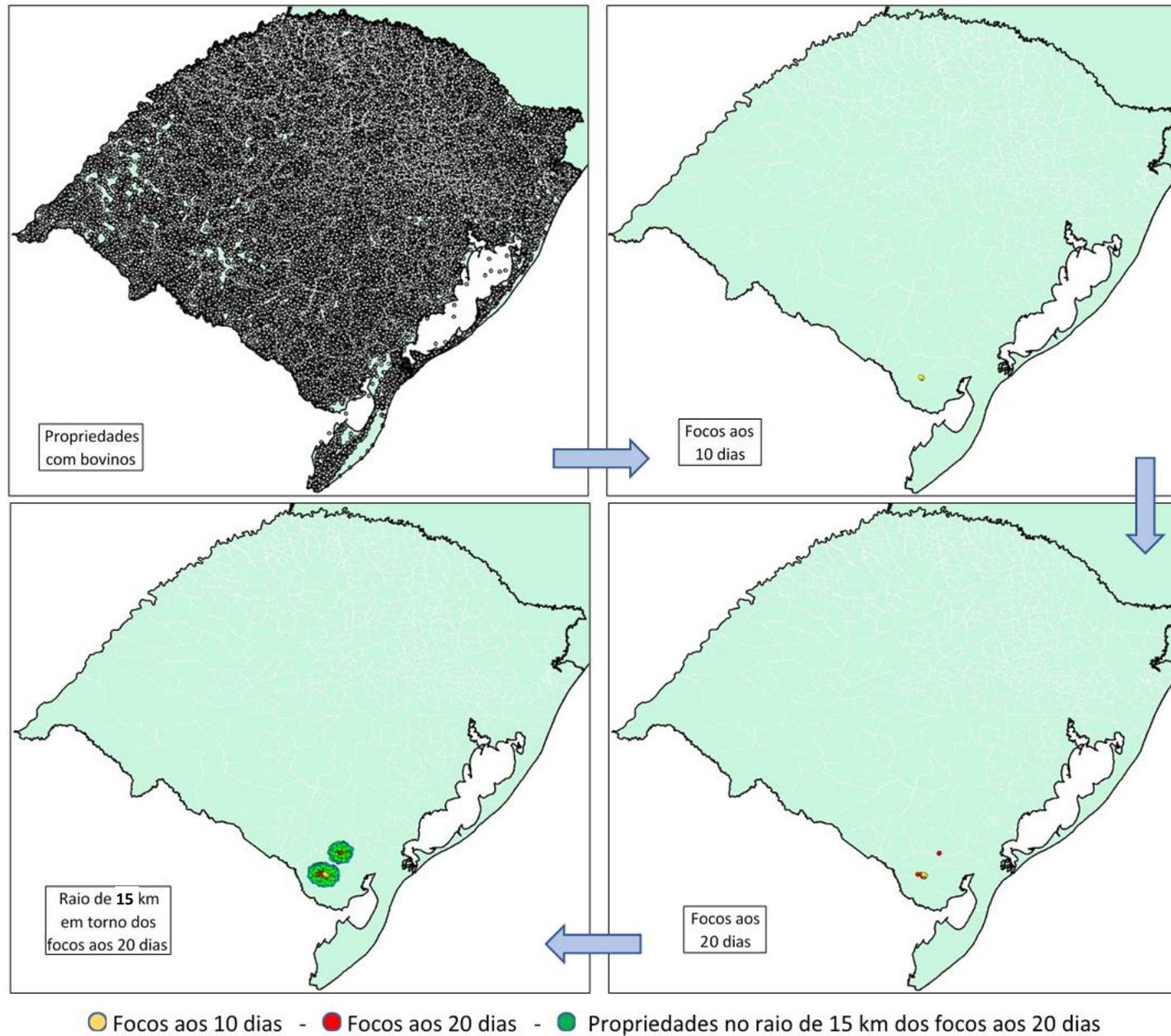
Anexo 9 – Representação geográfica das simulações no Estado de Rondônia – Simulado 2



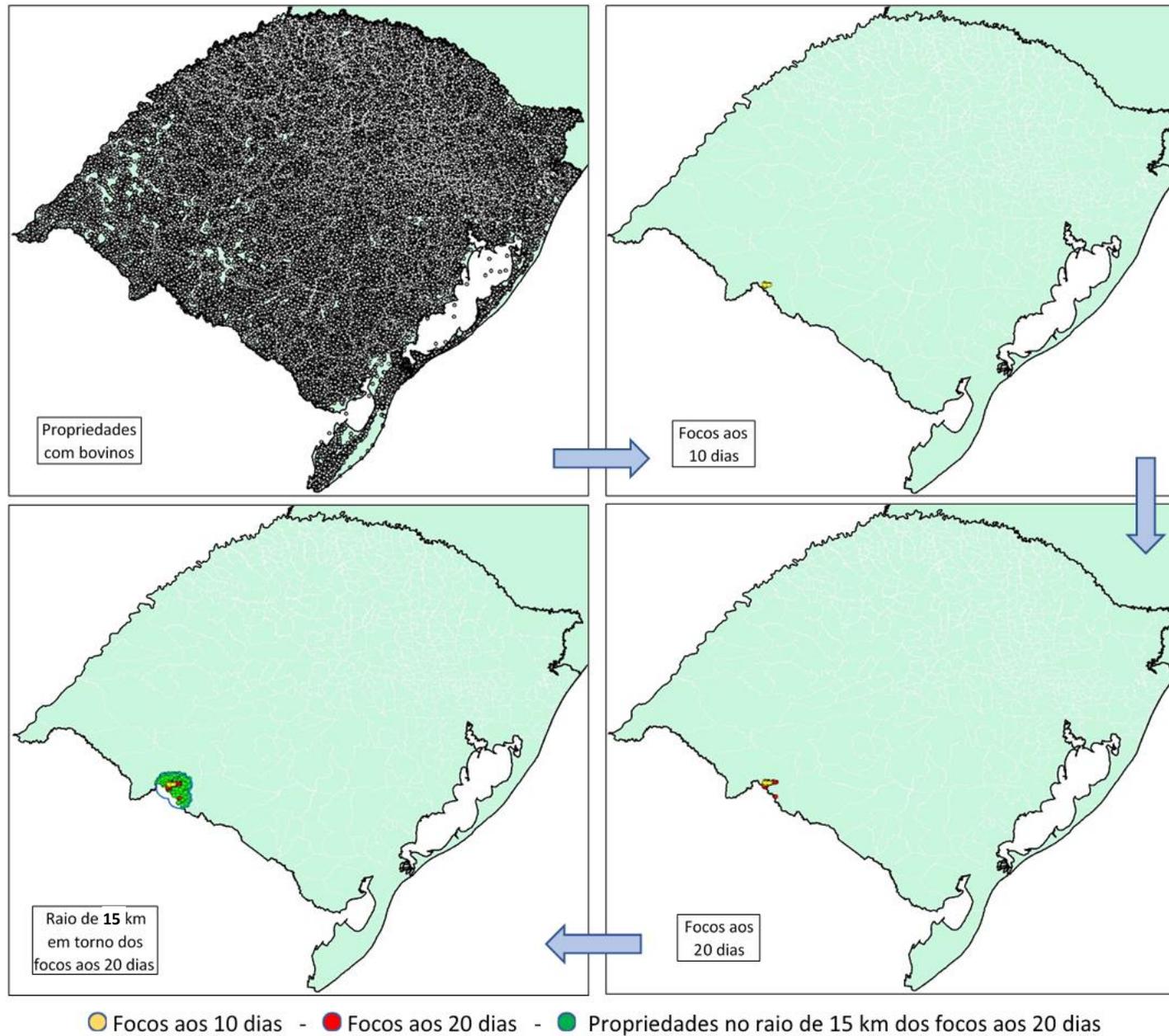
Anexo 10 – Representação geográfica das simulações no Estado de Rondônia – Simulado 3



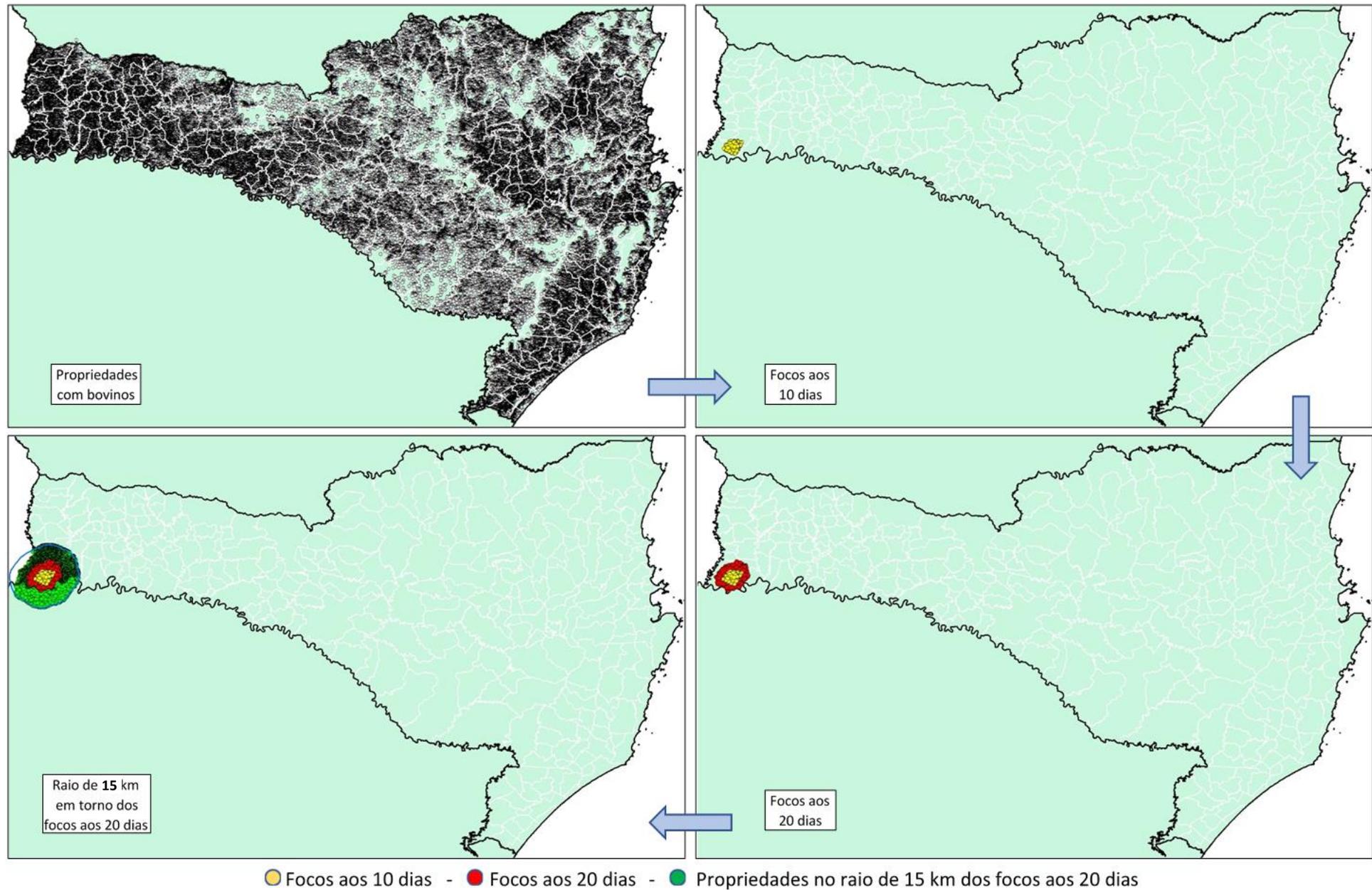
Anexo 11 – Representação geográfica das simulações no Estado do Rio Grande do Sul – Simulado 1



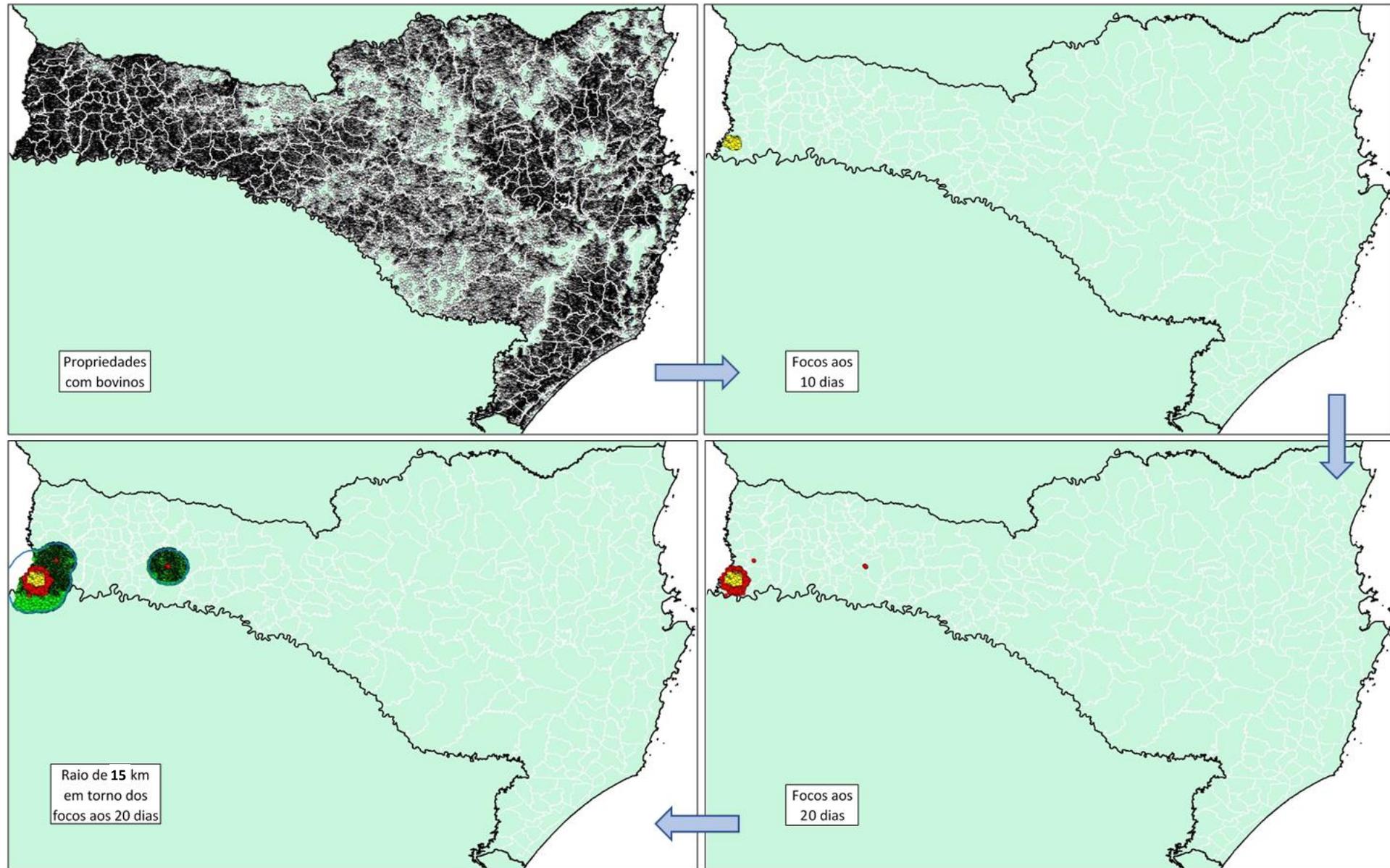
Anexo 12 – Representação geográfica das simulações no Estado do Rio Grande do Sul – Simulado 2



Anexo 13 – Representação geográfica das simulações no Estado de Santa Catarina – Simulado 1



Anexo 14 – Representação geográfica das simulações no Estado de Santa Catarina – Simulado 2



● Focos aos 10 dias - ● Focos aos 20 dias - ● Propriedades no raio de 15 km dos focos aos 20 dias