

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Balanço de Nitrogênio, Fósforo e Potássio na
Agropecuária Brasileira, entre 2000 e 2020**

Thiago Rezende Lima do Carmo

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

BALANÇO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA
AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, ENTRE 2000 E 2020

THIAGO REZENDE LIMA DO CARMO

Sob a Orientação do Professor
Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

e Coorientação do Professor
Bruno José Rodrigues Alves

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ
Junho de 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C484a

Carmo, Thiago Rezende Lima do, 1994-

Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agropecuária brasileira, entre 2000 e 2020/Thiago Rezende Lima do Car. – Seropédica, 2023.
141 f. : il.

Orientador: Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.
Dissertação (Mestrado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, 2023.

1. Resíduos orgânicos. 2. Mudanças de qualidade. 3. Agricultura orgânica. 4. *Lactuca sativa* L. 5. *Capsicum baccatum* L. I. Caballero, Segundo Sacramento Urquiaga, 1967-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior-Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (CIÊNCIAS DO SOLO)**



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 49 / 2023 - CPGACS
(12.28.01.00.00.27)**

Nº do Protocolo: 23083.043334/2023-03

Seropédica-RJ, 06 de julho de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

THIAGO REZENDE LIMA DO CARMO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/06/2023.

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero. Dr. Embrapa

(Orientador)

José Carlos Polidoro. Dr. Embrapa

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

(Assinado digitalmente em 06/07/2023 12:40)

EVERALDO ZONTA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
IA (12.28.01.21)
Matrícula: 2213075

(Assinado digitalmente em 18/10/2023 14:29)

JOSÉ CARLOS POLIDORO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 927.139.206-04

(Assinado digitalmente em 27/07/2023 13:34)

SEGUNDO SACRAMENTO URQUIAGA CABALLERO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 058.898.198-28

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **49**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **06/07/2023** e o código de verificação: **748b229fed**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Orientador Segundo Sacramento Urquiaga Caballero que além de um excelente Pesquisador e Orientador é uma pessoa incrível, sempre respeitosa, positiva e motivante.

A Bruno José Rodrigues Alves, que foi um grande coorientador e o qual eu tive o imensurável prazer de receber orientações e conhecimento. Sem sua participação e recomendação eu sequer teria ingressado neste Programa de Pós Graduação.

Ao professor Mauro Antônio Homem Antunes, uma pessoa de coração imenso e sabedoria imensurável. Foi um grandioso prazer ter convivido no dia a dia mesmo que por pouco tempo. Tanto na orientação nos tempos de monitoria durante a graduação e recentemente no estágio de docência, podendo acompanhar de perto sua enorme dedicação, preparo, ética e coração com a didática.

A UFRRJ em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, por todo conhecimento adquirido, e por proporcionar conhecer profissionais incríveis, que sempre serão lembrados.

A Embrapa Agrobiologia pela infraestrutura e suporte à pesquisa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa integral durante grande período nesta jornada.

A todos aqueles que contribuíram para minha formação.

RESUMO

CARMO, Thiago Rezende Lima. **Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agropecuária brasileira, entre 2000 e 2020**. 2023. 141 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

A produção agrícola e pecuária no Brasil se apresenta em pleno crescimento, a área colhida de produções agrícolas aumentou 64% nas últimas 3 décadas alcançando 83 milhões de ha em 2020, além de elevações na produtividade agrícola e acréscimo da produção animal (IBGE, 2022) fazendo com que cada vez mais, um maior volume de insumos agrícolas seja utilizado. Este trabalho teve por objetivo realizar cálculos do balanço de N, P e K da agropecuária brasileira entre os anos de 2000 a 2020 utilizando as Recomendações de OECD (2007ab) e realizando adaptações a realidade nacional. Foram considerados como fonte de entrada fertilizantes sintéticos, vinhaça, dejetos de suínos e aves aplicados na forma de fertilizante orgânico, fixação biológica de nitrogênio, utilização de sementes e mudas para plantio e deposição atmosférica, e como saída do balanço foram considerados a produção de todas as 65 culturas agrícolas atualmente contabilizadas por IBGE (2022) e a produção de carne bovina. O balanço de N, P e K da agropecuária brasileira registra excedentes em todos os anos estudados, que mostra um trabalho de melhoramento da fertilidade nos solos, justificado pelo grande impacto da agropecuária nacional, num meio onde grande parte dos solos apresentam naturalmente baixos teores de nutrientes. No caso do nitrogênio, verifica-se que a agricultura brasileira é dependente do processo da Fixação biológica de N pois cerca de 50% do ingresso de N é derivado desta fonte. Já com relação a P e K a aplicação de fertilizantes sintéticos e minerais são a principal fonte de entrada destes nutrientes no balanço equivalente a cerca de 85 e 70% respectivamente.

Palavras-chave: Consumo de nutrientes. Saída de nutrientes. Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

CARMO, Thiago Rezende Lima. **Nitrogen, phosphorus, and potassium balance in Brazilian agriculture and livestock, period between 2000 and 2020**. 141 p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Agricultural and livestock production in Brazil is increasing significantly. The harvested area of agricultural crops has increased by 64% in the last three decades, reaching 83 million hectares in 2020. Additionally, there have been improvements in agricultural productivity and an increase in animal production (IBGE, 2022), leading to a higher volume of agricultural inputs being used. The objective of this study was to calculate the balance of N, P, and K in Brazilian agriculture between the years 2000 and 2020, using the OECD recommendations (2007ab) and making adaptations to the national reality. The inputs considered in the balance included synthetic fertilizers, vinasse, swine and poultry manure applied as organic fertilizers, biological nitrogen fixation, seed and seedling use for planting, and atmospheric deposition. The outputs considered were the production of all 65 agricultural crops currently accounted by IBGE (2022) and beef production. The balance of N, P, and K in Brazilian agriculture records surpluses in all the years studied, which demonstrates a soil fertility improvement project, justified by the significant impact of national agriculture, in an environment where a large portion of the soils naturally have low nutrient levels. Regarding nitrogen, it is observed that Brazilian agriculture is dependent on the process of biological nitrogen fixation, as approximately 50% of the N input is derived from this source. For P and K, the application of synthetic and mineral fertilizers is the main input source for these nutrients in the balance, accounting for approximately 85% and 70%, respectively.

Keywords: Nutrient consumption. Nutrient output. Agricultural sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas numeradas para a realização das estimativas de Ctn. Fonte: Elaborado pelo Autor.	9
Figura 2. Etapas numeradas para a realização das estimativas de Extn. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	10
Figura 3. Entradas de N no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	27
Figura 4. Saídas de N no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	28
Figura 5. Montante total de entradas e saídas de N no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	28
Figura 6. Entradas de P no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	30
Figura 7. Saídas de P no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	30
Figura 8. Montante total de entradas e saídas de P no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	31
Figura 9. Entradas de K no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	33
Figura 10. Saídas de K no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	33
Figura 11. Montante total de entradas e saídas de K no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.	34
Figura 12. Entradas no balanço agropecuário de N de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg). ...	61
Figura 13. Saídas no balanço agropecuário de N de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	61
Figura 14. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	61
Figura 15. Entradas no balanço agropecuário de P de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	62
Figura 16. Saídas no balanço agropecuário de P de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	62
Figura 17. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	62
Figura 18. Entradas no balanço agropecuário de K de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg). ...	63
Figura 19. Saídas no balanço agropecuário de K de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	63
Figura 20. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).	63
Figura 21. Entradas no balanço agropecuário de N do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	64
Figura 22. Saídas no balanço agropecuário de N do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	64
Figura 23. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	64
Figura 24. Entradas no balanço agropecuário de P do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	65
Figura 25. Saídas no balanço agropecuário de P do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	65
Figura 26. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	65
Figura 27. Entradas no balanço agropecuário de K do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	66
Figura 28. Saídas no balanço agropecuário de K do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	66

Figura 29. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).	66
Figura 30. Entradas no balanço agropecuário de N da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	67
Figura 31. Saídas no balanço agropecuário de N da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	67
Figura 32. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	67
Figura 33. Entradas no balanço agropecuário de P da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	68
Figura 34. Saídas no balanço agropecuário de P da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	68
Figura 35. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	68
Figura 36. Entradas no balanço agropecuário de K da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	69
Figura 37. Saídas no balanço agropecuário de K da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	69
Figura 38. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).	69
Figura 39. Entradas no balanço agropecuário de N de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	70
Figura 40. Saídas no balanço agropecuário de N de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	70
Figura 41. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	70
Figura 42. Entradas no balanço agropecuário de P de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	71
Figura 43. Saídas no balanço agropecuário de P de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	71
Figura 44. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	71
Figura 45. Entradas no balanço agropecuário de K de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	72
Figura 46. Saídas no balanço agropecuário de K de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	72
Figura 47. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).	72
Figura 48. Entradas no balanço agropecuário de N do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	73
Figura 49. Saídas no balanço agropecuário de N do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	73
Figura 50. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	73
Figura 51. Entradas no balanço agropecuário de P do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	74
Figura 52. Saídas no balanço agropecuário de P do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	74
Figura 53. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	74
Figura 54. Entradas no balanço agropecuário de K do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	75
Figura 55. Saídas no balanço agropecuário de K do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	75
Figura 56. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).	75
Figura 57. Entradas no balanço agropecuário de N do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	76
Figura 58. Saídas no balanço agropecuário de N do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	76
Figura 59. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	76
Figura 60. Entradas no balanço agropecuário de P do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	77

Figura 61. Saídas no balanço agropecuário de P do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	77
Figura 62. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	77
Figura 63. Entradas no balanço agropecuário de K do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg). ...	78
Figura 64. Saídas no balanço agropecuário de K do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	78
Figura 65. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).	78
Figura 66. Entradas no balanço agropecuário de N do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg). ..	79
Figura 67. Saídas no balanço agropecuário de N do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg). ..	79
Figura 68. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).	79
Figura 69. Entradas no balanço agropecuário de P do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg). ..	80
Figura 70. Saídas no balanço agropecuário de P do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg). ...	80
Figura 71. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).	80
Figura 72. Entradas no balanço agropecuário de K do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg). ..	81
Figura 73. Saídas no balanço agropecuário de K do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg). ..	81
Figura 74. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).	81
Figura 75. Entradas no balanço agropecuário de N do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).	82
Figura 76. Saídas no balanço agropecuário de N do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg). ..	82
Figura 77. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).	82
Figura 78. Entradas no balanço agropecuário de P do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg). ..	83
Figura 79. Saídas no balanço agropecuário de P do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg). ..	83
Figura 80. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).	83
Figura 81. Entradas no balanço agropecuário de K do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).	84
Figura 82. Saídas no balanço agropecuário de K do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg). ..	84
Figura 83. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).	84
Figura 84. Entradas no balanço agropecuário de N do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	85
Figura 85. Saídas no balanço agropecuário de N do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	85
Figura 86. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	85
Figura 87. Entradas no balanço agropecuário de P do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	86
Figura 88. Saídas no balanço agropecuário de P do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	86
Figura 89. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	86
Figura 90. Entradas no balanço agropecuário de K do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	87
Figura 91. Saídas no balanço agropecuário de K do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	87
Figura 92. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).	87

Figura 93. Entradas no balanço agropecuário de N do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	88
Figura 94. Saídas no balanço agropecuário de N do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	88
Figura 95. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	88
Figura 96. Entradas no balanço agropecuário de P do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	89
Figura 97. Saídas no balanço agropecuário de P do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).	89
Figura 98. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	89
Figura 99. Entradas no balanço agropecuário de K do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	90
Figura 100. Saídas no balanço agropecuário de K do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	90
Figura 101. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).....	90
Figura 102. Entradas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	91
Figura 103. Saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	91
Figura 104. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	91
Figura 105. Entradas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	92
Figura 106. Saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	92
Figura 107. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	92
Figura 108. Entradas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	93
Figura 109. Saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	93
Figura 110. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).....	93
Figura 111. Entradas no balanço agropecuário de N da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg)..	94
Figura 112. Saídas no balanço agropecuário de N da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).	94
Figura 113. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).	94
Figura 114. Entradas no balanço agropecuário de P da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg)...	95
Figura 115. Saídas no balanço agropecuário de P da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).	95
Figura 116. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).	95
Figura 117. Entradas no balanço agropecuário de K da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg)..	96
Figura 118. Saídas no balanço agropecuário de K da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).	96
Figura 119. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).	96
Figura 120. Entradas no balanço agropecuário de N de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg). 97	
Figura 121. Saídas no balanço agropecuário de N de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).....	97

Figura 122. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	97
Figura 123. Entradas no balanço agropecuário de P de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	98
Figura 124. Saídas no balanço agropecuário de P de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	98
Figura 125. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	98
Figura 126. Entradas no balanço agropecuário de K de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	99
Figura 127. Saídas no balanço agropecuário de K de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	99
Figura 128. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).	99
Figura 129. Entradas no balanço agropecuário de N de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	100
Figura 130. Saídas no balanço agropecuário de N de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	100
Figura 131. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	100
Figura 132. Entradas no balanço agropecuário de P de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	101
Figura 133. Saídas no balanço agropecuário de P de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	101
Figura 134. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	101
Figura 135. Entradas no balanço agropecuário de K de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	102
Figura 136. Saídas no balanço agropecuário de K de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	102
Figura 137. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).	102
Figura 138. Entradas no balanço agropecuário de N de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	103
Figura 139. Saídas no balanço agropecuário de N de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	103
Figura 140. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	103
Figura 141. Entradas no balanço agropecuário de P de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	104
Figura 142. Saídas no balanço agropecuário de P de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	104
Figura 143. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	104
Figura 144. Entradas no balanço agropecuário de K de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	105
Figura 145. Saídas no balanço agropecuário de K de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	105
Figura 146. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).	105
Figura 147. Entradas no balanço agropecuário de N da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).	106
Figura 148. Saídas no balanço agropecuário de N da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).	106

Figura 149. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).	106
Figura 150. Entradas no balanço agropecuário de P da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg)... ..	107
Figura 151. Saídas no balanço agropecuário de P da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).....	107
Figura 152. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).	107
Figura 153. Entradas no balanço agropecuário de K da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).. ..	108
Figura 154. Saídas no balanço agropecuário de K da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).....	108
Figura 155. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).	108
Figura 156. Entradas no balanço agropecuário de N de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).....	109
Figura 157. Saídas no balanço agropecuário de N de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).	109
Figura 158. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).....	109
Figura 159. Entradas no balanço agropecuário de P de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).	110
Figura 160. Saídas no balanço agropecuário de P de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).....	110
Figura 161. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).....	110
Figura 162. Entradas no balanço agropecuário de K de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).....	111
Figura 163. Saídas no balanço agropecuário de K de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).	111
Figura 164. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).....	111
Figura 165. Entradas no balanço agropecuário de N do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).....	112
Figura 166. Saídas no balanço agropecuário de N do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).	112
Figura 167. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).....	112
Figura 168. Entradas no balanço agropecuário de P do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).....	113
Figura 169. Saídas no balanço agropecuário de P do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).	113
Figura 170. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).....	113
Figura 171. Entradas no balanço agropecuário de K do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).....	114
Figura 172. Saídas no balanço agropecuário de K do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).	114
Figura 173. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).....	114

Figura 174. Entradas no balanço agropecuário de N do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).....	115
Figura 175. Saídas no balanço agropecuário de N do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg). 115	
Figura 176. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).	115
Figura 177. Entradas no balanço agropecuário de P do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).....	116
Figura 178. Saídas no balanço agropecuário de P do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg). 116	
Figura 179. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).	116
Figura 180. Entradas no balanço agropecuário de K do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).....	117
Figura 181. Saídas no balanço agropecuário de K do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg). 117	
Figura 182. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).	117
Figura 183. Entradas no balanço agropecuário de N de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).....	118
Figura 184. Saídas no balanço agropecuário de N de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).....	118
Figura 185. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).	118
Figura 186. Entradas no balanço agropecuário de P de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).....	119
Figura 187. Saídas no balanço agropecuário de P de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).119	
Figura 188. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).	119
Figura 189. Entradas no balanço agropecuário de K de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).....	120
Figura 190. Saídas no balanço agropecuário de K de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).....	120
Figura 191. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).	120
Figura 192. Entradas no balanço agropecuário de N do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg). 121	
Figura 193. Saídas no balanço agropecuário de N do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg). ...	121
Figura 194. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).	121
Figura 195. Entradas no balanço agropecuário de P do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg). 122	
Figura 196. Saídas no balanço agropecuário de P do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).....	122
Figura 197. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).	122
Figura 198. Entradas no balanço agropecuário de K do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg). 123	
Figura 199. Saídas no balanço agropecuário de K do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg). ...	123

Figura 200. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).	123
Figura 201. Entradas no balanço agropecuário de N de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	124
Figura 202. Saídas no balanço agropecuário de N de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	124
Figura 203. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	124
Figura 204. Entradas no balanço agropecuário de P de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	125
Figura 205. Saídas no balanço agropecuário de P de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	125
Figura 206. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	125
Figura 207. Entradas no balanço agropecuário de K de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	126
Figura 208. Saídas no balanço agropecuário de K de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	126
Figura 209. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).	126
Figura 210. Entradas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	127
Figura 211. Saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	127
Figura 212. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	127
Figura 213. Entradas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	128
Figura 214. Saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	128
Figura 215. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	128
Figura 216. Entradas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	129
Figura 217. Saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	129
Figura 218. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	129
Figura 219. Entradas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	130
Figura 220. Saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	130
Figura 221. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	130
Figura 222. Entradas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	131

Figura 223. Saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).....	131
Figura 224. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	131
Figura 225. Entradas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).....	132
Figura 226. Saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).....	132
Figura 227. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).	132
Figura 228. Entradas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg). 133	133
Figura 229. Saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).....	133
Figura 230. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).....	133
Figura 231. Entradas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg). 134	134
Figura 232. Saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).....	134
Figura 233. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).....	134
Figura 234. Entradas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg). 135	135
Figura 235. Saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).....	135
Figura 236. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).....	135
Figura 237. Entradas no balanço agropecuário de N de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg)..	136
Figura 238. Saídas no balanço agropecuário de N de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).....	136
Figura 239. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).	136
Figura 240. Entradas no balanço agropecuário de P de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg)...	137
Figura 241. Saídas no balanço agropecuário de P de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).....	137
Figura 242. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).	137
Figura 243. Entradas no balanço agropecuário de K de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg)..	138
Figura 244. Saídas no balanço agropecuário de K de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).....	138
Figura 245. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).	138
Figura 246. Entradas no balanço agropecuário de N do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).....	139
Figura 247. Saídas no balanço agropecuário de N do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).....	139
Figura 248. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).	139

Figura 249. Entradas no balanço agropecuário de P do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).....	140
Figura 250. Saídas no balanço agropecuário de P do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg). 140	
Figura 251. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).	140
Figura 252. Entradas no balanço agropecuário de K do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).....	141
Figura 253. Saídas no balanço agropecuário de K do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).....	141
Figura 254. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros utilizados nas fontes de Ctn devido a aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos no solo.	13
Tabela 2. Parâmetros utilizados nas fontes de Ctn devido a fixação biológica de nitrogênio.	13
Tabela 3. Quantidade de sementes/mudas utilizado para plantação das principais culturas agrícolas do país.	14
Tabela 4. Valores de deposição atmosférica de N, P e K encontrados em literatura nacional.	15
Tabela 5. Teor de N, P e K nos produtos colhidos produzidos pela agricultura brasileira contabilizados como Extn (kg/t).	17
Tabela 6. Fator de aproveitamento de carcaça e teores médios corporal de N, P, K de um bovino vivo pré-abate no Brasil.	19
Tabela 7. Volatilização de N na forma de NH ₃ após aplicação de diversas fontes de fertilizantes sintéticos nitrogenados em diferentes culturas, solos e doses no Brasil...	20
Tabela 8. Balanço de N em áreas de agropecuária no Brasil (Gg de N).	26
Tabela 10. Balanço de K em áreas de agropecuária no Brasil (Gg de K).	32
Tabela 11. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de N estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg).	38
Tabela 12. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de P estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg).	39
Tabela 13. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de K estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg).	40
Tabela 14. Área com uso do solo destinada à agropecuária por unidade da federação nos anos de 2000, 2010 e 2020 (mil ha).	41
Tabela 15. Variação dos resultados do balanço (por área) de nutrientes entre o ano 2000 e 2020 em kg/ha (valores negativos indicam que o montante de balanço por área do nutriente reduziu no espaço de 20 anos).	42
Tabela 16. Variação dos resultados do balanço bruto de nutrientes entre o ano 2000 e 2020 em Gg (valores negativos indicam que o montante de balanço bruto do nutriente reduziu no espaço de 20 anos).	43
Tabela 17. Entrada de N no balanço agropecuário por fonte do nutriente (Gg).	44
Tabela 18. Entrada de P no balanço agropecuário por fonte do nutriente (Gg).	45
Tabela 19. Entrada de K no balanço agropecuário por fonte do nutriente (Gg).	46
Tabela 17. Balanço agropecuário de N no Brasil entre os anos de 2000 a 2020 (Gg).	58
Tabela 18. Balanço agropecuário de P no Brasil entre os anos de 2000 a 2020 (Gg).	59
Tabela 19. Balanço agropecuário de K no Brasil entre os anos de 2000 a 2020 (Gg).	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Balanço de Nutrientes no Brasil	2
2.2. Dinâmica dos Nutrientes no Solo	5
2.3 Destino do Excesso de Nutrientes no Solo - Eutrofização	6
2.4 Destino do Excesso de Nutrientes no Solo - Volatilização de Compostos com N.....	7
2.5 Fertilidade Natural nos Solos Brasileiros	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Descrição das Etapas Metodológicas Utilizadas para as Estimativas do Balanço	10
3.1.1. Etapa 1 - Contribuição total de nutrientes (Ctn): seleção das fontes que contribuem para o balanço de nutrientes	10
3.1.2 Etapa 2 - Contribuição total de nutrientes (Ctn): fatores e parâmetros utilizados .	12
3.1.3 Etapa 3 - Contribuição total de nutrientes (Ctn): fonte dos dados de atividade.....	15
3.1.4 Etapa 4 - Contribuição total de nutrientes (Ctn): cálculo da contribuição final.....	16
3.1.5 Perdas por volatilização do N	20
3.1.6 Base de dados utilizada	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Balanço de Nutrientes no Brasil	26
4.1.1 Nitrogênio	26
4.1.2 Fósforo	28
4.1.3 Potássio	31
4.2 Balanço de Nutrientes no Brasil e no Mundo	34
4.2.1 Estados - panorama nacional do balanço de NPK	37
4.2.2 Visão geral das fontes de nutrientes mais influentes no Balanço de NPK.....	44
5. CONCLUSÕES	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
8. APÊNDICE.....	58

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas as preocupações com questões ambientais tem sido uma constante. Dentre inúmeros fatores que podem causar danos ambientais uma grande preocupação está na proteção do meio ambiente através da otimização do balanço de nutrientes nos solos agropecuários. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) vem se preocupando com os impactos que o excesso de nutrientes nos solos agrícolas podem causar, especialmente no caso de nitrogênio (N) e fósforo (P) que em excesso podem ocasionar contaminação de corpos d'água e, no caso do N, ainda, contribuir com emissão de gases de efeito estufa.

Com o aumento da produtividade agrícola nos últimos anos, os montantes de nutrientes aplicados ao solo estão se elevando, principalmente devido à característica geral da baixa disponibilidade de nutrientes dos solos. Como exemplo, nas últimas duas décadas a produtividade do milho e arroz dobraram, a do feijão, trigo e soja se elevaram em mais de 50%, e a produção de carne bovina dobrou (IBGE, 2022). É importante então realizar o monitoramento do balanço de nutrientes do sistema de produção agropecuária para que se possa, primeiramente, tomar conhecimento do panorama dos nutrientes e possibilitar tomar medidas em respostas a situação que se apresenta. Balanços de nutriente com excedentes podem significar problemas ambientais, entretanto, balanços com déficit indicam que pode estar ocorrendo o esgotamento nutricional do solo, e consequentemente comprometer a produtividade agrícola e risco a degradação deste no futuro.

Diversos trabalhos do balanço dos macronutrientes NPK no Brasil ao longo das últimas décadas foram realizados (OECD, 2022; GUARESCHI et al., 2019; CUNHA et al., 2010, 2011, 2014, 2018; YAMANDA e LOPES, 1998) e no geral apontam o país com excedentes no balanço em todos os 3 nutrientes, e crescendo a cada ano. Dentre as principais fontes de entrada de nutrientes pode-se apontar os fertilizantes sintéticos e a fixação biológica de N (FBN) enquanto a maior parte da extração de NPK do balanço se deve as produções agrícolas.

Os trabalhos citados estimam o balanço de nutrientes para o Brasil, sem desagregação por estado. Este trabalho visa realizar estimativas de balanços anuais dos macronutrientes NPK na agropecuária brasileira de 2000 a 2020 adaptando os princípios propostos pela OECD (2007a, 2007b) para a realidade do país. As estimativas serão desagregadas por unidade da federação o que possibilita análises dos Estados mais significativos para o balanço assim como a evolução do mesmo ao longo destes 20 anos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Balanço de Nutrientes no Brasil

No Brasil, em 2022, o setor do agronegócio teve participação em 24,8% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, representando um valor de quase 2,5 trilhões de reais (CNA, 2023), o que mostra a força do setor agrícola e sua importância na economia do País.

Montoya e Finamore (2001) em estudo sobre a participação do agronegócio no PIB brasileiro entre 1959 a 1995 relatam que apesar do valor financeiro gerado pelo setor aumentar com o tempo, a sua participação no PIB nacional decresce. Em 1959, representava 55,7% do PIB do País, decrescendo para 38,6, 30,7 e 25,6% em 1970, 1980 e 1990, respectivamente, sendo o valor obtido em 1990 próximo ao obtido pela Confederação Nacional de Agricultura (CNA, 2023) no ano de 2020. Mesmo com a diminuição percentual da participação do PIB total, o setor agropecuário representa enorme importância, com seguidos aumentos de produção, sendo o desenvolvimento da indústria e do setor de serviços o principal motivo da diminuição de valores, e participação no PIB total do País (MONTTOYA e FINAMORE, 2001).

No Brasil, em 1975, 43.370 mil ha foram colhidos no País, área essa que aumentou com o tempo, registrando 51.824, 50.777 e 62.646 mil ha nos anos de 1985, 1995 e 2005, respectivamente, chegando a 83.128 mil ha em 2020 (IBGE, 2022). Entretanto, com o aumento da produtividade agrícola e do valor financeiro por ela gerado ao longo dos anos (MONTTOYA e FINAMORE, 2001), crescem as preocupações de se desenvolver uma agricultura sustentável sem que as reservas de nutrientes do solo se esgotem ou limitem o desenvolvimento e produtividade das culturas, além de preocupações aos danos ambientais que o excesso na aplicação de fertilizantes pode causar. Em meio a essas preocupações, uma série de estudos de balanço de nutrientes no solo vêm sendo realizados ao longo das últimas décadas no País.

Salgado et al. (1998), em um experimento conduzido em Seropédica (RJ) com a utilização de manejo orgânico sem a aplicação de fertilizantes sintéticos e produtividade das culturas próximas a média nacional, realizaram um balanço de nutrientes em um ciclo de 13 diferentes hortaliças e legumes, entre elas a abóbora, cebolinha, cenoura, beterraba, repolho, salsa, vagem, etc. e ao final foram constatados déficits de N nas culturas de beterraba e vagem, déficits de P para beterraba e salsa e no caso de K apenas a cultura do tomate não apresentou déficit, sendo este o nutriente que apresentou a maior preocupação neste tipo de manejo, devendo-se utilizar técnicas de rotação de culturas inteligentes, com adequada reposição de nutrientes, para atenuar este problema.

Yamada e Lopes (1998) realizaram estimativas de balanço de nutrientes nas 15 principais culturas agrícolas no país nos anos de 1993 a 1996. O estudo considerou apenas FBNe aplicação de fertilizantes sintéticos como entrada de nutrientes no balanço, e os nutrientes contidos na produção agrícola das 15 principais culturas agrícolas como saída. Desconsiderando perdas na aplicação de fertilizante, foi obtido como balanço total anual médio no quadriênio um valor negativo de 467 Gg de N, e positivo de 279,64 Gg de P e 64,22 Gg de K, sendo a soja, milho e cana responsáveis por mais de 60% da aplicação de fertilizantes e por 84, 80 e 76% das exportações de N, P e K, respectivamente. É importante ressaltar que estes valores são observados considerando que 1.566 Gg de N foram incorporadas anualmente no sistema solo-planta devido a FBN nas culturas da soja. As perdas mais significativas ocorrem com as fontes de N, dependendo das fontes aplicadas e do manejo, e por isso, um balanço positivo de N num sistema agrícola não necessariamente pode significar que o solo ganhe quantidades significativas de N.

Yamada e Lopes (1998) relatam que no período entre 1993 e 1996, 52,9% dos fertilizantes aplicados eram importados, valor bem distante dos mais de 80% no ano de 2019 relatado por ANDA (2020). O consumo anual aparente de fertilizantes no Brasil em 1950 era

14,2, 21,1 e 23,5 Gg de N, P e K respectivamente, e em 1960 era 62,5, 32,4 e 106,3 Gg de N, P e K, e apresentam um crescimento significativo nas décadas seguintes, registrando em 1970 valores de 276,4, 177,8 e 306,7 Gg de N, P e K, alcançando em 1980 valores de 667,9, 810,15 e 1.306,6 Gg de N, P e K, e em 1990, 913,6, 514,2, 1.202 Gg de N, P e K. Em 2020 o montante de fertilizantes sintéticos entregue ao mercado brasileiro informado por ANDA (2020) foi de 5.255, 2.641 e 5.610 Gg de N, P e K respectivamente sendo as culturas da soja, milho e cana responsáveis por 73,2% do consumo dos fertilizantes.

Fixen (2011) alerta sobre o uso e aplicação correta dos fertilizantes ser essencial para a sustentabilidade da agricultura, e que o balanço inadequado de um nutriente pode prejudicar eventualmente a eficiência de recuperação de outros pela planta, como excessos na aplicação de P e K podem elevar o potencial de perda de N do solo e dificultar sua assimilação e absorção pela planta. Os valores médios anuais de balanço de N e P nos países da OECD entre 2002 a 2004 foram respectivamente de 74 e 10 kg/ha, enquanto os valores do Brasil em 2008 registrados por Cunha et al. (2010) foram 10 e 9 kg/ha, respectivamente.

Em um experimento conduzido em 4 municípios no Rio Grande do Sul em áreas manejadas sob sistema de plantio direto consolidado, com semeadura de milho e soja no verão e plantas de cobertura no inverno, e analisando os teores de P e K do solo por meio de análises de amostras do solo, Montiel (2011) analisou a evolução dos teores dos nutrientes do solo entre 2005 e 2009. Em média a soja exportou 19,2 e 52,3 kg/ha de P e K respectivamente enquanto o milho exportou 34,3 e 49 kg/ha. Foram necessários 5,2 kg de P e 3,4 kg de K para elevar em 1 mg/dm³ a concentração destes nutrientes nos 10 cm superficiais do solo.

Cunha et al. (2010) realizaram estimativa de balanço de nutrientes no Brasil no ano de 2008, utilizando dados nacionais das 18 principais culturas agrícolas no país. Foi considerada como entrada, nutrientes oriundos de fertilizantes e corretivos aplicados nas principais culturas do país, FBN e vinhaça. A saída de nutrientes para o balanço foi creditada integralmente aos produtos gerados na agricultura. Como resultado se obteve excedente de 652, 593 e 664 Gg de N, P, K respectivamente, com índices de aproveitamento de 71,8%, 54% e 76,5% para os mesmos nutrientes respectivamente, sendo este índice reflete a proporção de nutrientes aplicado ao solo na forma de fertilizante que foram exportados na pela produção agrícola como resultado de sua colheita.

Cunha et al. (2011) utilizou a mesma metodologia de Cunha et al. (2010) para estimar o balanço de N, P, K nas 18 principais culturas agrícolas do país anualmente entre 1988 a 2010. Neste espaço de tempo houve um aumento de área plantada de 24% enquanto a produção vegetal avançou 124%, analogamente, o consumo de fertilizantes passou de 9.765 Gg em 1988 para 24.516 Gg em 2010, mostrando uma correlação direta entre o aumento da produtividade agrícola e o aumento da aplicação de fertilizantes no país. Deste modo, aumentam-se as exportações de nutrientes pelas produções agrícolas ao modo que se aumenta a demanda pela aplicação de fertilizantes.

Comparando os anos de início e fim desta série temporal, relataram aumentos de 158, 147 e 146% de N, P, K exportados em produtos agrícolas, com o consumo destes nutrientes crescendo respectivamente 239, 117 e 168%. Analisando o balanço dos nutrientes, em 1988 foi apresentado um déficit de 3,4 kg/ha de N, e somente em 1994 esse nutriente passou a apresentar valores excedentes, e daí por diante não houve mais registros de balanço negativo, chegando a um excedente de 12,7 kg de N/ha em 2010. Em relação ao P e o K, praticamente não apresentaram déficit, variando de 5,2 e 0,9 kg/ha em 1988 para 8,3 e 6,0 kg/ha em 2010. De maneira geral, comparando a década de 90 com a primeira década do século XXI todos os nutrientes apresentaram aumento nos excedentes do balanço, e registram excedentes anuais de forma consistente.

Cunha et al. (2014) em balanço de nutrientes na agricultura considerando as 18 principais culturas agrícolas no país no período entre 2009 e 2012. Consideraram como entrada

de nutrientes a aplicação de fertilizantes, FBN, aplicação de vinhaça e casca de café como fertilização orgânica. Como saída foi considerado os nutrientes contidos nos produtos colhidos com as culturas. Como resultado do quadriênio obtiveram valores de 3.970, 2.829 e 2.317 Gg de N, P, K respectivamente, como excedentes na agricultura brasileira. Destacam-se os índices de aproveitamento registrados de 65%, 53,3% e 81,6% para N, P e K. As culturas da soja, milho, cana e café representam 78%, 86% e 90% da aplicação de fertilizantes e 90%, 87% e 86% das exportações dos nutrientes N, P e K respectivamente.

Cunha et al. (2018), em trabalho utilizando a mesma metodologia de Cunha et al. (2014), porém analisando o quadriênio entre 2013 a 2017, encontraram um consumo de fertilizantes no Brasil que chegou a 127,58 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo a região Centro-Oeste responsável por 33% do consumo, a Sul, por 27%, a Sudeste por 25%, e o Norte-Nordeste, por 15%. No total, 15,47, 8,20 e 17,75 milhões de toneladas de N, P e K respectivamente foram aplicados na forma de fertilizantes no Brasil durante o Quadriênio. Com relação a exportação de nutrientes pelas culturas agrícolas no período, foi estimado que 33,45 milhões de toneladas de N, 3,78 milhões de toneladas de P e 13,07 milhões de toneladas de K foram exportados, sendo o Centro Oeste a região com maior representação, com 41%, 40% e 36%, respectivamente, e Norte-Nordeste a menor, somando 12%, 12% e 13%. As culturas de soja, milho, cana e café são as principais responsáveis pela exportação de nutrientes, juntas representando 91%, 88% e 88% das exportações totais de N, P, K respectivamente.

Apesar de ter registrado consistentemente balanços de nutrientes excedentes, quando se trata de utilização de fertilizantes por área agrícola, o Brasil está atrás de alguns países da América Latina, porém todos relativamente pequenos e com pouca área agrícola quando comparados ao Brasil. Reyes e Cortés (2017) relatam que, no ano de 2012, Barbados, Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, e Trinidad e Tobago registraram índices de usos de fertilizantes maiores que o Brasil, com destaque para Trinidad e Tobago que aplicou 286,7 kg/ha de fertilizantes no ano, enquanto o Brasil teve média de 45,7 kg/ha. Entretanto, dentro da América do Sul, o Brasil ainda é o pioneiro no uso de fertilizantes, enquanto Bolívia, Argentina, Paraguai, Peru, Venezuela, Uruguai, Colômbia, Chile e Equador em ordem de uso registram, respectivamente, usos de 1,1; 10,3; 17,1; 17,8; 21,7; 22,2; 27,7; 30,3 e 37,8 kg/ha de fertilizantes.

Guareschi et al. (2019) realizou estimativas de balanço de N, P e K para toda a América Latina e alguns países do Caribe no ano de 2016 utilizando dados de FAOSTAT (2021) e parâmetros encontrados na literatura. Considerando como entrada de nutrientes a aplicação de fertilizantes e a FBN, e como saída todas as produções agrícolas contabilizadas em FAOSTAT (2021), foi obtido para o Brasil valores de balanço de 1.530, 1.022 e 1.560 Gg excedentes de N, P e K respectivamente. Como um todo foi obtido um balanço positivo de N na América Latina e Caribe de 1.224 Gg, sendo a Argentina destacada por apresentar um balanço negativo de 1.546 Gg, e saldos ligeiramente negativos em Bolívia e Paraguai. Com relação ao P, o balanço tem um saldo positivo para a região de 822 Gg, tendo a Argentina apresentado, novamente, um déficit, neste caso de 307 Gg, sendo que Bolívia, Guatemala, México também apresentam saldos negativos. O Potássio é o nutriente que apresentou resultados mais preocupantes, tendo a América Latina e Caribe apresentado um déficit de 519 Gg de K, e com exceção de Brasil, Colômbia e Venezuela todos os outros países do estudo apresentaram saldos negativos, o que pode comprometer a sustentabilidade da produtividade agrícola no longo prazo.

Ainda no estudo realizado por Guareschi et al. (2019), o Brasil foi o país que apresentou os maiores excedentes em todos os nutrientes analisados (N, P e K) e em todos os casos apresentou balanços mais favoráveis que a média da América Latina e Caribe. Esta informação retrata a difusão do uso de fertilizantes em nosso país, o que certamente contribui com o aumento da produtividade agrícola, porém, balanços positivos vêm sendo encontrados

anualmente para o país em diversas literaturas citadas neste texto, o que chama a atenção para impactos ambientais que estes saldos continuamente positivos podem gerar a longo prazo.

2.2. Dinâmica dos Nutrientes no Solo

Boas práticas de manejo de cultura, incluindo a fertilização que contribuem para o manejo sustentável do solo são cruciais para o melhor aproveitamento dos nutrientes presentes ou incorporados a este. No Brasil, em 2008 os índices de aproveitamento médio nacional de fertilizantes pelas produções agrícolas foram estimados em 71,8%, 54,0% e 76% para N, P, K respectivamente. (CUNHA et al., 2010).

O Nitrogênio é um elemento bastante requerido pelas plantas principalmente pela sua participação na composição de ácidos nucleicos, aminoácidos e clorofila. Aproximadamente 95% do N no solo está na forma orgânica e sofre ação de diversos microrganismos (FERNANDES et al., 2018; VIEIRA, 2017).

Estes microrganismos agem sobre o N orgânico disponível realizando a transformação para formas minerais, processo denominado mineralização do N que resulta na liberação de NH_4 e NO_3 que são formas assimiláveis pela planta e que parte está sujeito a diferentes destinos no meio ambiente. (PHILIPPOT et al., 2013; MOOSHAMMER et al., 2014).

As principais formas de entrada de N no solo são a deposição atmosférica, fixação biológica do N_2 (FBN) e aplicação de fertilizantes nitrogenados. Recicla no sistema por meio de resíduos senescentes (liteira) e por meio de excretas (urina e fezes) dos animais. Este N então pode ser absorvido pelas plantas ou sofrer perdas para o ambiente, seja na forma gasosa como NH_3 , NO_x , N_2O ou perdas por lixiviação, erosão e escoamento superficial (VIEIRA, 2017).

O fósforo é um elemento fundamental para a síntese de moléculas orgânicas vitais para as plantas, como o DNA, RNA, ATP, NADPH além de fosfolipídios das membranas celulares. Após o N, o P é o macronutriente cuja baixa disponibilidade mais limita o crescimento das plantas (FERNANDES et al., 2018).

No geral, o teor de P total no solo varia de 0,2 a 5 g kg^{-1} tendo o valor médio de 0,6 g kg^{-1} , embora a maior parte não esteja em formas disponíveis para as plantas. O P no solo é um elemento de baixa mobilidade e disponibilidade. Sua forma pode ser dividida em quatro categorias, sendo: Forma iônica, adsorvidos nas superfícies dos constituintes minerais do solo, minerais cristalizados e componentes da matéria orgânica. No geral, de 15 a 80% do P no solo se encontra na forma orgânica dependendo da atividade microbiana local (FERNANDES et al., 2018; CARMO e TORRENT, 2010).

A absorção do P pela planta acontece quase exclusivamente na forma de H_2PO_4 e sua absorção acontece por difusão, causando uma grande dependência da exploração das raízes no solo para que sua absorção ocorra de maneira mais eficiente. Devido à baixa disponibilidade nos solos, a alta fixação do P-fertilizante pelo solo, e a dependência do contato próximo da raiz com o elemento para sua absorção, o uso de fertilizantes de fosfatados são fundamentais para uma boa produtividade agrícola e seu uso deve ser observado para que excessos não sejam cometidos (FERNANDES et al., 2018; CARMO e TORRENT, 2010).

O potássio é um macronutriente importante devido a sua atuação em diversos processos fisiológicos nas plantas, sua absorção ocorre principalmente por difusão, mas também pode ser absorvido por fluxo de massa. Apesar de não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, o K atua na fotossíntese, mantém o turgor das células, promove a absorção de água, é um agente regulador de abertura/fechamento dos estômatos e da translocação dos nutrientes nas plantas, auxilia o transporte e armazenamento de carboidratos, tem participação na síntese de amido nas folhas além de favorecer a absorção de N e a síntese de proteínas (FERNANDES et al., 2018; VILLAR, 2007).

No solo o K se encontra na forma estrutural, não trocável, trocável e em solução. Em solos brasileiros pode-se encontrar elevada variação na concentração de K, sendo relatados valores de conteúdo total de K no solo variando desde 300 até 39 mil mg kg⁻¹, sendo sua concentração mais elevada em solos jovens e ricos em argilominerais derivados de feldspatos (FERNANDES et al., 2018; VILLAR, 2007).

A forma estrutural presente nos minerais primários e secundários é a mais abundante, e nesta forma, a liberação de K para a solução no solo ocorre de maneira lenta, normalmente não sendo o suficiente para atender demandas das plantas. O K não trocável é encontrado em minerais secundários e pode se tornar solúvel apenas sob uma solução de ácido forte, enquanto o K trocável, adsorvido às argilas e materiais orgânicos, repõe rapidamente a parte de K em solução retirada do solo, sendo esta, a reserva imediata do nutriente (FERNANDES et al., 2018).

Apesar de o K estar presente no solo em diferentes formas, a única a ser absorvida pelas plantas é como íon monovalente K⁺ disponível na solução no solo. No solo o K⁺ em solução está em equilíbrio com o K ligado eletrostaticamente com as cargas superficiais negativas dos colóides, funcionando como reserva imediata para as plantas devido a reposição imediata de K⁺ na solução do solo à medida que este é absorvido (FERNANDES et al., 2018; VILLAR, 2007).

2.3 Destino do Excesso de Nutrientes no Solo - Eutrofização

A eutrofização é a causa do excesso de nutrientes em corpos d'água subterrâneos ou na superfície, gerando um aumento da biomassa microbiana de, principalmente, cianobactérias, com algumas cepas tóxicas de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, que podem comprometer a biodiversidade do ambiente e qualidade da água (KLEIN e AGNE, 2012; TUNDISI, 2006).

Com o aumento da disponibilidade de nutrientes, há aceleração da produtividade de algas, gerando alterações na biologia do sistema aquático. Com o aumento de nutrientes, há naturalmente um aumento na produção orgânica, gerando elevação na biomassa fitoplanctônica e por consequência, diminuição na penetração de luz. Isso pode levar ao aumento da decomposição da matéria orgânica e consumo de oxigênio além de produção de gás metano e sulfídrico no corpo d'água, comprometendo a biodiversidade e qualidade da água do mesmo. (ESTEVEES, 1998).

Este fenômeno pode acontecer de maneira natural ou artificial, e normalmente as chuvas e águas superficiais são responsáveis por escoamento de água e erosão da superfície terrestre, levando a lixiviação e transporte dos nutrientes até corpos d'água (KLEIN e AGNE, 2012; TUNDISI, 2006).

Dentre a eutrofização artificial há diversas origens. As principais formas antrópicas são os efluentes domésticos ou industriais além da atividade agrícola. Esta pode levar a uma elevada disponibilidade de nutrientes no solo, que são levados a corpos d'água resultando ou acelerando processos de eutrofização. O aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo nestes corpos d'água são as principais causas da eutrofização. (KLEIN e AGNE, 2012; TUNDISI, 2006, ESTEVEES, 1998).

Com relação a contaminação de corpos d'água provocando sua eutrofização devido ao excesso de nutrientes, em especial N e P aplicados como fertilizantes nos solos e levado devido a lixiviação e escoamento superficial a contaminação de corpos d'água, no Brasil, não é comum se notar este efeito. Entretanto há preocupações com este tema notadas no Brasil, principalmente na região Sul, onde dejetos animais em especial de suínos vem sido notados como agentes de eutrofização (KLEIN e AGNE, 2012; BITT et al., 2018; SHIGAKI et al., 2006).

2.4 Destino do Excesso de Nutrientes no Solo - Volatilização de Compostos com N

No caso do nitrogênio, outro ponto de atenção ambiental é a emissão de óxido nitroso (N_2O) devido ao processo de nitrificação e desnitrificação do N das formas nítricas disponíveis no solo. A aplicação de fertilizantes nitrogenados eleva concentrações do N mineral no solo, enquanto resíduos orgânicos como dejetos animais ou resíduos de cultura liberam inicialmente amônio (NH_4) no solo, que pode sofrer processo de nitrificação até a forma de nitrato (NO_3), produzindo N_2O pelo processo de redução. Alguns microrganismos na ausência de O_2 utilizam o nitrato como aceptor de elétrons na cadeia respiratória causando a redução do NO_3 a N_2 , sendo o N_2O e outros NO_x , intermediários no processo (ALVES et al., 2010; IPCC, 2006).

O N_2O é um gás com alto potencial de aquecimento, 296 vezes maior que o CO_2 , contribuindo para o efeito estufa (HOUGHTON et al., 2001). De acordo com IPCC (2006), em média 1 % do N adicionado aos solos na forma de fertilizantes sintéticos ou orgânicos e resíduos de cultura, e 2% dos dejetos de bovinos, galináceos e suínos, são emitidos para a atmosfera na forma de N_2O . Além disso, 10% do N de fertilizantes sintéticos e 20% do N adicionado ao solo na forma de fertilizantes orgânicos e dejetos animais são volatilizados na forma de NO_x e NH_3 , e, em média, 1% do N volatilizado é convertido em N_2O .

No Brasil as emissões de N_2O pelo setor agropecuário estão em constante crescimento, registrando uma emissão de 333 Gg de N_2O em 2000 e 510 Gg em 2016 representando 87% das emissões do gás no país, sendo os dejetos animais depositados diretamente em pastagens, os resíduos agrícolas depositados em campo e a aplicação de fertilizantes nitrogenados, as principais fontes contribuintes de emissão. O setor agropecuário é o principal responsável pelas emissões desse gás, representando 87% das emissões do país em 2016 (MCTI, 2021).

2.5 Fertilidade Natural nos Solos Brasileiros

O solo, o meio principal para o crescimento das plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Uma boa condição de funcionamento do solo é fundamental para garantir a capacidade produtiva dos agroecossistemas. Uma boa qualidade do solo é importante também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos (LOPES e GUILHERME, 2007).

A baixa fertilidade química dos solos pode ter origem em causas antrópicas ou naturais. Dentre as causas naturais destacam-se a gênese do solo e a ação do intemperismo como principais fatores. Em grande parte das regiões tropicais e subtropicais a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada, isto devido as condições de altas temperaturas e precipitações pluviais, que é o caso do Brasil, país que possui maior parte de sua extensão de terra nestas áreas, como resultado, grande parte do seu solo sofre com problemas de fertilidade, principalmente relacionados a ausência de nutrientes solúveis no solo e alta acidez e toxidez por alumínio (LOPES e GUILHERME, 2007).

Os solos brasileiros possuem grande diversidade com uma variedade de fatores de formação do solo. O Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS; SANTOS et al., 2018) possui 13 classes, constatando influência de diversas características químicas, físicas e morfológicas. Predominam no país os Latossolos, ocupando cerca de 39% da área total do país, distribuídos praticamente por todo o território nacional, estes são solos altamente intemperizados e sem incremento de argila em profundidade, apresentando baixo teor de nutrientes essenciais como fósforo e potássio. Em segundo lugar ficam os Argissolos, que ocupam aproximadamente 24% do Brasil, também distribuído ao longo de todo o território nacional. Ambos são compostos por argilas de baixa atividade e possuem reduzida capacidade

de troca catiônica, caracterizando baixa fertilidade química natural (SANTOS et al. 2018; EMBRAPA, 2023).

Solos de fertilidade moderada e elevada também são observados no país, ainda que em minoria. Estes são distribuídos por todo o território nacional em proporções menores, entretanto suas maiores extensões contínuas encontram-se nas regiões Nordeste e Sul do país. De modo geral, esses solos tendem a ser superficiais, com pouco desenvolvimento vertical, devido ao intemperismo relativamente limitado. As categorias predominantes entre esses solos incluem os Cambissolos, Chernossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos e Planossolos e juntas ocupam cerca de 24% do território nacional, evidenciando que 76% deste possuem solos com baixa fertilidade natural (SANTOS et al. 2018; EMBRAPA, 2023). A maior parte dos solos no país é ácida e de baixa fertilidade, com pouca reserva de nutrientes, neste ponto, sendo dependente da suplementação por fontes externas como fertilização para se complementar a situação naturalmente encontrada na maioria dos solos nacionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O balanço de nutrientes (BN) é estimado quantificando os nutrientes que ingressam nos sistemas agrícolas devido a aplicação de fertilizantes sintéticos ou naturais e fixação biológica de nitrogênio (FBN) em relação à quantidade exportada dos sistemas via produtos de origem vegetal ou animal (GUARESCHI et al., 2019). Neste trabalho os cálculos foram realizados por unidade federativa do Brasil, gerando balanços anuais de nutrientes de N, P e K para cada Estado brasileiro, assim como para o Distrito Federal e o resultante de todo o território Nacional durante o período de 2000 a 2020 (Equação 1).

$$BN = Ctn - Extn \quad (1)$$

Onde:

BN = Balanço de nutrientes (N, P, K);

Ctn = Consumo total de nutrientes (N, P, K);

Extn = Exportação de nutrientes (N, P, K) do sistema.

Deste modo, o trabalho consiste nas estimativas de cada fonte de *Ctn* e *Extn* para que o BN seja calculado.

Os manuais de cálculo de OECD (2007ab) foram utilizados como base da metodologia, porém, adaptações foram feitas de modo a refletir de maneira mais realista as singularidades do Brasil. Os manuais englobam apenas balanço de N e P, no entanto condições análogas a estes foram utilizadas para a realização do balanço de K.

As fontes de dados e consultas utilizadas priorizam fontes nacionais, deste modo, este trabalho utilizou dados regionais unido a parâmetros baseados em levantamentos na literatura nacional e internacional para realizar as estimativas de BN.

As Figuras 1 e 2 relatam de maneira geral as atividades a seguir em ordem para a quantificação de Contribuição total de nutrientes (*Ctn*) e a Exportação total de nutrientes com os produtos agrícola (*Extn*), respectivamente. Posteriormente cada etapa será descrita em detalhes.

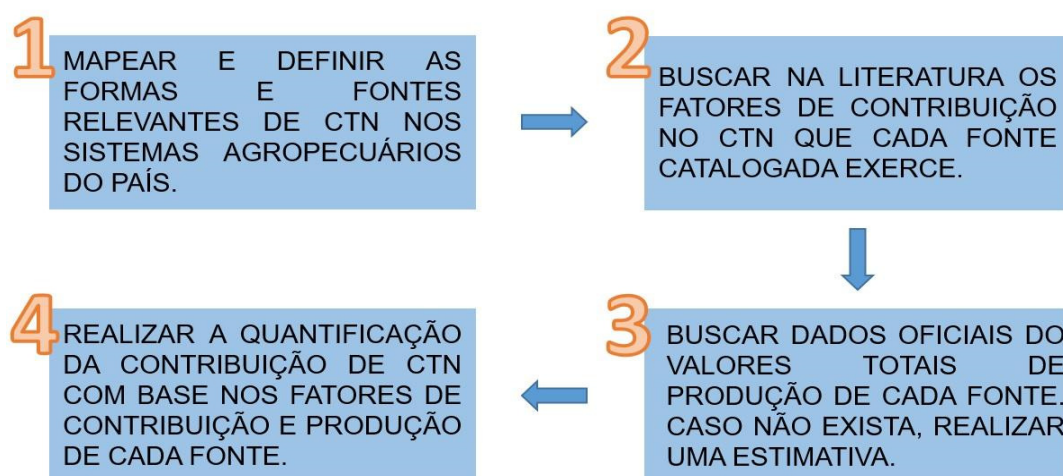


Figura 1. Etapas numeradas para a realização das estimativas de *Ctn*. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na etapa 1, as formas de entrada de N, P, K no solo devem ser definidas. No caso do Brasil, importantes fontes são os fertilizantes sintéticos e orgânicos, além de outros possíveis insumos agrícolas e a FBN.

Na etapa 2, para cada fonte de nutriente para o solo, deve-se obter o respectivo teor de N, P, K. No caso da FBN, deve-se obter uma relação entre o produto gerado da cultura e a quantidade de N fixada.

A etapa 3 refere-se aos dados de produtos agropecuários gerados no país. Caso haja necessidade pode-se realizar uma estimativa de algum dado inexistente.

Por fim, na etapa 4, os teores de N, P e K de cada fonte multiplicados pelo montante de cada fonte, irá resultar na quantidade de nutriente que entra no sistema.

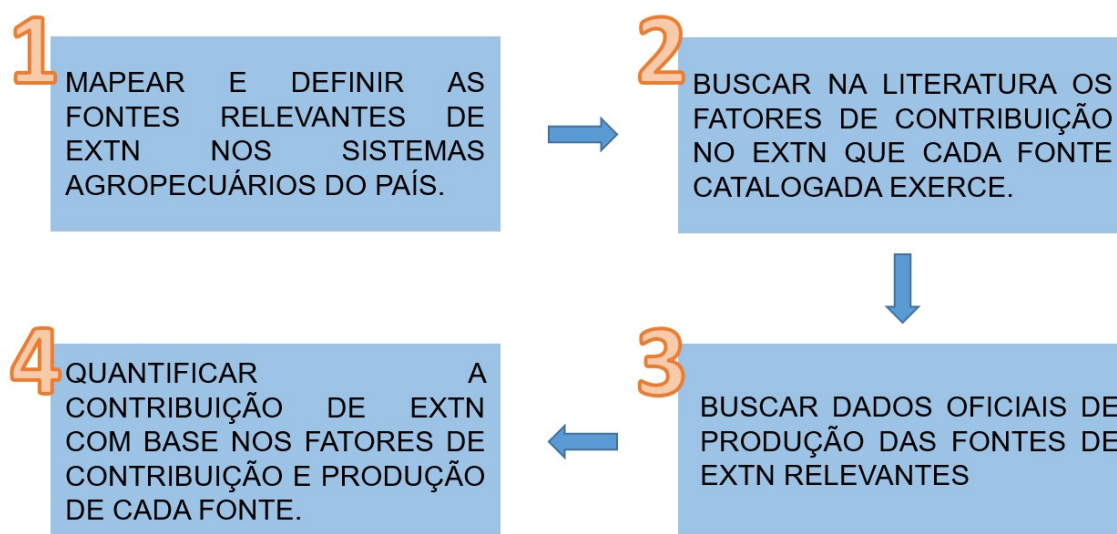


Figura 2. Etapas numeradas para a realização das estimativas de Extn. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Neste caso, a etapa 1 é a catalogação dos produtos gerados que são retirados do sistema agropecuário normalmente com o intuito de fornecer alimentos ou insumos para a indústria. Na prática, são as produções comerciais de culturas agrícolas e a produção de carne bovina. Neste caso, a produção de carne suína e de frangos não devem ser contabilizadas pois a base de sua alimentação é proveniente de fontes de nutrientes externas ao sistema solo-planta-agropecuária, sendo normalmente rações e suplementações alimentares produzidas, diferentemente dos bovinos, onde o pasto é a maior fonte de alimento deste animal no Brasil.

Na etapa 2, deve-se encontrar na literatura o teor de N, P, K dos produtos agrícolas relevantes do país e da carne bovina.

A etapa 3 refere-se aos dados de produções agrícolas e de carne bovina no país.

Por fim, na etapa 4, o total de produto gerado multiplicado pelo seu teor do nutriente (N, P, K) tem como resultado o montante de nutriente exportado do sistema.

3.1 Descrição das Etapas Metodológicas Utilizadas para as Estimativas do Balanço

3.1.1. Etapa 1 – Contribuição total de nutrientes (Ctn): seleção das fontes que contribuem para o balanço de nutrientes

De acordo com os anuários de ANDA (2022), em 2020 no Brasil 5,26; 6,04 e 6,76 milhões de toneladas de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, foram aplicados ao solo na forma de fertilizantes sintéticos. É importante ressaltar que os dados informados por esta fonte são em

P₂O₅ e K₂O, porém o balanço é realizado para P e K. Deste modo, é utilizado um fator de correção descrito na etapa 2 – Ctn para a adequação dos valores.

A fertilização é uma prática importante para fornecer os nutrientes necessários para o desenvolvimento e produtividade de plantações. Os fertilizantes sintéticos são uma fonte importante de reposição nutricional, a qual também pode ser feita com a fertilização orgânica, que pode ser produzida a partir de dejetos animais, ou de subprodutos da indústria, como a vinhaça.

A vinhaça é um subproduto na fabricação do etanol, é rica em potássio e também contém em sua composição nitrogênio e fósforo. É amplamente utilizada como fertilizante nas plantações de cana-de-açúcar (ELIA NETO, 2016; CARMO et al., 2013; PAREDES et al., 2014) e por isto deve ser considerada como entrada de nutrientes no balanço e sua estimativa deve estar associada à produção de etanol.

Com relação aos fertilizantes de origem animal é necessário tratar o rebanho bovino de maneira diferenciada dos demais devido ao seu modo de criação amplamente extensiva no Brasil (DIAS FILHO, 2011; CARVALHO et. al, 2009; CARVALHO, 2020).

Dentro rebanhos de animais comerciais significativos, galináceos, suínos e bovinos são os mais abundantes do país e os únicos com o abate contabilizados pelo IBGE (2022) e pode-se considera-los como principais.

Galináceos e suínos normalmente possuem um sistema de criação com confinamento, onde sua fonte de alimentação é basicamente ração e outras fontes externas ao sistema solo-planta da agricultura, ou seja, os nutrientes introduzidos na alimentação são externos. O produto final destas produções, sejam ovos ou carnes, também não ficam retidos no solo, portanto não devem ser contabilizados no balanço. Entretanto, as cargas nutricionais de seus dejetos são compostas com fontes externas e podem ser utilizadas como fertilizantes orgânicos ou depositados diretamente no solo e portanto, são contabilizados como entrada no balanço.

Não há dados significativos que englobam toda a produção de fertilizantes orgânicos no país, mas é razoável considerar o N, P e K presente nos dejetos animais como aplicados ao solo nesta forma. Como há ausência de dados de importação, exportação e aplicação de fertilizantes orgânicos no país, seguindo a recomendação de OECD (2007 a, b) deve-se considerar os dejetos dos suínos e galináceos como fonte de entrada de nutrientes no balanço devido a fertilização orgânica, sendo a população de galináceos dividida entre frangos e galinhas, usando os fatores médios de produção de excretas reconhecidos para estas fontes de dejetos.

O rebanho bovino nacional, em sua maioria se alimenta quase integralmente de pastagens, e deposita seus dejetos diretamente no solo, ou seja, os nutrientes consumidos não são oriundos de fora do sistema, e os dejetos também não são exportados. Desse modo, sua única interferência no balanço são os nutrientes que permanecem na forma de carne no seu corpo, e que devem ser considerados como exportação do sistema.

A Fixação biológica de N₂ do ar é um processo natural que ocorre em grande magnitude especialmente nas leguminosas e em menor grau em gramíneas como a cana-de-açúcar contribuindo para a entrada de nitrogênio no balanço. Este processo deve ser considerado como entrada de N no balanço, pois a planta incorpora o Nitrogênio presente na atmosfera, e este passa a fazer parte do sistema solo-planta (GUARESCHI et al, 2019).

Deste modo, o N incorporado contido no produto vai ser devidamente contabilizado como Extn devido a colheita, e o que permanecer na estrutura da planta vai ser incorporado ao solo na forma de resíduos de cultura.

As metodologias da OECD (2007a, b) também recomendam a realização da quantificação da contribuição da incorporação de N, P e K devido a deposição atmosférica e pelo consumo de sementes utilizadas no plantio.

A estimativa preliminar de balanço de N e P no Brasil, com dados de sementes (e mudas para plantação) disponibilizados por FAOSTAT (2021), foi realizada uma estimativa bruta de

contribuição das sementes para o Ctn. Comparando os valores encontrados com os relatados por Guareschi et al. (2019) e Cunha et al. (2014, 2018) a contribuição de sementes no Ctn equivale a menos de 1% do total, deste modo, apenas sementes e mudas das principais culturas agrícolas foram contabilizadas no balanço. São elas o arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e trigo.

A atmosfera representa uma significativa fonte carregadora de nitrogênio para diversos ecossistemas, representando um importante mecanismo atuante no ciclo global do N. A liberação de N gasoso em um determinado compartimento do planeta pode resultar em sua deposição em áreas remotas e distantes. Desta forma a deposição atmosférica de N é uma fonte significativa e atuante no balanço do nutriente (JICKELLS, 2006; ARAUJO et al., 2015). Apesar de a deposição de P e K não ocorrerem no mesmo volume que de N, sua deposição atmosférica também será considerado como fonte de entrada de nutrientes no balanço.

Deste modo, as fontes de Ctn definidas pela etapa 1 são:

- A) Fertilizantes sintéticos;
- B) Fertilizante orgânico vinhaça;
- C) Dejetos de galináceos;
- D) Dejetos de suínos;
- E) Fixação biológica de Nitrogênio;
- F) Sementes;
- G) Deposição atmosférica.

3.1.2 Etapa 2 – Contribuição total de nutrientes (Ctn): fatores e parâmetros utilizados

Os anuários de ANDA (2022) fornecem dados anuais de fertilizantes sintéticos utilizados por estado no Brasil desagregados em N, P_2O_5 e K_2O . Portanto, o teor de N sobre o valor informado para este fertilizante é 100%. Com relação ao P_2O_5 e K_2O , com base no peso molecular dos elementos é possível estabelecer os fatores de P e K respectivamente como 43,7% e 83% do montante total fornecido. Esta conversão é importante para que se estime o total dos nutrientes P e K aplicados ao solo.

Com relação a vinhaça, Elia Neto (2016) fez uma análise de diversos estudos nacionais e dados do antigo Centro de Tecnologia Copersucar e atualmente Centro de Tecnologia Canavieira, chegando ao valor médio de 11,5 litros de vinhaça produzidos para cada litro de etanol.

Elia Neto (2016) com dados de caracterização da vinhaça colhidos entre 1982 a 2008 encontrou variações no teor de N de 81 a 1225 mg N/l. Para o P, os valores variaram de 2,1 a 188 mg P/l, e no caso do K, de 814 a 7612 mg K/l, com valores médios de 433, 34 e 2206 mg/l de N, P e K respectivamente.

Para estimar a contribuição no Ctn devido a dejetos de frangos, galinhas e suínos deve-se primeiramente estabelecer quanto de dejetos é gerado por animal e o teor médio de N, P e K dos dejetos.

Em média, um frango e galinha poedeira geram respectivamente por ano 37 e 32 kg de dejetos (ASAE, 2005), enquanto um suíno em sistema de criação tradicional no país gera 8,6 litros de dejetos por cabeça ao dia, ou 3,14 m³ ao ano (DARTORA et al., 1998).

ASAE (2005) estimou valores médios de dejetos para frangos, galinhas e suínos. Com base nos seus resultados foram estabelecidos valores médios de excreta de N, P e K por cabeça ao ano para frangos, galinhas e suínos. Estes juntamente com os fatores utilizados para vinhaça e de teor de NPK nos fertilizantes sintéticos são descritos na Tabela 1. Estes teores são considerados para o cálculo de cada nutriente no Ctn.

Tabela 1. Parâmetros utilizados nas fontes de Ctn devido a aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos no solo.

Fonte	Teor	Unidade	Referência
N-N Fertilizante sintético	100	%	ANDA (2022)
P-P ₂ O ₅ Fertilizante sintético	43,7	%	-
K-K ₂ O Fertilizante sintético	83	%	-
Produção Vinhaça	11,5	l/l de etanol prod.	Elia Neto (2016)
N-Vinhaça	433	mg N/l	Elia Neto (2016)
P-Vinhaça	34	mg P/l	Elia Neto (2016)
K-Vinhaça	2206	mg K/l	Elia Neto (2016)
N-dejeto Frangos	0,4	kg N/cabeça. ano	ASAE (2005)
P-dejeto Frangos	0,12	kg P/cabeça. ano	ASAE (2005)
K-dejeto Frangos	0,24	kg K/cabeça. ano	ASAE (2005)
N-dejeto Galinhas	0,58	kg N/cabeça. ano	ASAE (2005)
P-dejeto Galinhas	0,18	kg P/cabeça. ano	ASAE (2005)
K-dejeto Galinhas	0,21	kg K/cabeça. ano	ASAE (2005)
N-dejeto suíno	14,2	kg N/cabeça. ano	ASAE (2005)
P-dejeto suíno	2,3	kg P/cabeça. ano	ASAE (2005)
K-dejeto suíno	6,2	kg K/cabeça. ano	ASAE (2005)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com relação a FBN, a quantidade de N fixado pela planta pode ser relacionado com o teor de N total da mesma. Deste modo, com base nos resultados encontrados por (HERRIDGE et al., 2008; ALVES et al., 2006; URQUIAGA et al., 2012; BODDEY et al., 2001; YONEYAMA et al., 1997) foram definidos os parâmetros de $P_{fix}\%$, que é o teor de N da planta inteira que foi incorporado via FBN (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros utilizados nas fontes de Ctn devido a fixação biológica de nitrogênio.

Fonte	Teor	Unidade	Referência
N-planta	2	kg N/kg N produto	IPCC (2006)
N-planta Soja	80	kg N/t de soja	Zotarelli et al.(2012)
N-Amendoim	59,5	kg N/t de produto	Souza (2004)
N-Ervilha	36	kg N/t de produto	Man. de Adub. e Cal. do RS e SC (2004)
N-Cana-de-açúcar	0,8	kg N/t de produto	Cunha et al. (2014)
N-Feijão	38,5	kg N/t de produto	Souza (2004)
Pfix%-Amendoim	65	% do N planta	Herride et al. (2008)
Pfix%-Ervilha	65	% do N planta	Herride et al. (2008)

Continua...

Continuação da **Tabela 2.**

Fonte	Teor	Unidade	Referência
Pfix%-Cana-de-açúcar	35	% do N planta	Urquiaga et al. (2012); Boddey et al. (2001); Yoneyama et al. (1997)
Pfix%-Feijão	36	% do N planta	Herride et al. (2008)
Pfix%-Soja	80	% do N planta	Alves et al.(2006)

Fonte: Adaptado de Guareschi et al. (2019).

De modo geral, a incorporação de N devido a FBN de cada cultura leguminosa está relacionada à quantidade de N acumulada na planta inteira. Para realizar esta estimativa considerou-se que o valor de N total na planta inteira é duas vezes o valor exportado no produto colhido (IPCC, 2006). Esta consideração é feita para todas as culturas citadas na Tabela 2, exceto a soja. Para a soja foi considerado que a planta acumula 80 kg de N por tonelada de grãos produzida (ZOTARELLI et al., 2012; ALVES et al., 2006), o que também foi considerado por Guareschi et al. (2019).

Com relação a contribuição de sementes/mudas no balanço de NPK, o método de estimativa de quantidade de sementes utilizadas no balanço será: Área plantada da cultura multiplicado pela quantidade média de sementes/mudas (Tabela 3) utilizadas para a plantação. Com o teor de NPK sendo o mesmo utilizado na contabilização das saídas de NPK do balanço devido a produção agrícola (descritos na etapa 2, Tabela 5).

Tabela 3. Quantidade de sementes/mudas utilizado para plantação das principais culturas agrícolas do país.

Parâmetro	Quantidade	Unidade	Referência
Arroz	160	kg semente/ ha plantado	Santos (2022)
Cana-de-açúcar	12500	kg broto/ ha plantado	Rossetto e Santiago (2022)
Feijão	45	kg semente/ ha plantado	Souza Filho et al. (2022)
Mandioca	750	kg maniva/ ha plantado	Souza e Fialho (2022)
Milho	23	kg semente/ ha plantado	IPA (2022)
Soja	70	kg semente/ ha plantado	Mendes (2022)
Trigo	120	kg semente/ ha plantado	Cánovas e Trindade (2003)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A contribuição de deposição atmosférica no balanço do sistema de produção agropecuária tem como principais contribuidores do setor agropecuário o montante de nutriente volatilizado devido a aplicação de fertilizantes sintéticos e durante o processo de transformação dos dejetos em fertilizantes orgânicos, além de sua aplicação (OECD, 2008). Além destas fontes, há também contribuição devido à setores não ligados a agropecuária (OECD, 2007a; OECD, 2007b).

O montante de deposição atmosférica de um dado nutriente pode ser bastante variável, alguns trabalhos que estimaram fatores de deposição atmosférica no solo encontrados na literatura nacional foram catalogados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de deposição atmosférica de N, P e K encontrados em literatura nacional.

Local	Deposição atmosférica (kg/ha. ano)			Fonte
	N	P	K	
SP	8,9			Souza (2020)
RS	5,4	0,1	4,2	Momolli et al. (2020)
BA	1,4		2,8	Araujo et al. (2015)
RJ	2,8		4,8	Mello (2001)
SP	10,4		1,2	Leal et al. (2004)
RJ	2,8		0,7	Mello e Almeida (2004)
RJ	4,6		4,7	Souza et al. (2006)
RJ	7,8			Rodrigues et al. (2007)
Média	5,5	0,1*	3,1	

* Valor não utilizado para os cálculos devido a existência de apenas uma fonte. De maneira conservadora em seu lugar foi utilizado um fator de 0,3 kg/ha.ano que é o utilizado por OECD (2022) em suas estimativas. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Deste modo os cálculos de deposição atmosférica são realizados efetuando a multiplicação simples do teor de deposição atmosférica pela área de referência. Entretanto, devido à pouca disponibilidade e a ausência de monitoramento contínuo de deposição atmosférica ao longo do país, a OECD (2007 a, b) recomenda a utilização de um fator contínuo para todo o território nacional. OECD (2022) possui recomendação de utilização de fatores de deposição atmosférica em relação ao tipo de uso de solo, isto é, fatores distintos para áreas de agricultura temporária, permanente e pastagens no país, porém, como neste trabalho não foi feita distinção entre estas, é adotado um fator único de deposição atmosférica para cada nutriente. Há carência de um maior volume de pesquisas e monitoramento de deposições atmosféricas de NPK no país, e no Tabela 4 são apenas citados 8 trabalhos. Apesar de se entender que este é um volume baixo de pesquisas e informações e que não há abrangência do território nacional dentre as pesquisas citadas, como estas são as informações que se tem disponível no momento, foi adotado o valor médio entre os trabalhos citados para a deposição atmosférica de N e K.

Apesar do IPCC (2022) propor que, no Brasil, em média 8,2 kg N/ha.ano é depositado em áreas de agricultura ou passagens, este fator é desenvolvido e aplicado em países de alta latitude, como na Europa e América do Norte, onde é comum a prática de adubação de pastagens e a utilização de esterco como fertilizantes orgânicos, que causam uma maior volatilização do N local que posteriormente pode ser depositado no solo novamente principalmente devido a ação das chuvas. Estas práticas não são adotadas na mesma intensidade no Brasil, e devido a estas diferenças, foi decidido utilizar o fator médio encontrado em trabalhos locais ao invés do padrão da OECD (2022), acreditando-se que é uma estimativa mais próxima da realidade local. Já no caso de P, como apenas uma fonte nacional foi catalogada, é adotado o fator de 0,3 kg/ha.ano como fator de deposição atmosférica do nutriente, como uma abordagem conservadora, este é o valor padrão proposto por OECD (2022).

3.1.3 Etapa 3 - Contribuição total de nutrientes (Ctn): fonte dos dados de atividade

Os valores de N, P₂O₅ e K₂O aplicados em solos agrícolas na forma de fertilizantes sintéticos são publicados anualmente desagregados por unidade da federação por ANDA (2022).

Para a estimativa da contribuição da vinhaça no Ctn, se necessitam dados de produção nacional de etanol. Este dado é fornecido por UNICA (2021) que começou a contabilizar os

dados de produção de etanol por safra no Brasil em 1980/1981. É importante ressaltar que é considerado que a vinhaça é aplicada ao solo no ano corresponde ao final da safra. Por exemplo, a vinhaça produzida na safra 2010/2011 de etanol será considerada como sendo aplicada ao solo na forma de fertilizante no ano de 2011.

Os dados de população de frangos, galinhas e suínos assim como os dados de produção das culturas com capacidade de FBN e área plantada dentre as que possuem contribuição por sementes e mudas contabilizadas são disponibilizados anualmente por IBGE (2022). É importante ressaltar que a informação da população de galináceos da fonte é desagregada em total de galináceos e galinhas, deste modo, subtraindo a população do total de galináceos pela população de galinhas se obteve a população de frangos, o que é particularmente importante para a utilização mais precisa das estimativas de excreta para cada animal.

Os dados de área destinada a agricultura em culturas e pastagens são fornecidos por Mapbiomas (2022). É importante ressaltar que há áreas identificadas como mosaico entre agricultura e pastagens onde não foi possível a distinção entre estas duas categorias. Metodologicamente, neste trabalho, não será feita distinção entre áreas de pastagem e agricultura devido à dificuldade de desagregação entre estas. Portanto, haverá um fator único de deposição atmosférica para cada nutriente.

3.1.4 Etapa 4 - Contribuição total de nutrientes (Ctn): cálculo da contribuição final

Deste modo, realizando a aplicação dos fatores das Tabelas 1 a 4, em seus respectivos dados de atividade, obtém-se os valores de Ctn para cada fonte considerada.

a) Etapa 1 – Exportação total de nutrientes (Extn): seleção das fontes de contribuição no balanço de nutrientes

Na produção agrícola as plantas utilizam os nutrientes disponíveis no solo para se desenvolver, e todos os insumos depositados no solo são entradas no balanço. Com o crescimento e produção da planta (em culturas permanentes, os nutrientes permanecem retidos na biomassa em pé, e em culturas temporárias, após o produto ser colhido, os restos da plantação normalmente retornam ao solo), fazendo com que parte dos nutrientes assimilados pelas culturas permaneça no solo.

Os produtos destas culturas são a finalidade da produção agrícola, e são colhidos e destinados ao mercado ou outras finalidades, e deste modo, toda a carga nutricional presente também é removida do sistema solo-planta, e deve ser contabilizado como saída no balanço.

O IBGE (2022) contabiliza dados de produção das culturas de abacate, abacaxi, açaí (desde 2015), algodão, alho, amendoim, arroz, aveia, azeitona, banana, batata-doce, batata-inglesa, borracha (látex), cacau, café, caju, cana-de-açúcar, caqui, castanha de caju, cebola, centeio, cevada, chá-da-índia, coco-da-Bahia, dendê, erva-mate, ervilha, fava, feijão, figo, fumo, girassol (desde 2005), goiaba, guaraná, juta, laranja, limão, linho, maçã, malva, mamão, mamona, mandioca, manga, maracujá, marmelo, melancia, melão, milho, noz, palmito, pêra, pêssego, pimenta-do-reino, rami, sisal, soja, sorgo, tangerina, tomate, trigo, tritcale (desde 2005), tungue, urucum e uva. Todas estas produções serão contabilizadas como fonte de Extn da produção agrícola (Valores de ano entre parêntese refere-se ao período contabilizado pelas culturas que não estão presentes em toda a série histórica do IBGE). As culturas agrícolas foram divididas entre principais culturas sendo elas Arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e trigo. Estas somadas representam ao menos 80% da área colhida no Brasil em todos os anos entre 2000 e 2020. Todas as demais culturas contabilizadas por IBGE (2022) são descritas como outras culturas agrícolas.

Além da produção agrícola, outra saída de nutrientes do balanço a ser considerada é a carne bovina. Os bovinos em sua grande parte vivem principalmente em sistema de criação extensiva no Brasil, consumindo como principal fonte de alimentação pastagens.

As pastagens se renovam em média a cada 10 anos (IPCC, 2006), entretanto, o seu resíduo é mantido e absorvido pelo solo, não havendo perdas significativas no sistema. A maior finalidade de pastagens no Brasil é sua utilização como fonte alimentar de bovinos. Do montante de nutrientes consumido por bovinos, parte é devolvida ao solo na forma de dejetos, portanto se mantém no sistema solo-animal-plantas (desconsiderando as perdas), deste modo, apenas a carga nutricional convertida em carne deve ser contabilizada como Extn. Esta é mantida no animal que é levado ao abate e exportado do campo no balanço. Deste modo, as pastagens não devem ser consideradas como fonte direta de Extn, em contrapartida, o total de carne bovina produzida no país deve ser contabilizado, para baseado no conteúdo de nutrientes contidos na carne estimar a quantidade de nutrientes exportados do campo da área de pastagens.

Deste modo, as fontes de Extn definidas pela etapa 1 são:

- H) Produções da agricultura;
- I) Carne bovina;

b) Etapa 2 – Exportação total de nutrientes (Extn): fatores e parâmetros utilizados

O IBGE (2022) atualmente realiza a quantificação da produção, em toneladas, de 65 culturas agrícolas no país, entre temporárias ou perenes. Todos produtos resultantes das culturas agrícolas disponibilizadas pelo IBGE (2022) tiveram seus respectivos teores de N, P e K tabelados (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de N, P e K nos produtos colhidos produzidos pela agricultura brasileira contabilizados como Extn (kg/t).

Culturas	N	P	K	Referência
Abacate	2,2	0,3	3,7	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Abacaxi	0,8	0,2	2,6	Crisóstomo et al. (2009)
Açaí	13,0	0,5	9,0	Menezes et al. (2008)
Algodão (sementes)	22,0	3,0	15,0	Souza (2004)
Alho	7,3	1,1	4,7	Faquin e Andrade (2004)
Amendoim	35	2,4	7,1	IPNI (2022)
Arroz	13	2,9	3	IPNI (2022)
Aveia	24	3,8	4,9	IPNI (2022)
Azeitona	7,2	1,1	10,9	Janick (2005)
Banana	1,9	0,3	8,2	Cunha et al.(2014), Raij et al., (1997)
Batata-doce	5,2	1,0	8,3	IPNI (2022)
Batata-inglesa	3	0,7	5,4	IPNI (2022)
Borracha (látex)	6,0	5,0	3,0	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Cacau	33,0	2,0	8,0	Cunha et al.(2014), Raij et al., (1997)

Continua...

Continuação da **Tabela 5.**

Culturas	N	P	K	Referência
Café	17,5	1,2	26,5	Cunha et al.(2014), Raij et al., (1997)
Caju	8,5	1,3	8,5	Crisóstomo et al. (2009)
Cana de açúcar	1,0	0,3	1,5	IPNI (2022)
Caqui	0,9	0,2	1,9	Takahashi et al. (2010)
Castanha de caju	13,8	2,0	6,5	Crisóstomo et al. (2009)
Cebola	2,7	0,5	2,7	Faquin e Andrade (2004)
Centeio	25	3,6	4,6	IPNI (2022)
Cevada	21	3,6	5,6	IPNI (2022)
Chá	27,0	4,0	13,0	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Coco	0,3	0,0	0,5	Crisóstomo et al. (2009)
Dendê	2,6	0,5	5,9	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Erva mate	10,7	0,7	8,7	CAMPOS (1991)
Ervilha	25	2,9	18	IPNI (2022)
Fava	3,0	0,4	1,2	Magalhães et al. (2017)
Feijão	50	5,7	12,5	IPNI (2022)
Figo	3,1	0,5	0,3	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Fumo	36	3,9	47,3	IPNI (2022)
Girassol	27	4,2	7,5	IPNI (2022)
Goiaba	1,0	0,2	1,6	Fernandes e Nascimento (2006)
Guaraná	72,3	11,0	56,9	Cravo et al. (2005)
Juta	9,3	2,8	27,0	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Laranja	4,4	0,4	4,6	IPNI (2022)
Limão	3,3	0,4	2,9	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Linho	13	1,3	32,4	IPNI (2022)
Maçã	3	0,8	7	IPNI (2022)
Malva	33,9	7,6	48,5	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Mamão	1,8	0,5	2,1	Crisóstomo et al. (2009)
Mamona	29,0	3,7	7,2	NPCT (2021)
Mandioca	2,1	0,2	2,0	Cunha et al.(2014), Raij et al., (1997)
Manga	1,0	0,2	1,6	Fernandes e Nascimento (2006)
Maracujá	4,0*	0,7	3,5	UNIFESP (2021)
Marmelo	5,8	1,0	7,5	Guareschi et al. (2019)
Melancia	1,5	0,2	1,1	Faquin e Andrade (2004)
Melão	1,9	0,5	2,3	Faquin e Andrade (2004)
Milho	12	2,7	3,7	IPNI (2022)
Noz	8,0	0,6	0,8	Malavolta (1980), Crisóstomo et al. (2009)
Palmito	4,32	1,4	18,0	UNIFESP (2021)

Contnua...

Continuação da **Tabela 5.**

Culturas	N	P	K	Referência
Pera	2,9	0,4	2,6	IPNI (2022)
Pêssego	3,2	0,6	2,6	IPNI (2022)
Pimenta do reino	1,6	0,3	2,2	Faquin e Andrade (2004)
Rami	33,9	7,6	48,5	Malavolta (1980). Crisóstomo et al. (2009)
Sisal	1,2	0,2	1,4	Malavolta (1980). Crisóstomo et al. (2009)
Soja	55	5,2	16,6	IPNI (2022)
Sorgo	13	3,4	4,5	IPNI (2022)
Tangerina	1,8	0,2	2,5	Borealis (2017)
Tomate	1,3	0,2	2,4	IPNI (2022)
Trigo	21	4,1	4,6	IPNI (2022)
Triticale	21,0	3,0	6,0	Souza (2004)
Tungue	7,2	4,2	30,5	Potes et al. (2012)
Urucum	10,0	2,4	17,2	Ferreira e Falesi (1989)
Uva	4,2	0,7	5,4	IPNI (2022)

Fonte: Adaptado de Guareschi et al. (2019).

De acordo com IBGE (2022), o peso médio da carcaça bovina no Brasil que em 2000 era de 228 kg evolui para 238 kg em 2010 e alcançou 262 kg em 2020 um notório crescimento. Entende-se que o fator de aproveitamento de carcaça pode ter variado ao longo deste período, porém, neste trabalho se utiliza o mesmo em todos os anos. O teor de N, P e K médio de um bovino vivo na idade de pré-abate no Brasil além do aproveitamento de carcaça são descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Fator de aproveitamento de carcaça e teores médios corporal de N, P, K de um bovino vivo pré-abate no Brasil.

Fator	Valor (%)	Referências
Aproveitamento de carcaça	50	Scot Consultoria (2014).
N	3	Bonilha et al. (2008), Goulart et al. (2008), Paulino (2002).
P	0,8	Paulino (2002), Marcondes et al. (2009), Mourão (2007).
K	0,2	Paulino (2002), Marcondes et al. (2009), Mourão (2007).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Aplicando o fator de aproveitamento de carcaça ao peso nacional das carcaças produzidas anualmente se obtém a massa total do animal vivo retirado do campo destinado ao abate. Deste modo, ao se aplicar os teores de N, P e K neste dado se obtém o quantitativo dos nutrientes oriundos de pastagens exportados do sistema solo-planta na forma de carne bovina.

c) Etapa 3 – Exportação total de nutrientes (Extn): fonte dos dados de atividade

O IBGE (2022) contabiliza a produção anual de todas as culturas no país que representem pelo menos 1% do valor da produção nacional ou da área agrícola ocupada no país. Ao todo, 97% da área de produção agrícola do Brasil tem suas produções contabilizadas pelo IBGE (2022), sendo sua série iniciada em 1974. Esta será a fonte de dados utilizada para a obtenção da produção nacional de todas as culturas agrícolas quantificadas neste estudo, presentes na Tabela 5.

O IBGE (2022) contabiliza o peso total das carcaças e número de bovinos abatidos no Brasil trimestralmente desde 1997. Estes dados são considerados para a quantificação do total de carcaça bovina anualmente produzida no país.

d) Etapa 4 – Exportação total de nutrientes (Extn): cálculo da contribuição final

Com os dados presentes nas Tabelas 5 e 6 pode-se então realizar os cálculos da estimativa de N, P e K exportados do sistema via produção agrícola e produção de carne bovina.

No caso das produções agrícolas, basta multiplicar o respectivo teor de N, P e K a cada produção informada por IBGE (2022).

No caso de bovinos, deve-se utilizar o Fator de aproveitamento de carcaça para estimar o peso do bovino vivo destinado ao abate. Para isto, é utilizado o peso total de carcaça gerada no Brasil e dividido pelo fator de aproveitamento de carcaça. Após este procedimento, basta aplicar o teor médio de N, P e K em bovinos para quantificar o total de nutrientes exportado do balanço devido a esta fonte.

3.1.5 Perdas por volatilização do N

Entre os fertilizantes sintéticos nitrogenados utilizados no país, de acordo com os anuários de ANDA (2022) aproximadamente metade é ureia, variando entre 45 a 56% do total de fertilizante anual aplicado no Brasil entre 2000 e 2020. A Tabela 7 descreve resultados obtidos em trabalhos nacionais sobre volatilização de NH_3 , maior forma de volatilização destes fertilizantes, apesar de também ocorrer na forma de NO_x em menor escala (SILVA et al., 2017; IPCC, 2019). É possível observar que a volatilização do N na ureia é muito superior às demais formas dentre os trabalhos descritos. No entanto, são diversas variáveis que influenciam na volatilização e mais estudos são necessários no setor para o entendimento do comportamento e volume deste fenômeno ao longo do país.

Os resultados da Tabela 7 mostram que em média 37,2% do N em ureia é perdido na forma de NH_3 . Para os demais fertilizantes este valor varia ao redor de 5,3%. As guias-protocolos do IPCC (2019) sugerem um fator de perdas de N para ureia de 15% e de 11% para fertilizantes nitrogenados no geral se não houver hipótese de desagregação. No entanto, este fator pode estar subestimado se aplicado no Brasil, visto os fatores mais elevados encontrados em literatura nacional, isto pode ocorrer devido ao clima mais quente e úmido favorecer a volatilização do nutriente.

Tabela 7. Volatilização de N na forma de NH_3 após aplicação de diversas fontes de fertilizantes sintéticos nitrogenados em diferentes culturas, solos e doses no Brasil.

Cultura	Solo	Fonte	Dose (kg N/ha)	Forma	% N- NH_3 volatilizada	Referência
Cana-de-açúcar (colheita crua)	Argissolo arenoso	Ureia	100	Superfície	36	Costa et al. (2003)
Milho	Argissolo Vermelho Distrófico arênico	Ureia	50	Superfície	17	Da Ros et al. (2005)

Continua...

Continuação da **Tabela 7.**

Cultura	Solo	Fonte	Dose (kg N/ha)	Forma	% N-NH₃ volatilizada	Referência
Milho PD (resíduos de ervas espontâneas)	Latossolo argiloso	Ureia	90	Superfície	77	Lara-Cabezas e Souza (2008)
Milho PD (resíduos de ervas espontâneas)		Sulfato de amônio	90	Superfície	8	
Milho PD (resíduos de aveia)	Latossolo argiloso	Ureia	50	Superfície	41	Lara Cabezas et al. (1997a)
Milho PD (resíduos de aveia)	Latossolo argiloso	Ureia	100	Superfície	76	Lara Cabezas et al. (1997b)
Milho PC		Ureia	100	Superfície	31	
Milho PC		Sulfato de amônio	100	Superfície	15	
Pastagem capim Tanzânia	Argissolo vermelho argiloso	Ureia	40	Superfície	48	Martha Jr. et al. (2004)
Pastagem capim Tanzânia		Ureia	80	Superfície	41	
Pastagem capim Tanzânia		Ureia	120	Superfície	42	
Soja	Latossolo vermelho amarelo	Ureia	200	1/2 sulco, 1/2 superfície	25	Hungria et al. (2006)
Capim-elefante Ano 1	Argissolo	Ureia	80	Superfície	59	Morais et al. (2013)
Capim-elefante Ano 2		Ureia	100	Superfície	42	
Capim-elefante Ano 3		Ureia	80	Superfície	45	
Citrus	Argissolo	Nitrato de amônio	6,7	Superfície	10	Cantarella et al. (2003)
Citrus		Ureia	6,7	Superfície	20	
Citrus		Ureia	33,3	Superfície	24	
Citrus		Ureia	86,7	Superfície	31	
Cana-de-açúcar	Diversos (não informado)	Sulfato de amônio ou nitrato de amônio	80 a 100	Superfície	0,2	Cantarella et al. (2008)
Cana-de-açúcar		Ureia	80 a 100	Superfície	14	
Milho PD	Latossolo	Ureia	120	Superfície	3,2	Martins et al. (2015)
Milho PD		Nitrato de cálcio	120	Superfície	2,2	

Continua...

Continuação da **Tabela 7.**

Cultura	Solo	Fonte	Dose (kg N/ha)	Forma	% N-NH₃ volatilizada	Referência
Milho PD		Ureia granulada	150	Superfície	39	Souza (2015)
Milho PD	Latossolo Vermelho	Ureia perolada	150		38	
Milho PD	Amarelo Distrófico	Sulfato de amônio	150		1	
Milho PD		Nitrato de amônio	150		0,7	
Milho PD	Latossolo Vermelho Distrófico	Ureia	100/150/200	Superfície	31,2	Cancellier et al. (2016)
Média Ureia (desv. pad.)					37,2	18,2
Média Outros fert. Sint. (desv. pad.)					5,3	5,8

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além de fertilizantes sintéticos, a vinhaça e dejetos animais são aplicados ao solo na forma de fertilizantes. No caso da vinhaça, Paredes et al. (2014) registrou que o fluxo de perda por volatilização do N na forma de NH₃ não ocorre de maneira significativa na vinhaça, portanto, sua perda pode ser tratada como desprezível.

Já com relação a perdas de N pela volatilização dos dejetos animais aplicados ao solo na forma de adubos orgânicos ou diretamente depositados, o IPCC (2019) sugere que 20% do N é perdido pela sua volatilização na forma de NH₃ ou Nox após sua aplicação no solo. Entende-se que muitas vezes durante o processo de transformação do dejetos animal em adubo orgânico, também ocorrem perdas. Neste caso há muita variação de acordo com o tratamento que os dejetos animais são submetidos. No caso de dejetos de frangos e galinhas manejados é sugerido que 40% do N é perdido durante o tratamento e transformação em adubo. No caso de suínos, há uma grande variação de fator de perdas dependendo do tratamento utilizado, podendo ser de 5% no caso de digestores anaeróbicos, 40% em casos lagoas anaeróbicas descobertas e 60% caso seja compostagem. Dados sobre a destinação dos dejetos animais e seus tratamentos no Brasil são muito escassos, e há impossibilidade de se enquadrar de maneira eficaz os dejetos em algum tratamento específico, ou até mesmo em não ter sido realizado tratamento (sendo aplicado diretamente no solo). Acredita-se que nem todo o dejetos recebe tratamento para a aplicação na forma de fertilizante, e seria uma consideração não real considerar toda a perda sugerida pelo IPCC.

Apesar do entendimento de que há processos que levam a perda significativa de N devido a volatilização deste em fertilizantes sintéticos e na composição e pós aplicação de fertilizantes orgânicos de origem animal, este trabalho, seguindo a metodologia de cálculo de balanço das guias de OECD (2007 a, b) não desconta as perdas por volatilização do N no balanço do nutriente, isto significa que é considerado que 0% do N é perdido devido a sua volatilização. Esta consideração implica que o balanço do N pode estar um pouco superestimado, entretanto, esta metodologia é aplicada numa visão conservadora, em que principalmente na ótica da problemática ambiental, considerar perdas poderia subestimar local ou nacionalmente seu balanço. Além disto, se mantém o proposto pela metodologia da OECD (2007 a, b) que é aplicado em diversos países, possibilitando comparações mais justas entre o Brasil e estes.

3.1.6 Base de dados utilizada

Esta seção tem como objetivo expor as fontes e formatos dos dados obtidos e utilizados no trabalho de maneira mais detalhada, além de informar a origem e unidade dos dados e pequenas adaptações e estimativas destes com a finalidade de possibilitar os cálculos de estimativa. As informações são explanadas por fonte de contribuição no Ctn/Extn.

a) Fertilizantes sintéticos

Dados de quantidade de N, P₂O₅ e K₂O na forma de fertilizantes sintéticos entregue ao consumidor final são informados anualmente com dados desagregados por unidade de federação pela ANDA em seus anuários, estes dados se referem a toda produção de fertilizantes produzidos sinteticamente contabilizados pelo órgão. Dentre os fertilizantes contabilizados pela ANDA constam Sulfato de amônio, ureia, nitrato de amônio, DAP, MAP, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfato, fosfato natural, cloreto de potássio dentre outros. Todos estes estão incluídos nas quantidades de fertilizantes sintéticos informada. Foram obtidos os anuários ao longo de toda a série temporal estudada.

b) Fertilizante orgânico vinhaça

Neste caso, os dados base é a produção de etanol do país. A ÚNICA (2021) fornece dados de produção estadual de etanol por safra. Foi considerado o último ano da safra como o ano de referência para que a vinhaça produzida a partir deste etanol seja aplicada ao solo na forma de adubo orgânico. Por exemplo, na safra 2010/2011 é considerado que toda a produção de vinhaça referente a esta safra é aplicada ao solo no ano de 2011.

A série histórica da ÚNICA (2021) compreende toda a série temporal do estudo e todos os dados de produção de etanol necessário.

c) Dejetos de galináceos

Esta fonte tem como dados básicos a população de galináceos. O IBGE (2022) informa anualmente as populações estaduais de galináceos totais e de galinhas, portanto, foi considerado a população de galinhas diretamente informada e por diferença entre a população de galináceos totais e galinhas foi obtido a população de frangos (galos foram desconsiderados e estão computados como frangos dentro desta população devido a impossibilidade de desagregação). Toda a série histórica durante o período deste estudo foi obtida.

d) Dejetos de suínos

Similar ao que ocorre com os galináceos, o IBGE (2022) informa anualmente a toda a população de suínos no Brasil desagregado por estados. Esta população informada foi diretamente considerada como a população de suínos do país. Toda a série histórica durante o período deste estudo foi obtida.

e) FBN

Neste estudo é considerado que as culturas de soja, amendoim, ervilha, cana-de-açúcar e feijão contribuem para a incorporação de nitrogênio no solo devido a FBN. Como a parametrização da contribuição da FBN destas culturas foi feita com relação ao total de nutriente presente em sua produção agrícola, esta se torna o dado base para a estimativa. Deste

modo, a produção agrícola destas culturas, informadas anualmente pelo IBGE (2022) já desagregadas por unidade de federação é utilizada. Toda a série histórica durante o período deste estudo foi obtida.

f) Sementes e mudas

Foi quantificado a contribuição de Ctn de sementes/mudas apenas para as principais culturas do país. São elas: Arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e trigo. Neste caso os dados base é a área plantada destas culturas, que também são informadas por IBGE (2022) de maneira desagregada por estados. Todos os dados necessários da série histórica foram obtidos.

g) Deposição atmosférica

Os dados base neste caso é a área destinada a agricultura e pastagens em cada estado. O MapBiomas (2022) fornece as áreas de agricultura temporária, áreas de agricultura permanente, áreas de pastagem, e áreas de mosaico entre pastagem e agricultura (onde não foi possível distinguir entre uma das opções). Estas áreas são informadas anualmente desagregadas por estado, portanto, a soma de todas estas são as áreas de agricultura e pastagem utilizadas como dado base nas estimativas. Todos os dados referentes a série histórica do estudo foram obtidos.

h) Produções da agricultura

Todas as culturas que possuem sua produção contabilizadas por IBGE (2022) foram consideradas no balanço. Este informa os dados de produção anual (em toneladas) de diversas culturas agrícolas desagregados por unidade de federação. Estas são divididas em principais culturas agrícolas e outras culturas agrícolas.

São consideradas principais culturas agrícolas: Arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja, trigo. Já as outras culturas agrícolas são: abacate, abacaxi, açaí (desde 2015), algodão, alho, amendoim, aveia, azeitona, banana, batata-doce, batata-inglesa, borracha (látex), cacau, café, caju, caqui, castanha de caju, cebola, centeio, cevada, chá-da-índia, coco-da-Bahía, dendê, erva-mate, ervilha, fava, figo, fumo, girassol (desde 2005), goiaba, guaraná, juta, laranja, limão, linho, maçã, malva, mamão, mamona, manga, maracujá, marmelo, melancia, melão, noz, palmito, pêra, pêssego, pimenta-do-reino, rami, sisal, sorgo, tangerina, tomate, tritcale, tungue, urucum e uva.

O IBGE (2022) fornece os dados ao longo de toda a série temporal estudada. Entretanto, algumas culturas tem seus valores referentes ao ano 2000 informados em número de frutos (número de cachos no caso da banana) ao invés de peso em toneladas. São estas: Abacate, banana, caqui, figo, goiaba, laranja, limão, maçã, mamão, manga, maracujá, marmelo, melancia, melão, pera, pêssego e tangerina. Nestes casos, para a realização dos valores estaduais do ano 2000 dessas frutas, foi utilizado $\{[\text{rendimento médio (kg/ha) de 2001}]/[\text{rendimento médio nacional (frutos/há) 2000}]\} \times [\text{Produção estadual (frutos/ha) no ano 2000, em cada estado}]$.

A cultura do abacaxi e coco são informadas em número de mil frutos, portanto, foi necessário estimar o valor em toneladas destas produções para os estados ao longo de toda a série histórica. Esta estimativa foi feita atribuindo um peso médio para os frutos e multiplicando pelo número de frutos em cada estado. Para o abacaxi, foi utilizado o peso médio de 1,5 kg e do coco coincidentemente também de 1,5 kg. Esta estimativa de peso foi realizada comparando o rendimento por área do IBGE (2022) em mil frutos/ha com FAOSTAT (2021) em t/há para o

Brasil. Em todos os anos entre 2000 e 2020 o peso médio resultante dessa comparação, tanto para o abacaxi como para o coco foi de 1,5 kg por fruto, portanto, 1,5 toneladas por mil frutos.

Deste modo, após estas adaptações foi possível se obter todos os dados necessário para as estimativas de Extn devido a produção de culturas agrícolas ao longo de toda a série temporal do estudo.

i) Carne bovina

O IBGE (2022) fornece dados trimestrais do total de carcaça de bovinos abatidos. Este montante foi considerado como toda a produção de bovinos do país. Para a obtenção dos dados anuais, foi somado a produção dos quatro trimestres referentes a seu respectivo ano, deste modo, obtido o montante de carcaça bovina abatida no Brasil em cada ano.

Alguns Estados possuem ausência de informação devido que apenas uma empresa cuida deste serviço no Estado e não se tem dados disponíveis, porém os dados nacionais estão completos. Portanto, nas condições em que esta situação ocorria o valor do Estado foi estimado da seguinte forma: A diferença entre a produção nacional e a soma dos estados relatados é o montante a ser distribuídos para os estados com informação ausente. Esta diferença foi distribuída da seguinte Forma: somou-se os valores informados pela última vez de cada Estado e proporcionalmente a representatividade de cada Estado neste valor, se distribuiu o excedente do ano. Por exemplo: No ano de 2006, Sergipe e Amapá não tiveram seus valores informados. O ano mais próximo que Sergipe tinha informado era 2005 (2007 também era ausente), já Amapá era em 2008. Portanto, soma-se o valor de carcaça abatida de Sergipe 2005 e Amapá 2008 e se obtém a proporção de representação de cada Estado nesta soma. Esta proporção é aplicada à diferença do somatório de carcaça do país e deste modo é estimado o montante destes dois Estados.

É uma metodologia não tradicional, porém devido as variações irregulares de ocultação em valores estaduais informados, foi uma alternativa que permitiu a obtenção de todos os valores necessários. Cabe destacar que estes Estados a nível de país não têm alto consumo de nutrientes.

Todos os anos da série histórica tiveram os dados coletados. Todos com o valor nacional devidamente informados, porém com relação aos valores estaduais, as seguintes Unidades da Federação (ano) apresentam estimativa segundo a descrição acima (todas as demais tiveram seus valores diretamente informados): Amazonas (2000-2004), Roraima (2000-2005), Amapá (2003,2006-2007, 2009-2020), Sergipe (2000-2001, 2004-2008, 2020), Distrito Federal (2000-2004, 2013, 2016-2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Balanço de Nutrientes no Brasil

4.1.1 Nitrogênio

No Brasil, dentro do período estudado de 2000 a 2020, o balanço total de N em áreas de agropecuária marca subidas graduais e constantes no montante de excedente no balanço (Balanço positivo), sendo o balanço bruto nos anos variando de 2.791 para 6.403 Gg, e por área, variando de 12,4 para 24,3 kg/ha de excedente. Enquanto as entradas de N entre o período registram um aumento de 168% variando de 6.240 Gg em 2000 para 16.746 em 2020, as saídas do balanço registram um aumento de 200%, variando de 3.449 em 2000 para 10.342 Gg de N em 2020. Apesar de proporcionalmente as saídas do balanço aumentarem numa escala maior que a entrada, o saldo de excedentes do balanço vem aumentando constantemente, e registram neste período de 20 anos um aumento de 129%.

A Tabela 8 descreve os resultados de entrada e saídas do balanço de N nas áreas de agropecuária no Brasil (Mais tabelas completas com todos os anos estão descritas em Apêndice A). É possível analisar que o excedente no balanço de N na agropecuária brasileira não é um resultado recente, ele ocorre constantemente ao longo de pelo menos 20 anos (período de tempo deste trabalho) e que proporcionalmente, apesar do montante de saída aumentar em proporção maior que a entrada, os valores de excedente estão em constante crescimento. Todavia, em 2000 o excedente de N corresponde a 45% das entradas, valores que são de 41% em 2005, 39% em 2010, 35% em 2015 e 28% em 2020. Portanto, apesar do leve aumento em 2020, de maneira geral pode-se concluir que, apesar de lenta, há uma tendência de proporcionalmente o volume de saída se aproximar do volume de entrada de N no balanço.

Tabela 8. Balanço de N em áreas de agropecuária no Brasil (Gg de N).

Fontes	2000	2005	2010	2015	2020
A-Fert. Sint.	1668	2201	2855	3533	5255
B-Vinhaça	65	77	128	142	177
C-Dej. galináceos	370	433	534	571	637
D-Dej. suínos	448	484	553	565	584
E-FBN	2383	3621	4910	6782	8354
F-Sementes	142	192	230	276	291
G-Dep. Atm.	1236	1329	1364	1399	1447
Entradas	6311	8338	10574	13267	16746
H-Principais cult. Agr.	2901	4134	5649	7613	9171
H-Outras cul. Agr.	313	371	368	533	702
I-Carne Bov.	234	381	419	450	469
Saídas	3449	4886	6436	8595	10342
Balanço	2863	3452	4138	4672	6403
Balanço kg/ha	12,7	14,3	16,7	18,4	24,3

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em termos absolutos a realidade é que os montantes dos excedentes vêm crescendo. E com o crescimento das produções agrícolas e pecuárias, a cada ano o montante de N excedente aumenta. A Figura 3 ilustra as maiores contribuições em entradas de N no balanço. Vale ressaltar que as figuras elaboradas tem o papel de destacar graficamente as fontes mais importantes, dando ênfase a estas, portanto, a leitura das fontes menos importantes pode ficar

prejudicada devido a escala do gráfico, porém, o propósito é mostrar que estas são de menor relevância para o balanço. É possível perceber que o maior contribuinte é a FBN que registra 8.354 Gg em 2020, seguida da aplicação de fertilizantes sintéticos nitrogenados (5.255 Gg em 2020) e deposição atmosférica (1.447 Gg em 2020). Todas as outras fontes tem importância bem menor comparada as 3 principais contribuidoras, e com o passar dos anos, cada vez mais estas fontes vão se tornando mais insignificantes quando relacionadas às 3 primeiras. Em 2000 as entradas no balanço devido a FBN, aplicação de fertilizantes sintéticos nitrogenados e deposição atmosférica do N totalizavam 84% do total, este valor alcança 86% em 2005 e 2010, 88% em 2015 e 90% em 2020, evidenciando com clareza que estas são as principais fontes de entrada de N no balanço.

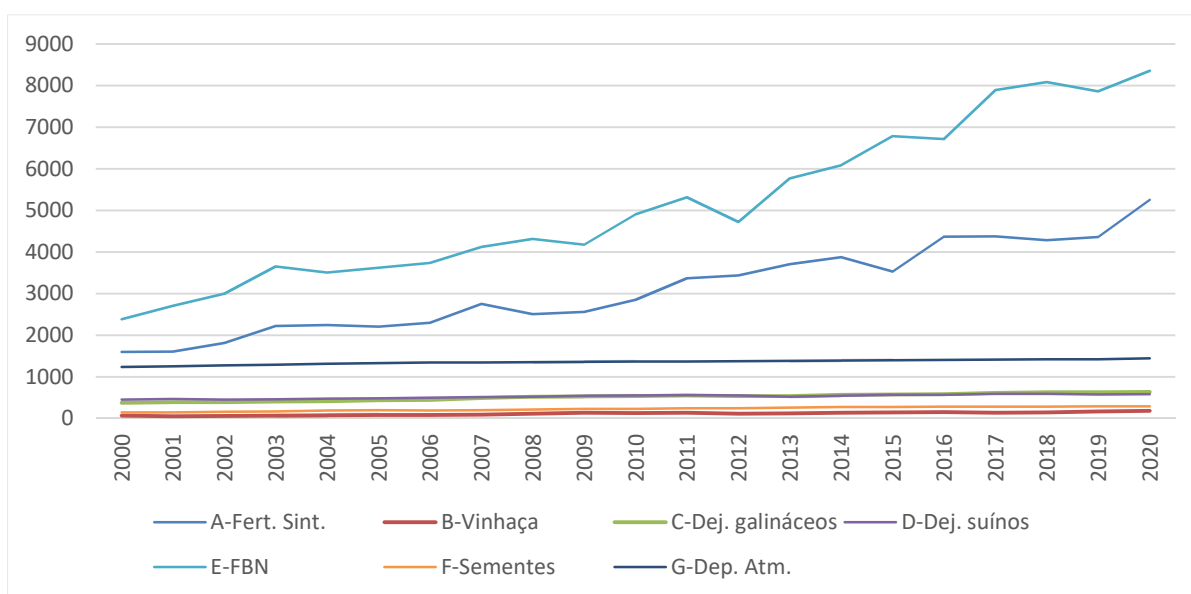


Figura 3. Entradas de N no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg).
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 4 mostra as saídas de N no balanço por fonte, e analisando a figura fica claro que as principais culturas agrícolas (arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e trigo) são as maiores responsáveis pela saída do nutriente do balanço, sendo em 2000 responsáveis por 84%, proporção que em 2005, 2010 já corresponde a 85, 88% alcançando 89% do total nos anos de 2015 e 2020. Enquanto as demais 61 culturas agrícolas contabilizadas como Outras culturas agrícolas e a produção de carne bovina são responsáveis pelo restante das saídas. A proporção outras culturas agrícolas/carne bovina varia de 0,8 a 1,5 nos últimos 20 anos notando que desde 2013, ano a ano a contribuição das Outras culturas agrícolas vem crescendo em relação a produção de carne bovina constantemente chegando ao valor máximo em 2020.

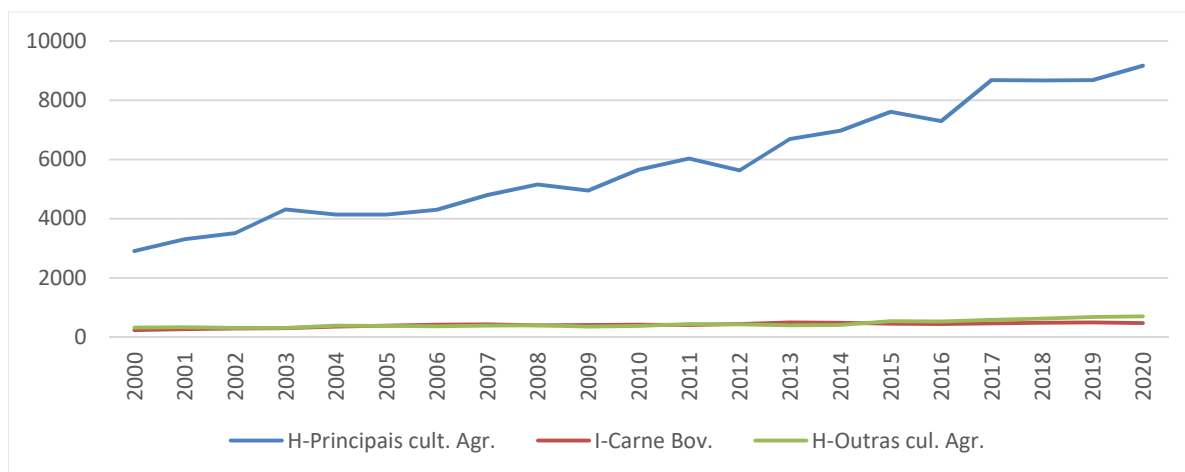


Figura 4. Saídas de N no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg).
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 5 é o gráfico do montante total de entradas e saídas no balanço de N nas áreas de agropecuária no Brasil. É possível notar que no geral, ambos os montantes estão sempre crescentes e que a diferença em termos absolutos entre entrada e saída, ou seja, o excedente de N vem aumentando constantemente, o que indica que pode estar havendo excedente do nutriente nos solos brasileiros, o que é uma preocupação no ponto de vista ambiental visto o potencial deste nutriente na contaminação de corpos d'água podendo gerar eutrofização, e também o seu potencial de ser emitido à atmosfera na forma do gás de efeito estufa N_2O ou nas formas de NH_3 , NO_2 e NO_3 que podem indiretamente contribuir para a formação de mais N_2O na atmosfera e deste modo também contribuir com a elevação deste na atmosfera.

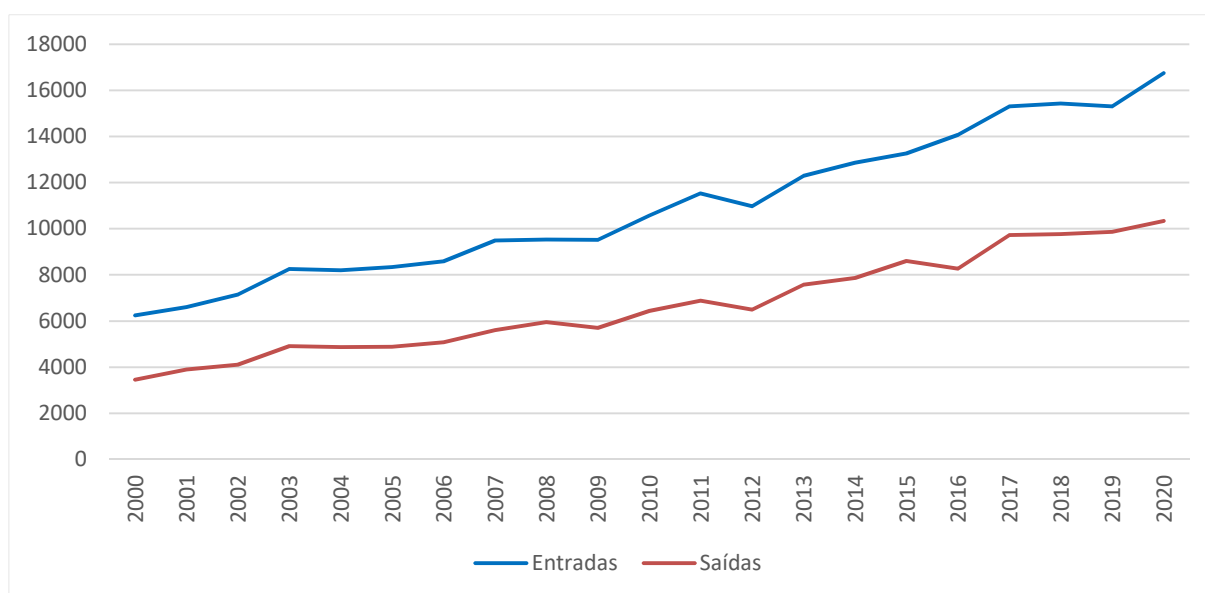


Figura 5. Montante total de entradas e saídas de N no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.2 Fósforo

O balanço de Fósforo nacional em solos agropecuários apresenta excedente do nutriente em todos anos do período estudado (2000 a 2020) além de apresentar um crescimento constante no valor absoluto do balanço total ou por área, evoluindo de 737 Gg (3,3 kg/ha) em 2000 para

1.396 Gg (5,3 kg/ha) em 2020. Um aumento de 89% no balanço total e de 61% no balanço por área agropecuária.

O montante de entradas de P no balanço era de 1.307 Gg em 2000 enquanto as saídas totalizavam 524 Gg. Já em 2020 os valores são de 3.076 e 1.430 Gg de entrada e saída respectivamente, ou seja, mesmo crescendo em proporções diferentes, 135% e 173% para entradas e saídas respectivamente, e as saídas crescendo a um ritmo maior, o excedente do balanço foi se elevando com o tempo (Tabela 9).

Tabela 9. Balanço de P em áreas de agropecuária no Brasil (Gg de P).

Fontes	2000	2005	2010	2015	2020
A-Fert. Sint.	1022	1267	1566	1923	2641
B-Vinhaça	5	6	10	11	14
C-Dej. galináceos	112	131	161	172	193
D-Dej. suínos	73	78	90	92	95
E-FBN	0	0	0	0	0
F-Sementes	28	35	47	54	55
G-Dep. Atm.	67	73	74	76	79
Entradas	1307	1590	1949	2329	3076
H-Principais cult. Agr.	417	568	803	1043	1220
H-Outras cul. Agr.	44	56	57	68	85
I-Carne Bov.	62	102	112	120	125
Saídas	524	725	972	1231	1430
Balanço	783	865	977	1098	1646
Balanço kg/ha	3,5	3,6	3,9	4,3	6,3

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com relação a entrada e P no balanço, o maior responsável é a aplicação de fertilizantes sintéticos fosfatados no solo, sendo em 2000 responsável por 78% do total, e alcançando 80% em 2005 e 2010 e 83 e 86% em 2015 e 2020, respectivamente. Em 20 anos a quantidade de fósforo na forma de fertilizante sintético aplicado ao solo no Brasil aumentou 2,6 vezes e em todos os anos do período estudado, mesmo que não houvesse nenhuma outra fonte de entrada no balanço, somente a fertilização sintética já seria suficiente para que houvesse excedente no balanço de P em todos os anos. Complementando a entrada no balanço, outras fontes importantes são os fertilizantes orgânicos oriundos de dejetos de suínos e aves, que em 2000 representavam 14% da entrada e em 2020 caiu para 9% do total. Porém é importante se ressaltar que em termos absolutos todas as fontes de entradas registram aumentos constantes ao longo dos anos, porém o aumento na aplicação de fertilizantes sintéticos fosfatados é desproporcionalmente maior que as demais fontes, fazendo com que ele seja cada vez mais significativo no balanço (Figura 6).

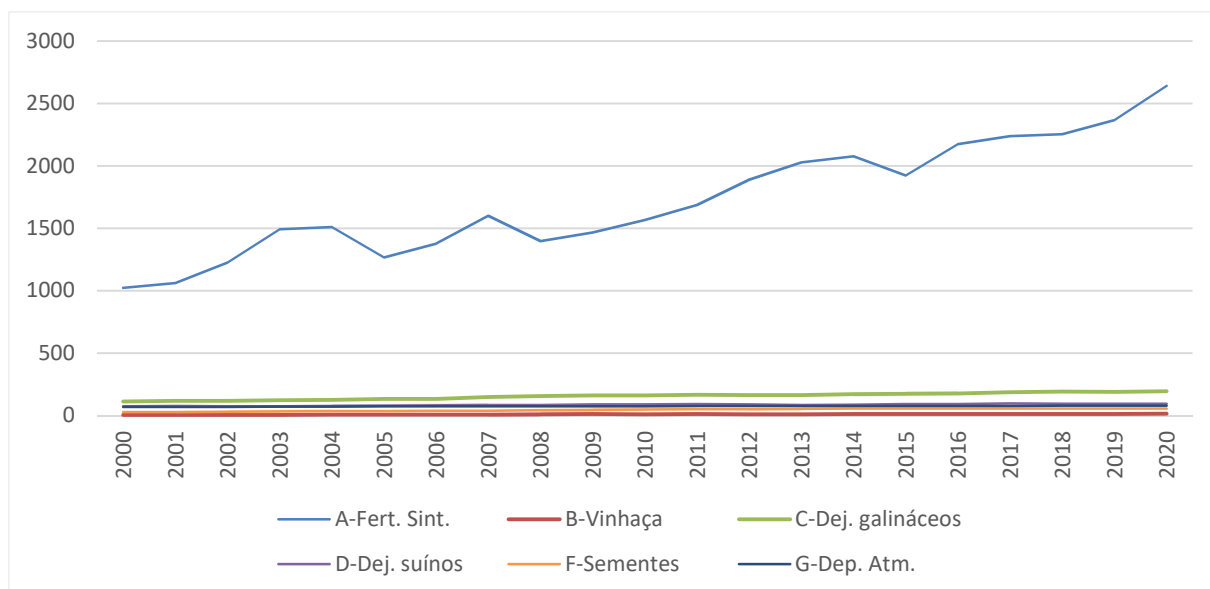


Figura 6. Entradas de P no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg).
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com relação a saídas do balanço a principal fonte são as produções das principais culturas agrícolas, responsáveis por 80% do montante em 2000, valor que em 2005 representa 78%, em 2010 83%, e em 2015 e 2020, 85%. A produção de carne bovina contribui com proporção entre 1,4 a 2 para um com relação a outras culturas agrícolas. Todas as fontes registram aumentos constantes (Figura 7).

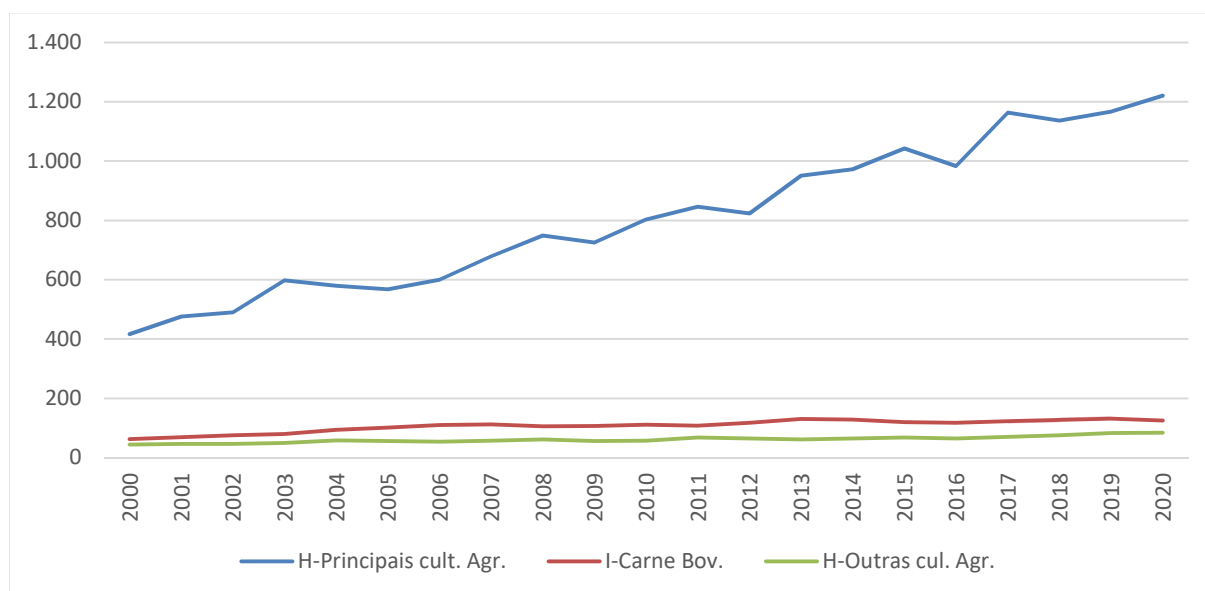


Figura 7. Saídas de P no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg).
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 8 é o gráfico com os valores absolutos do balanço de P durante o período. Nela é possível observar mesmo com o crescimento mais acelerado das saídas em relação às entradas, a diferença entre ambos cresce, aumento cada vez mais o excedente de P no balanço. Isto pode significar que está havendo uma incorporação excessiva de P no solo, o que contribuiria com possíveis contaminações de lençóis freáticos e demais corpos d'água podendo levar a

eutrofização dos mesmos. Além disto, parece que o montante de fertilizantes sintéticos aplicados, de maneira geral para o país está desproporcional ao retirado do balanço, o que indica que pode estar havendo uma super aplicação desnecessária de maneira geral ou localizada. Se isto ocorre, significa que recursos econômicos e naturais podem estar sendo utilizados de maneira desnecessária do ponto de vista produtivo à agricultura.

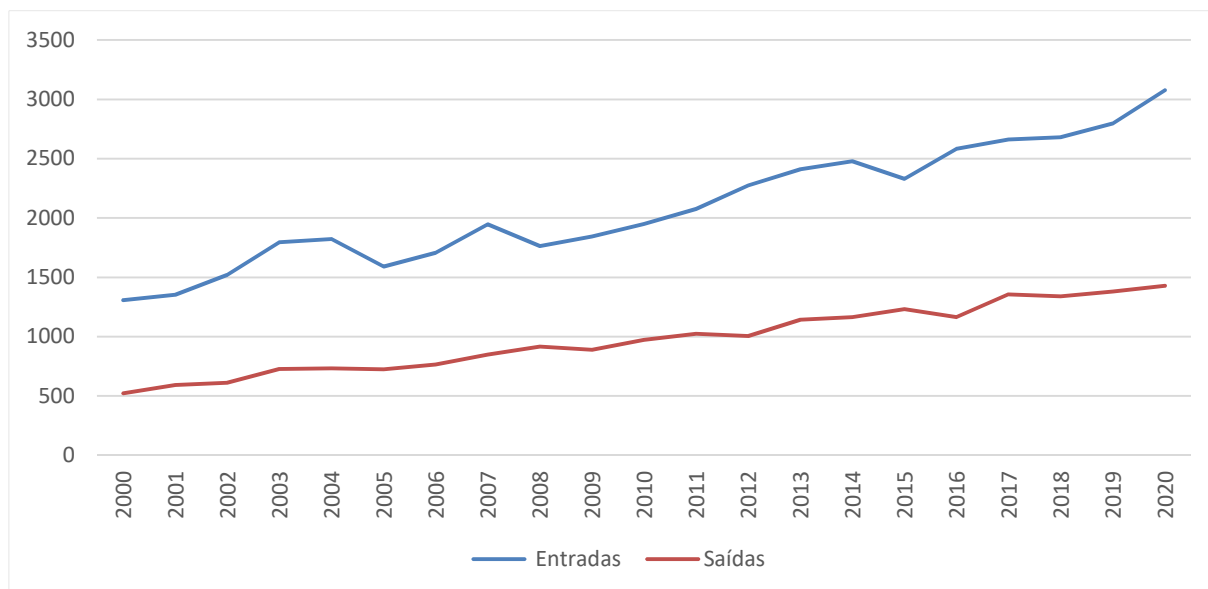


Figura 8. Montante total de entradas e saídas de P no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.3 Potássio

Assim como ocorre com N e P, o balanço de K registra aumentos de excedentes constantes ao longo do período estudado. Em 2000 o balanço do nutriente em solo agropecuário no país foi de 2.066 Gg excedentes, alcançando 2.390, 2.299, 2.833 e 3.819 Gg em 2005, 2010, 2015 e 2020, respectivamente. Analisando a Tabela 10 nota-se que ao longo dos 20 anos de período está registrado um aumento de 85% no balanço total excedente. Entretanto, no balanço por área utilizada o aumento é de 58% (aumentando de 9,2 kg/ha em 2000 para 14,5 kg/ha em 2020), o que também é um crescimento significativo, porém inferior ao balanço total. Isto pode indicar que, em partes, o aumento do crescimento dos excedentes do balanço pode se dar devido à expansão de área de agropecuária no país, na qual cresceu 17% no mesmo período de acordo com MapBiomass (2022), porém, não se pode negligenciar a importância do crescimento na utilização de insumos para a produção no campo, que foi alavancada juntamente com a elevação da produtividade agrícola nas últimas décadas. Como exemplo pode-se citar o rendimento médio na produção de soja no Brasil, que de acordo com IBGE (2022) em 2000 era 2,4 t/ha, valor que em 2010 foi de 2,9 t/ha alcançando em 2020, 3,3 t/ha.

Tabela 10. Balanço de K em áreas de agropecuária no Brasil (Gg de K).

Fontes	2000	2005	2010	2015	2020
A-Fert. Sint.	2202	2844	3157	4285	5610
B-Vinhaça	329	390	652	723	903
C-Dej. galináceos	197	234	291	312	347
D-Dej. suínos	196	211	242	247	255
E-FBN	0	0	0	0	0
F-Sementes	116	146	207	236	238
G-Dep. Atm.	697	749	769	789	815
Entradas	3737	4575	5317	6590	8169
H-Principais cult. Agr.	1279	1765	2574	3206	3679
H-Outras cul. Agr.	375	394	417	521	640
I-Carne Bov.	16	25	28	30	31
Saídas	1670	2184	3018	3757	4350
Balanço	2066	2390	2299	2833	3819
Balanço kg/ha	9,2	9,9	9,3	11,1	14,5

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 9 ilustra as contribuições de entrada no balanço de K. É notável que a fonte mais importante a aplicação de fertilizantes sintéticos, que sozinha é responsável por 59% das entradas em 2000 e 62, 59, 65 e 69% em 2005, 2010, 2015 e 2020, respectivamente. Já a deposição atmosférica varia de 19% em 2000 para 16, 14, 12 e 10% em 2005, 2010, 2015 e 2020, cabe ressaltar que a variação da quantificação de deposição atmosférica, tanto de K como de N e P depende exclusivamente à área agropecuária do país, e sua elevação é diretamente proporcional ao aumento destas áreas. Outra fonte de entrada relevante é a vinhaça. Diferente do balanço de N e P onde esta não apresenta muito impacto sequer atingindo 1,5% das entradas, e no balanço de K ela é responsável por 9, 9, 12, 11 e 11% em 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, respectivamente, sendo em 2020 a segunda principal fonte de entrada de K no balanço. Isto porque a vinhaça é um fertilizante orgânico rico em K e que foi considerada como fonte de entrada nos cálculos do balanço justamente por sua esperada contribuição nas estimativas deste nutriente. Os fertilizantes orgânicos a base de dejetos de suínos e aves juntos também tem importância próxima a vinhaça, correspondendo entre 11% em 2000 e 7% em 2020.

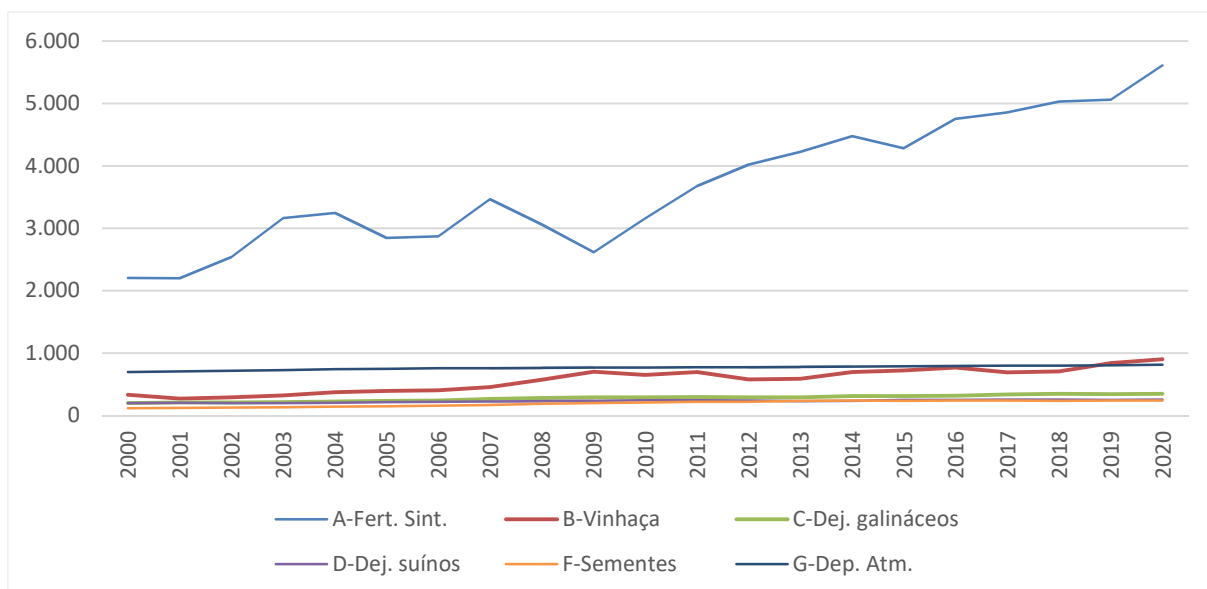


Figura 9. Entradas de K no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg).
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com relação as fontes de saídas de K no balanço, ilustrado na Figura 10, é possível observar que a produção de carne bovina é a fonte menos influente, isto porque os teores de K na carne bovina são muito baixos, sendo que em todo o período esta fonte jamais ultrapassa 1,2% do total de saídas do balanço. Já a fonte mais importante, assim como nos balanços de N e P são as principais culturas agrícolas, que são responsáveis por 77 e 81% nos anos de 2000 e 2005 respectivamente e alcançando o valor de 85% das saídas no balanço nos anos de 2010, 2015 e 2020.

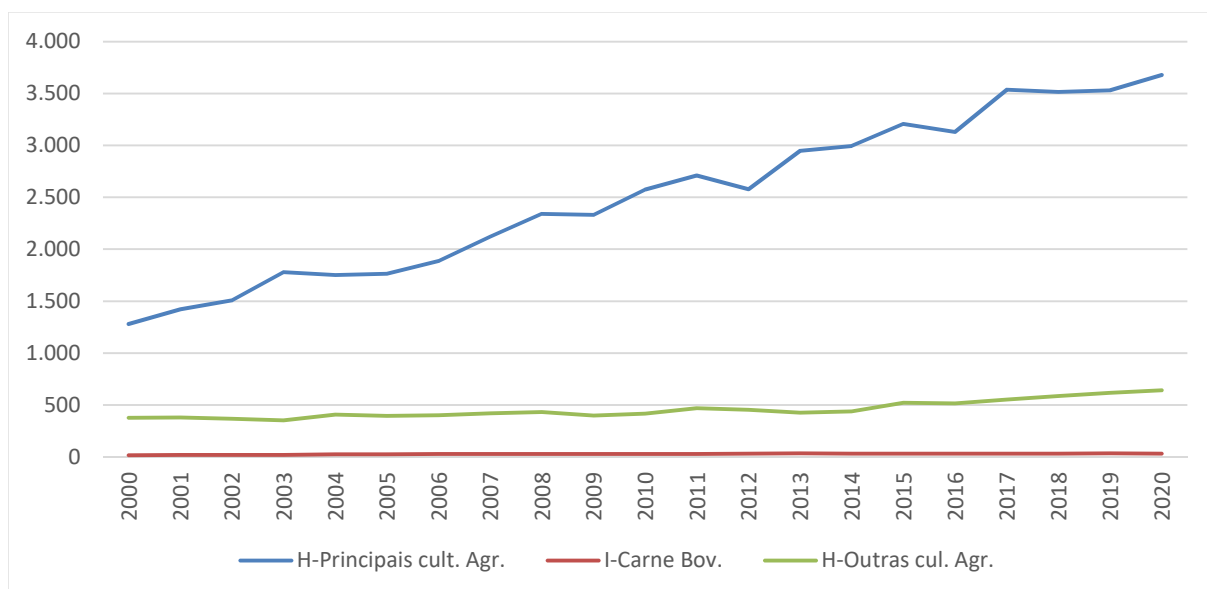


Figura 10. Saídas de K no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg).
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 11 é o gráfico de entradas e saídas de K no balanço, e como acontece em N e P, ambas seguem em franco crescimento, e tem como resultado balanços com excedentes cada vez maiores, apesar de o crescimento proporcional das saídas ser superior à entradas. Neste

caso, no entre 2000 e 2020 as entradas variaram de 3.737 para 8.169 Gg, um aumento de 119% enquanto as saídas foram de 1.670 para 4.350 Gg, 160% de aumento. Então, apesar das saídas dos nutrientes estarem crescendo a um ritmo maior, devido a escalado balanço no ano inicial do estudo (2000), continua a se obter balanços cada vez com mais excedentes no país. Apesar deste fato, o aumento relativo proporcionalmente maior das saídas pode indicar que estão o uso das fontes e suplementação nutricional no solo pode estar ocorrendo de maneira mais eficiente com o passar dos anos, porém, com a escala de produção e produtividade necessária hoje, mantém-se valores excedentes excessivos nos balanços de nutrientes.

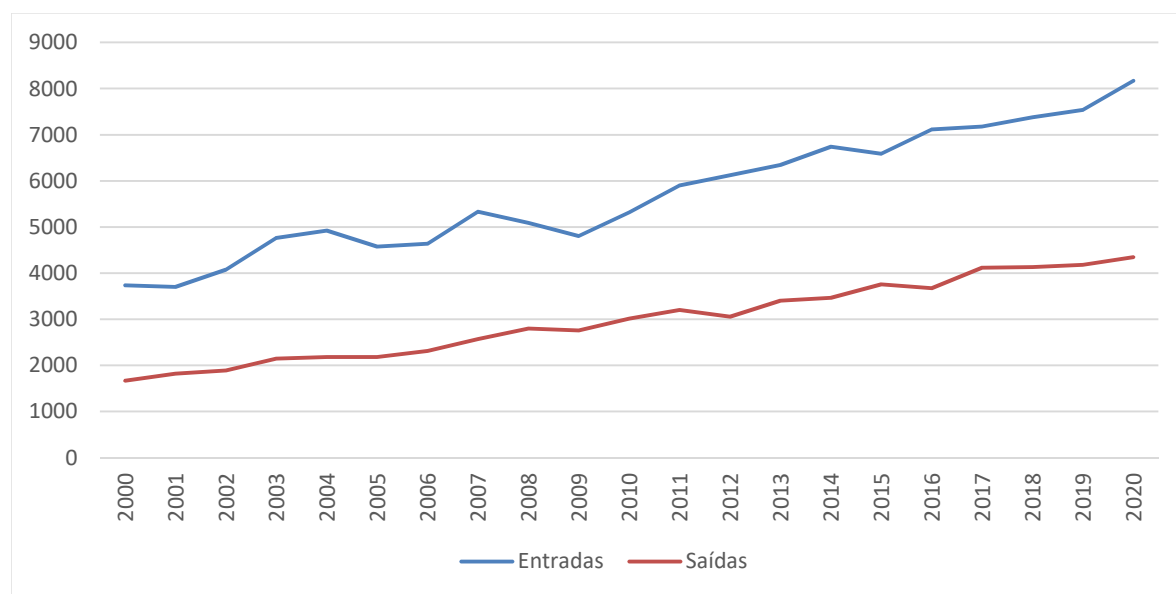


Figura 11. Montante total de entradas e saídas de K no balanço em áreas de agropecuária no Brasil entre 2000 e 2020 (Gg). Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2 Balanço de Nutrientes no Brasil e no Mundo

De acordo com OECD (2022), em média, os países que fazem parte do grupo registraram em 1990 um balanço de nutrientes em área agrícola excedente de 93 e 13 kg/ha de N e P, respectivamente. No Brasil, Cunha (2011) registra o primeiro balanço de N com excedente em 1994, e balanços de P regularmente positivos ao longo de todo o período estudado (1988 a 2010) tendo na década de 90 variado entre 4,4 e 9,6 kg/ha.

É importante ressaltar que Cunha et al. (2011) considera apenas áreas plantadas das 18 culturas agrícolas mais importantes segundo o autor como área agrícola, enquanto os balanços da OECD consideram área de pastagens somadas às áreas de cultura agrícola. Neste trabalho, os balanços estimados são chamados de balanço de nutrientes em áreas agropecuárias por considerar pastagens e a influência dos rebanhos bovinos e fertilizantes orgânicos originados de dejetos animais no balanço, entretanto é compatível com o balanço de nutrientes na agricultura da OECD (2022), sendo uma adaptação metodológica das suas diretrizes OECD (2007a, 2007b) a realidade nacional. Entretanto, a maioria dos balanços nacionais presentes na literatura, como Yamanda e Lopes (1998), Cunha et al. (2010, 2011, 2014, 2018), Guareschi et al. (2019) as áreas de pastagens e influência da produção animal assim como a deposição atmosférica não é tratada no balanço de nutrientes em áreas agrícolas. Deste modo, o balanço de nutrientes em áreas de agropecuária realizado neste trabalho se assimila ao balanço de nutrientes em áreas agrícolas realizado por OECD (2022), porém, se utilizando de dados nacionais, adaptando a metodologia para a realidade local e realizando a desagregação por

unidades da federação. Cabe ressaltar também que OECD (2022) apresenta balanços apenas de N e P, enquanto os demais trabalhos citados realizaram balanços de N, P e K.

Ao longo dos anos, os excedentes do balanço médio de N e P dos países da OECD vem reduzindo regularmente, apresentando balanços de N de 73, 61 e 63 kg/ha e em P de 10, 6 e 6 kg/ha respectivamente nos anos de 2000, 2010 e 2015, apresentando uma notável redução nos últimos 25 anos tanto em N como em P. Entretanto, há países que fogem a esta tendência, que é o caso da Nova Zelândia que entre 2000 e 2020 subiu de 37 para 66 kg/ha de N, um aumento de 29kg/ha, ou seja, somente o aumento do balanço da Nova Zelândia nos últimos 20 anos é equivalente a 212% do valor registrado pelo Brasil em 2020 estimado neste trabalho. Outros países que não reduziram seus excedentes de N nas últimas duas décadas são México, Suíça, Portugal, Polônia, Canadá, entre outros. Porém com o P, praticamente todos os países que compõem o grupo da OECD reduziram seus excedentes no balanço, com exceção para México e Suíça, porém ambos possuem em média um excedente de 4 kg/ha na última década e a Suíça especialmente registrou um grande declínio na década de 90 (OECD, 2022).

De acordo com OECD (2022) a estimativa de balanço de N e P no Brasil em 2019 são de 5 e 3,9 milhões de toneladas excedentes no país, sendo 21 e 17 kg/ha de N e P respectivamente. Neste trabalho as estimativas para o mesmo ano foram de 5,9 e 1,4 milhões de toneladas métricas correspondendo a 21 e 5,5 kg/ha de N e P, respectivamente.

Nota-se uma grande diferença em relação ao balanço de P, e isto se deve principalmente ao resultado da adaptação de uma metodologia de estimativa global as realidades nacionais. Na metodologia da OECD (2022) pode estar superestimando as entradas de nutrientes no balanço devido a dejetos animais manejados, isto fica evidente ao se observar que as entradas de P devido a dejetos animais manejados, sozinho, são de 3,4 milhões de toneladas enquanto todas as outras fontes somadas, incluindo fertilizantes sintéticos, resultas em 2,2 milhões. Neste caso, para OECD (2022) os dejetos animais são responsáveis por mais de 60% do total de entrada de P no balanço, enquanto na metodologia adaptada neste trabalho, no mesmo ano de 2019 são responsáveis por 10% das entradas, o que se acredita ser um valor mais razoável e condizente com a realidade brasileira. Muitos balanços nacionais inclusive sequer consideram esta fonte como entrada no balanço, casos de Yamanda e Lopes (1998), Cunha et al. (2010, 2011, 2014, 2018), Guareschi et al. (2019). Apesar de mais impactante no balanço de P, este também é o principal responsável pelas diferenças no balanço de N. Além deste fator, a adaptação com relação a colheita de pastagens, que no caso deste trabalho foi considerado como sendo integralmente destinada a alimentação de bovinos, sendo a produção de carne deste o montante de nutrientes originalmente contido em pastagens removidos do balanço, e devido a produção de bovinos no Brasil ser largamente de maneira extensiva, não se considerou que seus dejetos entram ou saem do balanço, portanto não há entradas de nutrientes devido a dejetos bovinos. Esta adaptação metodológica está explicada nas metodologias deste trabalho, e é outro fator que contribui para as divergências de valores com o relatado por OECD (2022). Além destes, é claro que a atualização de parâmetros e utilização de dados nacionais fornecidos por instituições locais como ANDA, IBGE, Mapbiomas e ÚNICA ao invés de dados de FAOSTAT e demais instituições internacionais também resultam em diferenças nos valores finais dos balanços.

Comparando os valores dos balanços em kg/ha de OECD (2022) com os valores estimados para o Brasil neste trabalho, observa-se que desde 2012 até 2019 dos países pertencentes a OECD apenas a Colômbia, Austrália e Islândia possuíam balanços com menos excedente de N que o Brasil. Com relação a P o panorama muda drasticamente com a maioria dos países tendo balanços menos excedentes em 2019, entre eles os Estados Unidos, Suíça, Suécia, Austrália, Canadá, Islândia, Letônia, República Tcheca, Hungria e México. Nota-se apenas Colômbia, Costa Rica, Coreia do Sul, Nova Zelândia, Portugal e Turquia apresentam balanços mais excedentes que o Brasil, entretanto alguns países como Bélgica, Dinamarca e Japão não tiveram seus balanços para este ano estimados até o momento, mas podem possuir

mais excedentes que o Brasil, com destaque para o Japão que em 2016 teve um excedente de 57 kg/ha de P, e por isto pode-se concluir que muito provavelmente em 2019 se mantinha consideravelmente com mais excedentes no nutriente que o Brasil.

Destaca-se referente aos balanços em kg/ha da OECD (2022) para o ano de 2019 entre os balanços mais elevados, no caso de N países como Coreia do Sul com 228 kg/ha, a Holanda com 166 kg/ha, a República Tcheca com 76 kg/ha. Entre países não pertencentes a OECD porém que possuem o balanço de N calculado pela organização destacam-se para o mesmo ano, o Vietnã com 127 kg/ha, a Índia com 134 kg/ha e a Croácia com 53 kg/ha. Já com relação ao balanço de P, dentre os países pertencentes a OECD com mais excedentes destaca-se a Coreia do Sul e o Japão que possuem montantes consideravelmente mais elevados que os demais, tendo a Coreia atingido em 2019, 44,3 kg/ha enquanto o último valor registrado pelo Japão é referente ao ano de 2016 com 57kg/ha como citado anteriormente. A Nova Zelândia com 9,6 kg/ha seria a terceira nação do grupo com mais excedentes em 2019 (considerando o Japão entre as duas primeiras). Entre os países não pertencentes ao grupo, alguns exemplos de grandes excedentes no balanço de P em 2019 são Vietnã, Índia e China, respectivamente com 31,9; 27,6 e 9,5. Cabe citar os balanços de N e P em 2019 de alguns outros países com economia emergente que ainda não são membros da OECD como o Brasil. Dentre estes a Rússia registra em N um excedente de 6,8 kg/ha e em P, 0,3 kg/ha; já a Argentina 3,1 e 2,2 kg/ha excedentes em N e P, respectivamente. A África do Sul registra balanços deficitários em N desde o início dos cálculos em 1990, tendo em 2019 um déficit em N de 7,3 kg/ha; em P seus balanços são próximos do equilíbrio desde 1990, atingindo em 2019 um excedente de 0,3 kg/ha. O Brasil apresenta balanços consideravelmente com mais excedentes que estes países em ambos os nutrientes.

Guareschi et al. (2019) em seu balanço bruto de nutrientes na agricultura em países da América Latina no ano de 2016 obteve o Brasil com excedentes de 1.530, 1.022 e 1.560 Gg de N, P, K, respectivamente, sendo o país com o balanço mais excedente em todos os nutrientes. Muitos países registraram déficits nutricionais, como a Argentina e Bolívia que registram déficit nos 3 macronutrientes, o que pode ser um sinal de alerta quanto a longevidade das fertilidades dos solos locais. Em comparação com os dados obtidos neste trabalho para o mesmo ano nota-se algumas diferenças entre os valores obtidos em N, P e K. Isto se deve principalmente que Guareschi (2019) considerou apenas a fertilizantes sintéticos e FBN como fontes de entrada no balanço, e as culturas agrícolas produzidas informadas por FAOSTAT (2022) como saída. Portanto, além de alguns parâmetros e a origem dos dados serem diferentes, a consideração de mais fontes no balanço leva a divergência entre os resultados obtidos, porém, como a principal fonte de entrada são os fertilizantes sintéticos e de saídas são as culturas agrícolas, há bastante similaridades entre estes trabalhos.

Nota-se algumas diferenças entre os resultados obtidos por Guareschi et al. (2019) e OECD (2022) para o mesmo ano. No caso do México, enquanto Guareschi et al. (2019) informa valores de 592 Gg excedentes para N e 51 Gg de déficit em P, já OECD (2022) informa excedentes para ambos os nutrientes respectivamente de 3.047 e 265 Gg para N e P, respectivamente. Valores consideravelmente diferentes também são observados para a Argentina, enquanto Guareschi calculou déficits de 1547 e 307 Gg de N e P, respectivamente, a OECD (2022) para o mesmo ano informa balanços excedentes para ambos os nutrientes de 205 e 226 Gg de N e P, respectivamente. Estas divergências evidenciam como a metodologia, parâmetros e fontes utilizadas influenciam intensamente nos resultados obtidos, e que há muito a ser estudado em pesquisas futuras no assunto.

Cunha et al. (2010) obteve para o ano de 2008 no Brasil valores excedentes de 652, 593 e 634 Gg de N, P e K respectivamente, enquanto este trabalho para o mesmo ano obteve valores de 3.581, 848 e 2.294 Gg excedentes de N, P e K, respectivamente. Como Cunha et al. (2010) assim como Cunha et al. (2011, 2014 e 2018) consideraram menos fontes no balanço, pode-se supor que este seja o principal fator de divergência entre as metodologias, em especial o fator

de deposição atmosférica, que no caso do N, que está classificada entre as 3 principais fontes de entrada de nutrientes no solo neste trabalho, e não é considerada nos trabalhos de Cunha citados assim como em Guareschi (2019), porém, é considerada por OECD (2022), que notoriamente apresenta valores de entrada de nutrientes mais elevados. Esta fonte é um ponto importante no balanço, e mais pesquisas nacionais sobre o tema e sua influência ao longo do território nacional seria importante para se realizar modelos de cálculos mais próximos da realidade no futuro.

Cunha et al. (2011) obteve balanços excedentes para o Brasil de 6,9; 9,6; 10,3 kg/ha de N, P e K respectivamente para o ano de 2000 e de 12,7; 8,3; 6,0 para 2010. Já Cunha et al. (2014) informa balanço do quadriênio 2009 a 2012 com excedentes de 3.970, 2.829 e 2.317 Gg de N, P e K, enquanto este trabalho calcula valores de 17.090, 4.256, 10.108 Gg excedentes para N, P e K respectivamente. Cunha et al. (2018), como resultado do quadriênio de 2013 a 2016 informa valores respectivamente para N, P e K no Brasil de 6.121, 3.859 e 4.128 Gg, enquanto os resultados para o mesmo período neste trabalho foram 20.200, 5.097 e 12.498 Gg de N, P e K, novamente apresentando excedentes muito maiores que o encontrado nos trabalhos de Cunha et al. (2014, 2018). Cabe destacar que apesar dos fertilizantes sintéticos e a FBN serem as principais fontes de entrada no balanço, os montantes devido a deposição atmosférica e aplicação de fertilizantes orgânicos foram significativos neste estudo, sendo parte importante das contribuições.

4.2.1 Estados – panorama nacional do balanço de NPK

A Tabela 11 informa os valores de entrada, saídas e balanço de N nos Estados Brasileiros em 2000, 2010 e 2020. Em 2020 o único Estado a apresentar balanço negativo foi o Pará com um saldo negativo de 24 Gg de N. Este Estado possui uma grande produção agrícola de açaí, rico em N e K, sendo o principal do país nesta cultura (IBGE, 2022). Entretanto, o IBGE começou a contabilizá-la apenas em 2015, portanto, é possível que o Pará, anteriormente a este ano tenha sua estimativa de superestimada, podendo ter valores de balanço maiores que os estimados especialmente nos anos próximos a 2015. O Amapá, Amazonas, Roraima e Acre apresentaram balanços com pouco excedentes, sendo inferior a 10 Gg de N, historicamente, desde 2010, estes constantemente apresentam balanços próximos a zero. Rondônia apresenta valores de kg de N/ha de área agropecuária abaixo dos 5 kg N/ha em todo o período estudado. Mato Grosso é o estado com maior balanço de N em 2020 com 935 Gg de N excedentes (28,3 kg de N/ha de área agropecuária), porém, Santa Catarina possui o maior balanço excedente por área agropecuária com 54,2 kg de N/ha, em 2010 o estado também lidera neste aspecto apresentando 59,5 kg de N/ha em 2020. É possível notar que houve aumento nos excedentes dos balanços na maioria dos estados, apenas Pará, Amapá, Amazonas, Acre e Rondônia reduziram os valores do balanços de N por área agropecuária, onde apenas os 3 primeiros efetivamente reduziram o balanço bruto de N. Dentre os balanços brutos mais significativos pode-se citar Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Bahia, Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso que em todos os anos da série estudada se revezam entre os 9 primeiros no quesito e são responsáveis respectivamente em 2000, 2010 e 2020 por 84, 86 e 88% do N excedente no balanço nacional.

Tabela 11. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de N estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg).

UF	2000				2010				2020			
	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)
RD	47	20	27	4,6	80	59	21	2,6	168	127	41	4,5
AC	11	5	6	4,7	14	10	3	1,8	17	9	8	3,7
AM	14	5	9	6,9	15	6	8	4,7	21	16	5	1,7
RR	4	1	3	6,0	8	3	5	7,1	19	12	7	6,9
PA	111	43	68	4,9	158	73	85	4,3	340	365	-24	-1,1
AP	2	0	2	7,2	3	2	1	4,4	6	5	1	3,5
TO	53	22	31	5,3	123	81	42	5,9	335	213	122	15,3
MA	107	48	59	9,8	173	105	68	8,6	367	213	154	17,2
PI	50	18	32	13,2	104	59	45	15,7	258	172	86	24,5
CE	54	30	24	7,0	61	18	42	11,0	65	22	43	12,4
RN	25	8	17	7,7	27	9	19	9,1	31	10	22	10,4
PB	31	13	18	7,4	36	9	27	11,3	41	11	30	12,1
PE	79	29	51	11,6	101	35	66	15,5	98	28	70	15,4
AL	68	34	35	16,4	75	30	45	22,5	61	22	39	18,5
SE	17	9	8	5,2	33	21	11	7,1	34	17	17	10,1
BA	349	168	182	8,6	530	292	238	10,6	781	452	329	13,8
MG	680	228	452	13,5	1037	406	630	18,8	1552	654	897	26,0
ES	66	28	38	11,5	101	26	75	23,4	128	24	104	32,4
RJ	35	11	24	8,9	35	12	23	9,0	30	6	23	9,1
SP	862	435	428	23,6	1249	714	535	29,9	1690	881	809	45,5
PR	967	590	377	27,9	1581	1156	425	31,8	2235	1534	701	52,6
SC	263	110	152	33,9	419	172	247	54,2	486	203	282	59,5
RS	664	452	212	19,6	1338	848	490	43,6	1664	888	777	59,1
MS	356	212	145	7,4	624	434	190	9,3	1171	842	329	15,8
MT	845	587	258	10,7	1725	1260	464	15,0	3507	2572	935	28,3
GO	532	333	199	10,0	901	580	321	15,4	1601	1016	585	27,2
DF	17	9	8	32,8	25	16	9	36,2	38	27	12	44,6

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 12. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de P estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg). informa os valores referentes ao balanço de P em solos agropecuários. Nota-se que os estados da região Norte no país destacam-se com valores de balanço próximo a neutralidade, entretanto, Pará e Tocantins tiveram expressivos aumentos no excedente da última década, chegando a 25 e 45 Gg respectivamente. Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso representam balanços acima de 100 Gg em 2020, e são os maiores excedentes do país se revezando entre as primeiras colocações neste aspecto ao longo dos anos. Destaca-se São Paulo como um estado com bastante variação não linear no balanço de P, sendo que em 2000 o Estado apresentou 5,4 kg/ha no balanço de P em áreas agropecuárias, este valor regrediu para 1,3 kg/ha em 2010 e em 2020 foi de 5,1 kg/ha, muito afetado pela subida dos preços internacionais dos fertilizantes.

Tabela 12. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de P estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg).

UF	2000				2010				2020			
	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)
RD	5	3	1	0,2	10	11	-1	-0,2	19	20	-1	-0,1
AC	1	1	0	0,1	1	2	-1	-0,6	2	2	0	-0,1
AM	2	1	1	0,8	2	1	0	0,3	2	2	1	0,3
RR	1	0	0	0,6	1	1	1	1,1	2	2	1	0,9
PA	14	8	6	0,4	18	14	4	0,2	58	33	25	1,1
AP	0	0	0	1,3	1	0	0	1,4	1	1	0	0,2
TO	7	4	3	0,6	19	11	8	1,1	72	27	45	5,7
MA	20	7	12	2,1	39	14	25	3,2	78	26	52	5,8
PI	9	3	6	2,5	23	7	16	5,6	43	21	23	6,5
CE	7	6	2	0,5	9	4	5	1,3	10	4	6	1,8
RN	4	2	2	1,0	4	2	2	0,9	5	2	3	1,3
PB	4	3	1	0,5	4	2	2	0,9	5	3	3	1,0
PE	12	7	5	1,2	15	9	6	1,3	16	7	9	2,1
AL	10	9	1	0,4	10	8	2	0,8	10	6	4	1,9
SE	2	1	1	0,5	6	4	2	1,0	8	4	4	2,6
BA	67	22	46	2,2	119	38	81	3,6	137	54	84	3,5
MG	148	36	112	3,3	192	69	123	3,7	282	101	180	5,2
ES	9	4	6	1,7	14	5	9	2,7	18	4	14	4,4
RJ	5	3	2	0,8	5	3	2	0,7	4	2	2	0,9
SP	191	93	98	5,4	198	174	24	1,3	283	193	90	5,1
PR	206	77	129	9,6	264	154	110	8,2	401	191	210	15,8
SC	56	19	37	8,3	77	27	50	10,9	96	28	68	14,3
RS	153	64	89	8,3	238	112	126	11,2	378	115	263	20,0
MS	71	32	39	2,0	99	63	36	1,8	204	116	89	4,3
MT	172	69	103	4,3	392	149	243	7,9	612	321	291	8,8
GO	124	47	76	3,8	184	84	100	4,8	320	144	175	8,2
DF	5	1	4	14,2	5	2	3	10,4	7	4	4	13,9

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 13 são os resultados do balanço de K em áreas destinadas a agropecuária no Brasil nos anos de 2000, 2010 e 2020. Destaca-se o Pará, que apresentava em 2010 um balanço excedente de 61 Gg e se tornou o único balanço negativo em 2020, a produção de Açaí, rico em N e K (MENEZES et al., 2008), que vem crescendo a cada ano pode ser responsável por esta mudança. O IBGE começa a computar sua produção apenas em 2015, e deste ano até 2000 houve um aumento de 39% na produção (IBGE, 2022). O Estados de Amazonas, Amapá, Roraima, Acre e Sergipe juntamente com o Distrito Federal apresentam ao longo de todo o período excedentes inferiores a 10 Gg, tendo Amazonas apresentado um pequeno déficit em 2000. Muitos Estados apresentam ao longo de todo o período excedentes superiores a 100 Gg por ano, são eles Bahia, Mato Grosso do Sul, Paraná, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, estes se revezam entre as 8 primeiras colocações aos longo dos anos.

Tabela 13. Entrada (Ent), saída (Sai) e balanço (Bal) de K estaduais nos anos de 2000, 2010 e 2020 (Gg).

UF	2000				2010				2020			
	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)	Ent	Sai	Bal	Bal (kg/ha)
RD	24	10	15	2,5	36	16	20	2,5	62	35	27	3,0
AC	6	2	4	2,7	7	3	4	2,1	9	3	6	2,7
AM	7	8	0	-0,1	8	4	4	2,1	12	11	1	0,4
RR	2	1	2	3,5	5	1	4	5,1	7	4	3	2,6
PA	65	28	38	2,7	94	34	61	3,0	178	199	-21	-1,0
AP	2	0	2	5,6	2	1	2	6,2	4	1	2	6,6
TO	29	6	24	4,0	50	23	27	3,9	163	65	98	12,2
MA	55	17	39	6,4	92	36	56	7,1	189	68	121	13,5
PI	26	6	19	8,0	53	20	33	11,6	111	54	57	16,2
CE	26	15	10	3,0	30	13	17	4,4	32	14	18	5,4
RN	17	7	11	4,9	20	10	10	4,7	22	11	11	5,2
PB	22	13	10	4,0	31	13	19	7,8	35	12	22	9,0
PE	59	31	27	6,2	75	40	36	8,3	69	33	36	7,9
AL	61	45	17	7,9	69	39	30	15,0	49	28	21	10,1
SE	10	7	3	1,9	17	14	3	1,9	17	10	7	4,1
BA	193	75	117	5,5	283	127	155	6,9	394	172	222	9,4
MG	439	135	303	9,1	610	236	374	11,1	869	346	523	15,2
ES	49	36	13	4,0	63	30	34	10,5	76	31	45	14,0
RJ	26	15	11	4,0	23	13	10	3,8	19	7	12	4,6
SP	746	423	323	17,8	969	786	183	10,2	1186	840	346	19,5
PR	452	223	228	16,9	587	420	167	12,5	835	523	313	23,4
SC	122	48	74	16,4	164	72	92	20,3	208	77	131	27,6
RS	346	151	195	18,1	479	270	209	18,6	824	275	550	41,8
MS	189	62	127	6,5	293	164	129	6,3	563	302	261	12,5
MT	398	190	208	8,7	795	397	398	12,9	1508	825	683	20,7
GO	356	112	243	12,3	451	232	219	10,5	718	396	322	15,0
DF	9	3	6	22,3	8	5	3	12,3	10	8	2	8,7

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 14. Área com uso do solo destinada à agropecuária por unidade da federação nos anos de 2000, 2010 e 2020 (mil ha). informa a área de agricultura e pastagem fornecido por Mapbiomas (2022) para cada Unidade da Federação. Sabe-se que não necessariamente a área de pastagem esta ocupada por bovinos, entretanto não há informações suficientes para desagregar pastagens não utilizadas das efetivamente destinadas a produção animal, além disto, toda área de pastagem já é de potencial produção agropecuária. A OECD (2022) utiliza área de pastagem juntamente com a área agrícola em seus cálculos, por isto, neste trabalho para a parametrização e comparação interestadual e intertemporal esta área se faz importante. Na maioria dos Estados não houveram grandes mudanças neste aspecto, destaca-se a região Norte do país como exceção, onde todos os integrantes cresceram em pelo menos 28% a área de agricultura e pastagem, tendo Amazonas e Roraima mais que duplicado nos 20 anos compreendidos neste estudo. Piauí, Mato Grosso e Rio Grande do Sul expandiram em 46, 38 e 22% suas respectivas áreas e são os Estados fora da Região Norte com maiores mudanças. Todos os demais apresentaram pequenas regressões, inferiores a 6% ou expansões inferiores a 13%.

Tabela 14. Área com uso do solo destinada à agropecuária por unidade da federação nos anos de 2000, 2010 e 2020 (mil ha).

UF	2000	2010	2020
RD	5860	8041	9078
AC	1293	1791	2191
AM	1272	1776	2656
RR	510	749	1080
PA	13900	19997	22276
AP	281	279	360
TO	5916	6983	7997
MA	6022	7931	8962
PI	2393	2862	3500
CE	3420	3869	3440
RN	2181	2056	2067
PB	2443	2386	2475
PE	4347	4279	4521
AL	2109	1998	2098
SE	1603	1600	1684
BA	21151	22441	23764
MG	33486	33590	34484
ES	3323	3214	3220
RJ	2659	2619	2566
SP	18146	17917	17779
PR	13535	13385	13342
SC	4502	4553	4744
RS	10790	11243	13144
MS	19533	20475	20833
MT	23975	30907	33048
GO	19833	20762	21475
DF	254	254	260

Fonte: Mapbiomas (2022). Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 15 é o resultado da diferença entre o balanço por área de N, P e K nos solos agropecuários do Brasil entre os anos de 2020 e 2000. Valores positivos indicam que o valor anual do excedente no balanço cresceu enquanto valores negativos apontam redução. O maior acréscimo do balanço anual de N e P ocorreu no Rio Grande do Sul e K em Mato Grosso. No geral, a maioria dos estados no país com exceção da região norte elevaram seus quantitativos de excedentes nutricionais. Este contexto indica que pode estar ocorrendo, especialmente fora da norte, intensificação de incorporação de N, P e K nos solos.

Tabela 15. Variação dos resultados do balanço (por área) de nutrientes entre o ano 2000 e 2020 em kg/ha (valores negativos indicam que o montante de balanço por área do nutriente reduziu no espaço de 20 anos).

UF	N	P	K
RD	-0,1	-0,3	0,5
AC	-1,0	-0,2	0,0
AM	-5,2	-0,5	0,4
RR	1,0	0,3	-0,9
PA	-6,0	0,7	-3,7
AP	-3,7	-1,1	1,0
TO	10,0	5,1	8,3
MA	7,4	3,8	7,1
PI	11,3	4,0	8,2
CE	5,4	1,2	2,3
RN	2,7	0,3	0,3
PB	4,7	0,5	5,1
PE	3,7	0,9	1,7
AL	2,1	1,5	2,3
SE	5,0	2,1	2,2
BA	5,3	1,4	3,8
MG	12,5	1,9	6,1
ES	20,9	2,7	10,0
RJ	0,2	0,1	0,6
SP	21,9	-0,3	1,7
PR	24,7	6,2	6,6
SC	25,6	6,1	11,2
RS	39,5	11,8	23,7
MS	8,4	2,3	6,0
MT	17,5	4,5	12,0
GO	17,2	4,3	2,7
DF	11,7	-0,3	-13,6

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 16 é o resultado da diferença entre o balanço bruto de N, P e K nos solos agropecuários do Brasil entre os anos de 2020 e 2000. Mato Grosso é o Estado com maior incremento no excedente anual nos 3 macronutrientes. Isto se deve também a expansão de área destinada a agropecuária que ocorreu no Estado neste período (Tabela 14), o mesmo pode-se considerar para o Rio Grande do Sul, ambos os Estados já possuem agricultura e pecuária que contribuíram para o aumento do balanço por área, e este fator somado a expansão da área agropecuária resulta em montantes excedentes ainda maiores recentemente.

Tabela 16. Variação dos resultados do balanço bruto de nutrientes entre o ano 2000 e 2020 em Gg (valores negativos indicam que o montante de balanço bruto do nutriente reduziu no espaço de 20 anos).

UF	N	P	K
RD	14,2	-2,3	12,4
AC	2,0	-0,3	2,5
AM	-4,2	-0,3	1,0
RR	4,5	0,6	1,0
PA	-91,9	19,7	-59,2
AP	-0,8	-0,3	0,8
TO	90,7	42,1	74,4
MA	95,5	40,0	82,3
PI	54,1	16,8	37,6
CE	18,8	4,3	8,1
RN	4,6	0,5	0,1
PB	12,0	1,3	12,7
PE	19,0	4,1	8,6
AL	4,2	3,1	4,7
SE	8,8	3,5	3,9
BA	147,3	38,0	105,0
MG	445,6	68,4	219,4
ES	66,1	8,5	31,8
RJ	-0,2	0,2	1,2
SP	381,5	-8,0	23,2
PR	323,7	80,9	84,4
SC	129,9	30,8	57,0
RS	564,9	174,3	354,6
MS	183,9	49,7	134,0
MT	677,4	188,5	475,4
GO	385,9	98,9	78,7
DF	3,3	0,0	-3,4

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Mato Grosso apresenta maior excedente em N, P e K em 2020, respectivamente representa 14,6; 17,7 e 17,9% dos excedentes nacionais. O Estado é atualmente o maior produtor de Soja do país e foi responsável por 29% da produção nacional neste ano totalizando 35070 Gg (IBGE, 2022), tendo a agricultura como base de sua economia. A fertilização sintética é responsável pela maior parte das entradas de P e K no balanço, enquanto em N fica em segundo lugar, atrás da Fixação biológica de nitrogênio. Nas saídas de nutrientes do estado a cultura da soja é responsável por respectivamente 75, 57 e 70% das saídas de N, P e K do balanço, evidenciando a importância desta cultura para o Estado.

Minas Gerais e Rio Grande do Sul se juntam ao Mato Grosso como Estados com contribuição de ao menos 10% do excedente nacional nos 3 macronutrientes. Este dado reflete que a contribuição nos excedentes ocorre majoritariamente pelos Estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste, onde há uma influência muito maior que as demais regiões do país. As exceções são Rio de Janeiro e Espírito Santo, que neste ponto se comportam com balanços equivalentes a escala dos nordestinos, enquanto no Nordeste a Bahia se destaca como maior geradora de excedentes. A região Norte é a menor geradora de excedentes jamais tendo contribuído com

mais que 6,5% do balanço anual, esta é a região que mais se aproxima da neutralidade entre entradas e saídas de nutrientes.

A região Nordeste apesar de contar com 20% das áreas destinadas a agropecuárias, apresenta balanços correspondentes a menos de 15% do país em praticamente todos os anos para N, P e K.

Rio Grande do Sul está posicionado como segundo maior contribuinte no balanço, representando 12,1 do montante de N, 16% de P e 14,4% do P em reação aos excedentes nacionais. Quarto maior produtor de Soja do país, esta cultura tem importância elevada, representando 43% das entradas e 70% das saídas de N em 2022. Outra cultura importante para o Estado é o Arroz, o estado foi responsável por 70% da produção nacional em 2020 (IBGE, 2022) e esta representa 11% das saídas de N apesar de ter menor impacto em P e K. O Estado apresenta excedentes muito expressivos. No ano de 2020, 47, 70 e 67% de N, P e K respectivamente das entradas foram convertidas em saídas do solo, ou seja, tornaram-se excedentes.

Minas Gerais é o segundo maior excedente de N em 2020, e figura entre os 4 primeiros em P e K no mesmo ano. É o Estado com maior área destinada a agropecuária do país (MapBiomass, 2022) consequentemente a maior contribuição por deposição atmosférica. Entretanto, a fertilização sintética é a principal fonte de entrada de nutrientes por larga margem, e as culturas agrícolas da Cana-de-açúcar, milho e soja são as principais responsáveis pela extração de nutrientes.

4.2.2 Visão geral das fontes de nutrientes mais influentes no Balanço de NPK

A Tabela 17 informa os montantes de entrada no balanço nacional de N em solos agropecuários discriminados por fontes de entrada entre 2000 a 2020. Nota-se que a deposição atmosférica sofre pouca variação ao longo dos 20 anos do período, isto porque sua estimativa depende diretamente da área de agricultura e pastagem, que aumentaram ligeiramente, devendo-se destacar que os teores de nutrientes contidos na água da chuva é estável. Já a FBN e a aplicação de fertilizantes sintéticos aumentam conjuntamente com a produtividade agrícola nacional e apresentam crescimentos constantes neste período, se posicionando como as principais fontes de N no balanço do nutriente.

Tabela 17. Entrada de N no balanço agropecuário por fonte do nutriente (Gg).

Ano	Fert. Sint.	Vinhaça	Dej. galináceos	Dej. suínos	FBN	Sementes	Dep. Atm.	Total - Entradas
2000	1688	65	370	448	2383	142	1236	6311
2001	1608	53	387	463	2703	143	1253	6609
2002	1816	57	386	453	2999	156	1271	7139
2003	2223	63	402	459	3651	168	1293	8258
2004	2245	73	411	470	3505	185	1313	8201
2005	2201	77	433	484	3621	192	1329	8338
2006	2297	79	439	499	3740	192	1340	8587
2007	2751	89	487	510	4119	194	1346	9497
2008	2502	112	517	523	4311	213	1352	9530
2009	2556	137	530	540	4174	223	1358	9517

Continua...

Continuação da Tabela 17.

Ano	Fert. Sint.	Vinhaça	Dej. galináceos	Dej. suínos	FBN	Sementes	Dep. Atm.	Total - Entradas
2010	2855	128	534	553	4910	230	1364	10574
2011	3366	136	546	558	5319	239	1368	11534
2012	3437	113	536	551	4723	243	1372	10975
2013	3708	116	538	522	5771	260	1378	12293
2014	3872	137	569	539	6088	274	1390	12868
2015	3533	142	571	565	6782	276	1399	13267
2016	4366	151	579	569	6716	279	1407	14066
2017	4377	136	614	588	7895	282	1413	15304
2018	4287	139	630	585	8090	282	1420	15433
2019	4358	165	628	576	7864	287	1421	15298
2020	5255	177	637	584	8354	291	1447	16746

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 18 são os resultados obtidos das entradas no balanço de P em solos agropecuários no Brasil entre 2000 a 2020 discriminados por fonte. Neste caso a deposição atmosférica tem pouca relevância, diferente do que ocorre em N. A principal fonte de entrada deste nutriente é a aplicação de fertilizantes sintéticos.

Tabela 18. Entrada de P no balanço agropecuário por fonte do nutriente (Gg).

Ano	Fert. Sint.	Vinhaça	Dej. galináceos	Dej. suínos	Sementes	Dep. Atm.	Total - Entradas
2000	1022	5	112	73	28	67	1307
2001	1061	4	117	75	28	68	1355
2002	1227	5	117	73	30	69	1521
2003	1492	5	122	74	32	71	1795
2004	1511	6	124	76	34	72	1823
2005	1267	6	131	78	35	73	1590
2006	1376	6	133	81	36	73	1706
2007	1599	7	147	83	39	73	1948
2008	1397	9	156	85	43	74	1763
2009	1466	11	160	88	46	74	1845
2010	1566	10	161	90	47	74	1949
2011	1687	11	165	90	49	75	2077
2012	1889	9	162	89	50	75	2275
2013	2028	9	163	85	53	75	2412
2014	2077	11	172	87	55	76	2477
2015	1923	11	172	92	54	76	2329
2016	2174	12	175	92	55	77	2584
2017	2240	11	186	95	55	77	2663
2018	2253	11	191	95	54	77	2681
2019	2367	13	190	93	55	78	2796
2020	2641	14	193	95	55	79	3076

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 19 descreve os resultados das entradas de K no balanço do nutriente em solos brasileiros entre 2000 a 2020. A vinhaça tem maior relevância em relação aos balanços de N e P, e representa em torno de 10% das entradas do nutriente. A deposição atmosférica perde relevância ao longo do tempo, mas ainda é importante, próxima a vinhaça. O grande responsável pela entrada de nutriente no balanço tal como ocorre com P é a aplicação de fertilizantes sintéticos, com montantes crescentes ao longo do período estudado.

Tabela 19. Entrada de K no balanço agropecuário por fonte do nutriente (Gg).

Ano	Fert. Sint.	Vinhaça	Dej. galináceos	Dej. suínos	Sementes	Dep. Atm.	Total - Entradas
2000	2202	329	197	196	116	697	3737
2001	2197	269	206	202	119	706	3699
2002	2539	293	207	198	125	716	4078
2003	3164	320	216	200	131	729	4760
2004	3246	374	221	205	140	740	4926
2005	2844	390	234	211	146	749	4575
2006	2872	401	237	218	154	755	4638
2007	3465	453	265	223	166	759	5330
2008	3062	571	281	228	188	762	5093
2009	2614	698	289	236	200	765	4802
2010	3157	652	291	242	207	769	5317
2011	3677	695	298	244	217	771	5902
2012	4020	575	292	241	220	773	6122
2013	4228	589	293	228	232	777	6346
2014	4478	697	310	235	240	783	6743
2015	4285	723	312	247	236	789	6590
2016	4755	767	317	248	238	793	7118
2017	4858	691	335	257	239	796	7176
2018	5033	707	344	256	236	800	7376
2019	5065	840	342	251	238	801	7538
2020	5610	903	347	255	238	815	8169

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O uso de fertilizantes para repor nutrientes extraídos do solo pelas lavouras é essencial para manter a boa produtividade da agricultura. No Brasil, a aplicação de fertilizantes orgânicos e sintéticos representa cerca de 40% das entradas de N e próximo a 90 e 80 % de P e K, respectivamente. Dentre os fertilizantes orgânicos e sintéticos, atualmente, os sintéticos são aplicados em volume 3 a 4 vezes maior que os orgânicos, quando se trata de N e K, e entre 7 a 9 vezes maior para o P. Os fertilizantes sintéticos são a principal fonte de entrada nos balanços de P e K e dividem importância com a deposição atmosférica e FBN no balanço de N.

Sobre N na forma de fertilizante sintético, em 2020 5.255 Gg foram aplicados ao solo no Brasil. A Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Goiás são os Estados que registram mais de 200 Gg aplicadas neste ano. Somente os 3 estados do Centro-Oeste somam 1.690 Gg, se incluirmos Paraná e Rio Grande do sul este valor é 2.860 Gg, ou seja, 54% de todo o N aplicado na forma de fertilizante sintético do país é oriundo dos 5 estados com as maiores produções de Soja. Juntos estes 5 Estados representam 75% da produção de soja em 2020. Esta que é a principal responsável pela FBN (cerca de 90% do N originado de FBN no Brasil vem da soja).

Como resultado estes 5 estados são responsáveis por mais de 60% de toda a entrada de N no balanço nacional nos últimos anos. Entretanto, também por cerca de 66% das saídas na última década. De todo modo observa-se que os 5 maiores produtores de soja do Brasil estão todos entre os 7 estados que mais utilizam fertilizantes sintéticos no país. Isto é esperado, devido a estes serem potências agrícolas nacionais, mas evidencia que para muito além da soja, que não necessita de grande suplementação de N devido a FBN, estados são o foco das aplicações de fertilizantes sintéticos nitrogenados juntamente com São Paulo e Minas Gerais.

É difícil rastrear exatamente para qual cultura foi aplicado dada demanda de fertilizante sintéticos. Estimar com base na demanda de cada cultura também origina um grande problema, como vemos neste trabalho, o volume de excedente nutricional no balanço de N é elevado, portanto, se aplica mais que o necessário. A estimativa de quais culturas se aplica mais que o necessário é imprecisa. No Brasil em 2020 68% das saídas de N no balanço dentre todas as lavouras é oriundo somente da soja, um montante de 6699 Gg. Deste modo, se considerarmos o restante das produções agrícolas somadas, resultam em 3174 Gg de N saindo do balanço. O Brasil no mesmo ano aplicou 5255 Gg de N na forma de fertilizantes sintéticos, se considerarmos que a soja represente pouca parte dessa demanda, conclui-se que foi aplicado acima de 50% das demandas nutricionais das culturas agrícolas. Portanto, dentre perdas para a atmosfera ou indisponibilidade de absorção do nutriente pelas plantas, além de problemas ambientais, pode-se dizer que se gasta muito dinheiro adquirindo proporções muito maiores de nutrientes que as demandas vegetais.

Com relação a FBN, a soja é a principal responsável por esta fonte, e Estados com maior produção de soja, têm maior incorporações de N no solo. O amendoim, ervilha, cana-de-açúcar e feijão também contribuem em algum nível com a FBN, mas de um ponto de vista prático, a nível nacional, a soja é a responsável por quase a totalidade desta entrada de N no balanço.

A fonte FBN representa menor preocupação ambiental, pela natureza do processo agrícola diretamente; portanto, por si só a FBN não produz excedentes nutricionais no balanço. Entre 2000 e 2020 a soja nunca representou menos de 88% desta fonte, e desde 2013 apresenta 90% ou mais. A cana-de-açúcar oscila sua participação entre 5 a 9%, no ano de 2009 foi seu ápice, com 9,3%, porém, de 2017 a 2020 apresenta valores entre 5 e 5,5%, como resultado, em 2020 a cana foi responsável por 424 Gg de N fixado ao solo no Brasil, 56% de suas demandas pelo nutriente retirados do solo (35% do N na planta, Urquiaga et al., 2012; Boddey et al., 2001; Yoneyama et al., 1997). A nível nacional, a ervilha pode ser considerada desprezível em suas contribuições por FBN, contribuindo abaixo que 0,01%. O restante é devido ao feijão e amendoim, que entre 2010 e 2020 o maior valor de participação foi 2,2% e o inferior foi 1,5%, estes somados apresentam nos últimos anos valores próximos a 1/3 da cana-de-açúcar.

A Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná e os 3 estados do Centro-Oeste, juntos em 2020, formam 87% das entradas de P e K no balanço oriundos de fertilizantes sintéticos e por 88% da produção de soja nacional no mesmo ano. Em sequência os estados que mais utilizaram P e K de fertilizantes sintéticos foram Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná, respectivamente com 584, 336 e 326 Gg de P e 1299, 700 e 596 Gg de K. Comparando as saídas de P e K do balanço devido a produção de cana-de-açúcar, milho e soja, ou seja, o consumo de P e K destas culturas é equivalente à entre 40 e 50% do montante aplicado em P e entre 61 e 77% do K de fertilizantes sintéticos, entre 2010 a 2020. No mesmo período em que estas culturas equivalem a 90% ou mais das exportações totais destes nutrientes das produções agrícolas. Portanto, apesar das dificuldades de se estimar de maneira concisa exatamente para onde vai a aplicação de fertilizante sintéticos no Brasil, pode-se deduzir que estas 3 culturas sejam as grandes responsáveis pelo elevado excedente gerado com a aplicação deste. É possível que ao se desenvolver o aumento da eficiência da absorção pelas plantas destes nutrientes resulte em diminuição dos excedentes produzidos.

5. CONCLUSÕES

Ao longo dos últimos anos a agropecuária nacional vem registrando excedentes em seus balanços de N, P e K, sendo que os montantes excedentes vêm crescendo ao longo dos últimos anos, uma tendência que vai na contramão do observado na maioria dos países pertencentes a OECD. Isto é esperado, uma vez que o país vem realizando esforços para corrigir a baixa fertilidade natural presente em grande parte dos solos, e que juntamente com o melhoramento genético das culturas e desenvolvimento tecnológico vem auxiliando o aumento da produtividade na agricultura brasileira.

No ano 2020, as principais fontes de ingresso de N, P e K foram os fertilizantes sintéticos com 5,3; 2,6 e 5,6 milhões de toneladas de N, P e K respectivamente, sendo que a FBN, que contribuiu com a entrada de 8,3 milhões de toneladas de N é a principal fonte de N da agricultura. Nesse ano as maiores saídas destes nutrientes corresponderam a 9,2; 1,2 e 3,7 milhões de toneladas de N, P e K respectivamente, e se devem à produção das 7 principais culturas agrícolas do país.

No ano de 2020 a agropecuária brasileira apresentou balanço positivo de nutrientes, sendo estes 24,3 kg N/ha, 6,3 kg P/ha e 14,5 kg K/ha.

O conceito de agricultura regenerativa com relação a fertilidade do solo pode não ser adequado quando aplicado ao Brasil. Enquanto para a OECD pode ser bom o balanço de nutrientes se manter próximo a neutralidade, no caso do Brasil é diferente. Como os solos são pobres naturalmente, há esforços empregados para enriquecer e melhorar sua fertilidade, e os resultados de excedentes presentes neste trabalho indicam que este processo vem ocorrendo. Neste caso, se tentarmos regenera-lo estaríamos mantendo a baixa fertilidade intacta, portanto, neste caso, os excedentes nutricionais podem indicar que na realidade vem ocorrendo um processo de melhoramento dos recursos naturais por meio do uso de fertilização e FBN no país.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É evidente que diferentes metodologias assim como diferentes focos e objetivos vão resultar em valores de balanço de nutrientes diferentes, mas próximos. Este trabalho se propôs a realizar um balanço geral considerando todas as fontes sugeridas nas guias da OECD (2007a,b) para que se possibilitasse concluir de maneira clara as principais fontes de contribuição do país, a evolução do balanço ao longo das duas últimas décadas e a contextualização dos pontos chave no Brasil (discutido nos resultados estaduais). Nota-se que com relação aos balanços da OECD (2022), este trabalho traz resultados de balanço com menores valores de excedentes, e quando comparado a outros trabalhos nacionais, em geral este trabalho apresenta maiores valores excedentes, entretanto, considera mais fontes no balanço, além da influência da pecuária, ausente nos trabalhos nacionais citados.

Há ainda alguns gargalos que limitam a realização de estimativas mais exatas. Cabe destacar os dados de manejo de dejetos e produção de fertilizantes orgânicos no país e o monitoramento de deposição atmosférica de nutrientes. Ambos possuem dados escassos no país. Mais pesquisas e monitoramento nestas áreas seriam extremamente valiosos para o aprimoramento das estimativas de balanço de nutrientes da agropecuária brasileira no futuro.

Por outro lado é importante destacar que, considerando que a maioria dos países da OECD, mais desenvolvidos do mundo, não possuem áreas extensas dedicadas à pecuária, situação inversa ao Brasil, se os balanços de nutrientes forem aplicados somente a área agrícola, o país apresentaria um dos mais altos excessos de nutrientes na agricultura do mundo, o que ambientalmente poderia ser considerado negativo, mas não podemos esquecer o grande impacto do país na produção de alimentos do mundo, cada vez produzindo mais com menor uso de insumos, incluído fertilizantes, um tema que merece maior atenção na análise dos resultados dos balanços nutrientes.

A FBN é a fonte mais significativa de entrada de nitrogênio no balanço, sua importância é tão elevada que poderia ser pensada como estratégia de último nível para enfrentar e substituir a utilização de fertilizantes. Mais pesquisas com inoculantes e desenvolvimento de táticas para elevação de sua eficiência seria extremamente positiva para o país, principalmente com relação a sustentabilidade agrícola, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 41, p. 449-456, 2006.
- ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de Óxido Nitroso e Óxido Nítrico do Solo em Sistemas Agrícolas. In: **Estoques de Carbono e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária Brasileira** – Brasília, DF: Embrapa, p. 159-191, 2010.
- ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2000-2020**, São Paulo, ANDA, 2022.
- ARAUJO, T. G.; SOUZA, M. F. L.; MELLO, W. Z.; SILVA, D. M. L. Bulk Atmospheric Deposition of Major Ions and Dissolved Organic Nitrogen in the Lower Course of a Tropical River Basin, Southern Bahia, Brazil. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 26, N. 8, p. 1692-1701, 2015.
- ASAE American Society of Agricultural Engineers. **Manure Production and Characteristics**. D384.2, St Joseph (EUA), 32p., 2005
- BATJER, L. P.; ROGERS, B. L.; THOMPSON, A. H. Fertilizer applications as related to nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium utilization by apple trees. **J. Am. Soc. Hort. Sci.**, v. 60, p. 1-6, 1952.
- BODDEY, R. M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Use of the N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation to sugar cane and other grasses. **Aust. J. Plant Physiol**, v. 28, p. 889-895, 2001.
- BOITT, G.; SCHMITT, D. E.; GATIBONI, L. C.; WAKELIN, S. A.; BLACK, A.; SACOMORI, W.; CASSOL, P. C.; CONDRON, L. M. Fate of phosphorus applied to soil in pig slurry under cropping in southern Brazil. **Geoderma**, v. 321, p. 164-172, 2018.
- BONILHA, S. F. M.; PACKER, I. U.; RAZOOK, A. G.; FIGUEIREDO, L. A.; ALLEONI, G. F.; RESENDE, F. D. Estimativa da composição química do corpo vazio de animais Nelore e Caracu a partir das composições química e física do corte da 9^a-10^a-11^a costelas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 2206-2214, 2008.
- BOREALIS **Lat. Citrus fertigation**. Disponível em <https://www.borealis-lat.com/fileadmin/media/International/SUPREMO/Fertigation/Citrus_fertigation.pdf>, acesso em 30 jun 2017.
- BUCHER, C. A.; BUCHER, C. P. C.; ARAUJO, A. P.; SPERANDIO, M. V. L. Fósforo. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2^a Ed. Voçosa, 2018. P. 401-428.
- CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*: avaliação na safra e na safrinha**. Dissertação (Mestrado em ciências florestais), 106p. 1991.
- CANCELLIER, EDUARDO LOPES, SILVA, DOUGLAS RAMOS GUELF, FAQUIN, VALDEMAR, GONÇALVES, BRUNO DE ALMEIDA, CANCELLIER, LEANDRO LOPES, SPEHAR, CARLOS ROBERTO. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in Brazilian Cerrado with improved soil fertility. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 133-144, Abr. 2016.

CÁNOVAS, A. D.; TRINDADE, M. G. Densidade de uma semeadura de trigo – Uma questão de economia. **Comunicado Técnico**, Santo Antônio de Goiás, v. 54, p. 1-4, 2003.

CANTARELLA, H.; MATTOS JR., D.; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 67, p. 215–223, 2003.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397–401, 2008.

CARMO, J. B.; FILOSO, S.; ZOTELLI, L. C.; NETO, E. R. S. A.; PITOMBO, L. M.; DUARTE-NETO, P. J.; VARGAS, V. P.; ANDRADE, C. A.; GAVA, G. J. C.; ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; NETOS, A. E.; MARTINELLI, L. A. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application na crop trash accumulation. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 5, p. 267-280, 2013.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente?. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.

CARVALHO, T. B. **Brazil continues competitive in the world cattle farming**. CEPEA – Centro de estudos avançados em economia aplicada, 2020. Disponível em < <https://www.cepea.esalq.usp.br/en/opinion/brazil-continues-competitive-in-the-world-cattle-farming.aspx>>, acesso em 14 jul de 2021.

CARVALHO, T. B.; ZEN, S. DE; TAVARES, E. C. N. Comparação de custo de produção na atividade de pecuária de engorda nos principais países produtores de carne bovina. **Anais...** 47 Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009, Porto Alegre, 2009.

CNA Após alcançar patamar recorde em 2021, PIB do Agronegócio recua 4,22% em 2022. Disponível em < <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/pib-do-agronegocio-alcanca-participacao-de-26-6-no-pib-brasileiro-em-2020>>, Acesso em 10 JUL de 2023.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C. E CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 27:631-637, 2003.

CRAVO, M. S.; ATROCH, A. L.; MACÊDO, J. L. V.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; LIMA, L. P.; RIBEIRO, J. R. C. Estimativa da exportação de nutrientes pela colheita de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) no Estado do Amazonas. In: Embrapa Amazônia Ocidental – **Anais...** Congresso (ALICE) e Seminário sobre Pesquisas com o Guaranazeiro na Amazônia, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazônia, p. 245-250, 2005.

CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Embrapa Agroindústria Tropical-Livro científico (ALICE), 238p. 2009.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. **Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira**. Informações agronômicas: IPNI, v.130, p. 1-11, 2010.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. **Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira no Período de 1988 a 2010**. Informações agronômicas: IPNI, v.135, p. 1-7, 2011.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I. **Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira 2009 a 2012**. Informações agronômicas: Piracicaba, n. 145, p. 1-28, 2014.

- CUNHA, J. F.; FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I. **Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira no Período de 2013 a 2016**. Informações agronômicas: IPNI, v.162, p. 3-14, 2018.
- DAROS, C. O.; AITA, C. E GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ci. Rural**, 35:799-805, 2005.
- DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de Dejetos Suínos**. Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS, nº 11, 33 p., 1998.
- DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**: Piracicaba, v. 40, p. 243-252, 2011.
- ELIA NETO, A. **Estado da Arte da Vinhaça**. ÚNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar, Piracicaba, 31p., 2016.
- EMBRAPA **Solos Brasileiros**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>>, acesso em 1 ago de 2023.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência: Finep, Rio De Janeiro, 2ª Ed, 575p, 1998. Disponível em <https://issuu.com/samantanippon/docs/fundamentos_de_limnologia_-_francis>, acesso em 22 JUL de 2021.
- FAOSTAT (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – Divisão de Estatística). **Dados de produção e cultivo 2019**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>, acesso em 25 mar. 2021.
- FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. UFLA/FAEPE. Lavras, 2004.
- FERNANDES, F. M.; NASCIMENTO, V. M. Fertilidade do solo e nutrição da mangueira. pp.179-198. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; ZAMBOLIM, L. (eds.). **Manga - produção integrada, industrialização e comercialização**. UFV: Viçosa, p. 178-198, 2006.
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência de Solos – Viçosa, MG, 2. Ed. 670 p., 2018.
- FERREIRA, E. A.; FALESI, I. C. **Características nutricionais do fruto e teor de bixina em urucu (*Bixa Orellana* L.)**. Boletim de Pesquisa Embrapa: CPATU, Belém, Pará, n. 97, 31p., 1989.
- FIXEN, P. E. **Balanço de nutrientes em terras cultivadas: Um desafio global para o setor de fertilizantes**. Informações agronômicas: IPNI, v.133, p. 1-6, 2011.
- GOULART, R. S.; ALENCAR, M. M.; POTT, E. B.; CRUZ, G. M.; TULLIO, R. R.; ALLEONI, G. F.; LANNA, D. P. D. Composição corporal e exigências líquidas de proteína e energia de bovinos de quatro grupos genéticos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 926-935, 2008.
- GUARESCHI, R. F.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; SARKIS, L. F.; MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; CABRIALES, J. J. P.; NUNES, J. A. V.; URQUIAGA, S. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e Caribe. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 2, p. 105-119, 2019.
- HERRIDGE, D. F.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant Soil**, v.311, p. 1-18, 2008.

- HORTA, M. M.; TORRENT, J. **Dinâmica do Fósforo no Solo, Perspectiva Agronômica e Ambiental**. Instituto Politécnico de Castelo Branco: Castelo Branco, Portugal, 97 p., 2010.
- HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. **Climate change 2001: the scientific basis**. Reino Unido: IPCC, p. 83, 2001.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Documento 283 Embrapa, Londrina: Embrapa soja, 80p., 2007.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Embrapa Soja Circular Técnica, Londrina, v. 35, ISSN 1516-7860, p. 48, 2001.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Can. J. Plant Sci.**, 86:927-939, 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Banco de Dados SIDRA, Agricultura, Pecuária e Outros**. Disponível em :<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>>, Acesso em 18 JAN 2022.
- IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Folhetos Explicativos**. Disponível em <<http://www.ipa.br/resp37.php>>, acesso em 24 jan de 2022.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Greenhouse Gas Inventory Reference Manual**, vol. 4., 2006.
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Greenhouse Gas Inventory Reference Manual**, vol. 4. Ch. 10-11, 2019.
- IPNI - International Plant Nutrition Institute. **Calculadora de remoção de nutriente**. Disponível em <<https://www.ipni.net/app/calculator/home>>, acesso em 16 set de 2022.
- JANICK, J. **Horticultural Reviews**. John Wiley and Sons Ltd. Nova York, USA, v. 31, 2005.
- JICKELLS, T. The role of air-sea exchange in the marine nitrogen cycle. **Biogeosciences**, v. 3, p. 271–280, 2006.
- KLEIN, C; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.
- LARA-CABEZAS, W. A. R. E SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:2331-2342, 2008.
- LARA-CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 21:481-487, 1997a.
- LARA-CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 21:489-496, 1997b.
- LEAL, T. F. M.; FONTENELE, A. P. G.; PEDROTTI, J. J. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Quím. Nova**, v. 27, n. 6, p. 855-861, 2004.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do Solo e Produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa: SBCS, 2007, p. 1-64.

MAGALHÃES, I. P. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SILVA, F. D. B.; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. O.; LOPES I. P. C. Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres**, v.64, p.98-107, 2017.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral De Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. Embrapa Informática Agropecuária. Campinas, SP, Brasil, 1980.

Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina/ Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo, Porto Alegre, 10. Ed, 400p., 2004.

MAPBIOMAS **Estatísticas**. Disponível em <<https://mapbiomas.org/estatisticas>>, acesso em 18 jan 2022.

MARCONDES, M. I.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, P. V. R.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D.; SANTOS, T. R.; DINIZ, L. L. Predição da composição corporal e da carcaça a partir da seção entre a 9ª e 11ª costelas em bovinos Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 1597-1604, 2009.

MARTHA JR., G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; VILELA, L.; PINTO, T. L. F.; TEIXEIRA, G. M.; MANZONI, C. S. E BARIONI, L. G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com ureia no verão. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 33, p. 2240-2247, 2004.

MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; POLIDORO, J. C.; BATISTE, J. N.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. **Soil e Tillage Research**, v. 151, p. 75-81, 2015.

MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **Quarta comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima 2021**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc>>, acesso em 10 jul 2023.

MELLO W. Z. Precipitation chemistry in the coast of the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 114, . 265-242, 2001.

MELLO, W. Z.; ALMEIDA, M. D. Rainwater chemistry at the summit and Southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. **Environmental Pollution**, v. 129, p. 63-68, 2004.

MENDES, L. G. **Cálculo de semeadura de soja**. Disponível em <<https://blog.aegro.com.br/calculo-de-semeadura-soja/#:~:text=A%20recomenda%C3%A7%C3%A3o%20m%C3%A9dia%20de%20popula%C3%A7%C3%A3o,250%20mil%20plantas%20por%20hectare.>>, acesso em 24 JAN de 2022.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SABAA SRUR, A. U. Valor nutricional da polpa de açaí (Euterpe oleracea Mart) liofilizada. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 311-316, 2008.

MOMOLLI, D. R.; SOUZA, H. P.; SCHUMACHER, M. V.; LUDVICHAK, A. A.; GUIMARÃES, C. C.; MALHEIROS, A. C.; GONÇALVES, J. M. W. Seasonal variation of atmospheric nutrient deposition in the Western part of Rio Grande do Sul, Brazil. **Rev. Ambient. Água**, v. 15, n. 3, p. 1-12, 2020.

MONTIEL, L. R. S. **Balço e evoluão temporal de teores de fósforo e potássio no solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado em ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 127p., 2011.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Evoluão do PIB do agronegócio brasileiro de 1959 a 1995: uma estimativa na ótica do valor adicionado. **Teor. Evid. Econ.**, Passo Fundo, v. 9, n. 16, p. 09-24, 2001.

MOONSHAMMER, M.; WANEK, W.; HAMMERLE, I.; FUCHSLUEGER, L.; HOFHANSL, F.; KNOLTSCH, A.; SCHNECKER, J.; TAKRITI, M.; WATZKA, M.; WILD, B.; KEIBLINGER, K. M.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; RICHTER, A. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: Nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. **Nature Communications**, v. 5, p. 1-7, 2014.

MORAIS, R. F.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Ammonia volatilization and nitrous oxide emissions during soil preparation and N fertilization of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Soil Biol Biochem**, v. 64, p. 80-88, 2013.

MOURÃO, R. C. **Estimativa da composição química do corpo vazio de bovinos e bubalinos por meio da gravidade específica**. Dissertação (Mestrado), UNESP, Botucatu, 77p., 2007.

NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia. Balço de Nutrientes (**Cortesia temporária de NPCT**). Disponível em <<https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/calculadora>>, acesso em 21 jul de 2021.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. Gross Nitrogen Balances Handbook. OECD, 2007a.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. Gross Nitrogen Balances Handbook. OECD, 2007b.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. **Enviromental Performance of Agriculture OECD Countries since 1990**. OECD, 208 p., 2008.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. **Environmental performance of agriculture - nutrients balances**. OECD Agriculture Statistics (database). Disponível em <<https://doi.org/10.1787/d327d2a9-en>>, acesso em 03 AGO de 2022.

PAREDES, D. S.; LESSA, A. N. R.; SANT'ANNA, S. A. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. Nitrous oxide emission and ammonia volatilization induced by vinese and N fertilizer application in a sugarcane crop at Rio de Janeiro, Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 98, pp. 41-55, 2014.

Paulino, P. V. R. **Exigências nutricionais e validação da seção HH para predição da composição corporal de zebuínos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - UFV, Viçosa, 150p., 2002.

PHILIPPOT, L.; SPOR, A.; HÉNAULT, C.; BRU, D.; BIZOUARD, F.; JONES, C. M.; SARR, A.; MARON, P. A. Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. **ISME Journal**, v. 7, n. 8, p. 1609-1619, 2013.

POTES, M. L.; EICHOLZ, M.; LEMÕES, J. S.; FERREIRA NETO, D. T.; SILVA, S. D. A. Exportação de nitrogênio, fósforo e potássio por frutos de tungue e reposição de nutrientes por torta de tungue. In: Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio estadual de agroenergia; reunião técnica de agroenergia, amrigs: Porto Alegre. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 4p., 2012.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo/Fundação IAC. Campinas, 1997.

REYES, G. E.; CORTÉS, J. D. Intensidad en el uso de fertilizantes en América Latina y el Caribe (2006-2012). **Bioagro**, v. 29, n. 1, p. 45-52, 2017.

RODRIGUES, R. A. R.; MELLO, W. Z.; SOUZA, P. A. Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de floresta ombrófila densa montana na Serra dos Órgãos, RJ. **Quím. Nova**, v. 30, n. 8, p. 1842-1848, 2007.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. Embrapa: **Árvore do Conhecimento Cana-de-Açúcar**. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html>, acesso em 24 jan de 2022.

SALGADO, J. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D.; SUDO, A. **Balanco de Nutrientes em Cultivos de Hortaliças sob Manejo Orgânico**. Embrapa Agrobiologia - Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 9 p., 1998.

SANTOS, A. B. Embrapa: **Árvore do Conhecimento Arroz**. Disponível em <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fvawaop102wyiv80166sqfjeltno.html>>, acesso em 24 jan de 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 356 p., 2018.

SCOT CONSULTORIA **Rendimento de carcaça em frigoríficos do Brasil 2014**. Disponível em <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/37616/rendimento-de-carcaca-em-frigorificos-do-brasil-.htm>>, acesso em 15 jul 2021.

SHIGEKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in brazil: options for the future. **Sci. Agric.**, v. 63, n. 2, p. 194-209, 2006.

SILVA, D. F.; PEGORARO R. F.; MAIA V. M.; KONDO, M. K.; SOUZA, G. L. O. D.; MOTA, M. F. C. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. **Rev. Ceres** v. 64, p. 327-335, 2017.

SOUZA, D. M. G., LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. p. 147-168, 2004. In: D. M. G. SOUSA E E. LOBATO (eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Embrapa. Planaltina, DF, 2004.

SOUZA FILHO, B. F.; ANDRADE, W. E. B.; FERNANDES, G. M. B.; AMORIM NETO, S.; VALENTINI, L. **Feijão, Recomendações técnicas PESAGRO**. Disponível em <<http://www.pesagro.rj.gov.br/feijao.html>>, Acesso em 24 jan de 2022.

SOUZA, L. S.; FIALHO, J. F. **Cultivo de mandioca na região do cerrado**: Embrapa mudas e sementes.

<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_cerrados/sementes.htm>, acesso em 24 jan de 2022.

SOUZA, M. A. **Deposição atmosférica de Nitrogênio reativo sobre o estado de São Paulo – Brasil. Dissertação** (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 57 p., 2020.

SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z.; MALDONADO, J.; EVANGELISTA, H. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Quím. Nova**, v. 29, n. 3, p. 471-476, 2006.

SOUZA, T. L. **Eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados, emissão de CO_2 e volatilização de NH_3 na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 98 p., 2015.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F. Embrapa: **Árvore do conhecimento agricultura e meio Ambiente - Perdas de Nutrientes**. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTA_G01_38_210200792814.html>, acesso em 11 MAR 2022.

TAKAHASHI, H. W.; FONSECA, I. C. B.; TAKAHASHI, A. 2010. Extração de nutrientes pelos ramos frutíferos de caquizeiro cultivar giombo durante um ciclo de produção. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 32, p.326-334, 2010.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

TUNDISI, J. G. **A crise da água: eutrofização e suas consequências**. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima, IIE, São Carlos. 247p, 2003.

UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar. **Histórico de produção e moagem por safra**. Disponível em <<https://observatoriodacana.com.br/>>, acesso em 25 jun 2021.

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo. **Grupo de alimentos**. Disponível em <<https://tabnut.dis.epm.br/alimento/>>, acesso em 11 ago, 2021.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R. P.; MORAIS, R. F.; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; SÁ, J. M.; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and ^{15}N natural abundance data for the contribution of biological N_2 fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant Soil**, v.356 p. 5-21, 2012.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 163 p., 2017.

VILLAR, M. L. **Manual de Interpretação de Análise de Plantas e Solos e Recomendação de Adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. Série documentos 35, 182 p., 2007.

YAMANDA, T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. Informações agronômicas: IPNI, v. 84, p. 1-8, 1998.

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T.; KIM, T. H.; DACANAY, E. V.; NAKANISHI, Y. The natural N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). **Plant Soil**, v. 189, p. 239-244, 1997.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FANCHINI, J. C.; ALVES B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Res.**, v. 132 p. 85-195, 2012.

8. APÊNDICE

7.1 Apêndice A – Tabelas de resultados de balanço de nutrientes nacional e estaduais

Tabela 17. Balanço agropecuário de N no Brasil entre os anos de 2000 a 2020 (Gg).

UF	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BR	1859	1654	1981	2041	2094	2259	2246	2419	2082	2380	2543	2930	2661	2706	2911	2540	3661	3067	3263	2900	3612
RO	22	22	20	22	22	20	17	13	16	13	13	17	11	12	15	15	17	9	13	12	20
AC	4	4	4	5	5	5	5	3	3	3	1	2	2	2	1	3	3	4	4	5	6
AM	6	7	7	7	8	8	9	7	6	7	7	6	5	6	7	8	8	2	2	1	3
RR	2	3	3	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	5	4	5
PA	53	57	58	57	57	57	57	60	66	69	71	76	76	79	85	-46	-44	-70	-60	-66	-62
AP	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	1	2	2	2	0	1
TO	26	27	29	30	30	29	31	32	33	30	30	34	44	45	53	54	62	62	60	60	77
MA	40	41	43	44	43	43	41	43	45	47	46	53	55	44	48	57	82	66	82	79	96
PI	20	23	26	24	27	27	26	29	25	21	29	25	30	38	26	27	46	35	46	43	38
CE	11	23	14	13	22	25	14	27	14	22	30	12	34	31	27	34	35	26	23	27	24
RN	15	16	15	15	13	15	15	16	13	13	16	14	16	15	17	17	18	17	15	16	18
PB	16	20	18	18	18	18	17	18	16	19	23	22	24	23	25	25	23	24	24	25	25
PE	42	49	44	47	44	44	46	48	47	48	54	46	54	53	52	53	54	54	53	54	55
AL	33	34	34	39	36	37	40	40	31	37	40	35	37	31	31	27	27	30	27	30	34
SE	8	9	9	10	6	5	6	7	2	4	3	11	13	5	7	12	23	10	21	7	6
BA	141	149	168	180	158	147	166	163	144	153	166	165	190	177	175	162	209	221	214	211	226
MG	327	311	313	374	370	411	423	455	370	401	444	527	506	482	529	507	631	620	528	541	623
ES	27	26	30	27	27	44	48	48	41	51	57	69	71	71	76	68	76	80	68	70	79
RJ	20	20	19	21	19	20	22	22	19	20	20	20	20	19	21	19	20	21	19	19	20
SP	348	306	327	367	344	371	412	474	412	442	445	538	460	510	521	462	554	570	527	501	644
PR	194	34	117	57	138	166	129	148	88	185	119	238	121	170	164	194	315	240	373	256	281
SC	11	65	98	77	98	119	113	121	111	145	125	132	135	151	139	116	173	175	165	149	161
RS	89	61	137	110	146	150	143	147	136	198	254	238	328	330	407	312	408	418	395	388	494
MS	105	72	103	89	94	113	98	102	96	118	108	135	79	76	79	58	163	90	138	80	133
MT	174	168	200	254	218	212	202	207	186	181	240	271	151	109	177	131	386	97	228	148	289
GO	118	102	137	148	141	161	157	177	153	147	193	236	190	218	223	223	360	260	290	239	314
DF	5	5	5	5	4	5	3	3	1	2	3	5	2	3	-1	0	7	2	2	-1	2

Tabela 18. Balanço agropecuário de P no Brasil entre os anos de 2000 a 2020 (Gg).

UF	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BR	737	690	850	973	1020	808	876	1016	764	903	901	974	1160	1127	1157	921	1293	1080	1144	1179	1396
RO	1	1	0	1	0	-2	-3	-3	-2	-3	-2	-1	-1	-2	0	-1	-1	-6	-6	-5	-5
AC	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
AM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
RR	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
PA	5	5	5	5	3	2	0	2	2	3	3	6	8	13	16	8	17	9	16	17	21
AP	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
TO	3	3	5	9	8	7	8	9	4	2	6	8	19	23	26	26	37	28	31	38	39
MA	12	12	14	18	21	16	15	19	13	24	23	25	31	32	27	23	36	29	33	32	44
PI	6	7	8	9	10	9	10	11	8	11	14	17	26	29	19	16	20	16	15	12	15
CE	1	4	1	1	3	4	1	4	1	3	5	1	6	6	5	7	7	5	5	6	5
RN	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3
PB	2	3	2	2	2	2	2	2	1	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3
PE	7	8	7	8	7	6	10	9	6	7	9	7	9	9	9	9	10	11	11	11	12
AL	5	5	5	6	5	6	7	6	3	3	5	4	6	3	4	3	4	4	5	5	6
SE	1	1	1	2	0	0	1	2	0	1	1	3	4	2	4	4	7	4	8	3	3
BA	43	49	56	61	62	54	61	66	54	70	74	80	89	89	80	54	71	63	61	68	71
MG	104	103	107	123	117	115	125	136	103	131	118	145	151	144	157	134	160	156	140	154	170
ES	6	6	7	5	5	9	10	11	8	9	10	12	14	13	15	12	13	15	13	14	14
RJ	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3
SP	125	104	103	114	91	95	127	148	89	92	89	126	126	124	114	98	109	116	112	118	150
PR	109	60	83	85	114	91	123	132	89	134	71	97	117	116	135	121	165	131	189	154	155
SC	31	30	43	38	41	44	45	44	50	56	42	42	54	52	46	38	55	49	50	55	61
RS	78	83	122	108	142	122	94	93	100	144	104	101	188	164	180	126	163	164	159	161	244
MS	34	19	33	41	51	28	22	37	28	39	27	32	38	41	45	25	54	23	13	50	58
MT	91	104	152	216	220	121	122	171	122	105	203	143	156	141	145	94	199	130	156	134	174
GO	65	70	83	111	105	68	83	108	75	61	89	114	107	113	115	114	153	120	122	140	146
DF	3	4	4	4	4	3	3	3	1	2	2	3	3	5	3	2	4	3	2	2	2

Tabela 19. Balanço agropecuário de K no Brasil entre os anos de 2000 a 2020 (Gg).

UF	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BR	2211	2013	2342	2746	2923	2576	2525	2992	2561	2358	2603	3009	3343	3206	3510	3051	3706	3236	3430	3523	3964
RO	14	13	18	19	20	18	19	19	18	19	19	22	25	25	26	23	27	16	19	20	23
AC	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	5	5	6
AM	0	4	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	5	5	5	1	1	0	1
RR	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	1	2	2	2	1	3
PA	37	41	43	47	51	48	48	55	60	58	60	66	72	81	89	-10	-10	-34	-27	-47	-24
AP	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	2	1	3	2	2	1	2
TO	23	23	27	33	31	27	32	38	24	21	25	36	52	60	66	66	83	73	64	46	92
MA	38	42	45	51	53	49	53	58	51	48	55	62	76	75	78	67	99	78	83	60	114
PI	18	21	24	24	25	22	25	28	28	21	32	32	47	53	38	33	52	38	38	14	49
CE	9	16	10	9	13	15	10	17	9	14	18	9	19	19	17	20	21	16	15	20	17
RN	12	13	11	13	10	10	12	13	9	9	12	10	10	8	10	10	11	9	9	11	13
PB	11	14	14	14	14	17	14	16	14	16	22	18	22	19	21	22	20	20	23	24	25
PE	34	42	34	38	34	39	42	41	42	38	46	36	46	39	43	39	43	41	40	48	45
AL	32	36	35	39	37	41	45	47	34	37	44	33	37	25	24	23	21	22	21	27	31
SE	5	6	6	9	4	8	6	8	6	7	6	8	10	7	7	9	13	7	12	8	8
BA	114	131	141	161	153	126	149	168	207	140	152	169	217	217	245	184	239	216	205	218	214
MG	304	289	311	367	371	381	384	438	360	338	395	469	455	408	487	450	494	484	420	515	548
ES	14	14	28	24	24	33	36	36	33	28	36	42	43	43	46	44	53	53	40	45	46
RJ	14	14	11	14	12	13	17	16	13	13	14	12	12	15	14	12	14	15	12	14	13
SP	468	405	442	504	496	501	558	642	525	523	467	620	516	514	565	473	528	511	475	552	611
PR	220	142	171	203	284	222	228	268	202	210	156	212	264	210	307	269	343	291	438	362	285
SC	76	76	100	107	109	112	109	108	117	114	98	98	120	107	100	86	116	126	124	131	134
RS	197	195	279	245	351	304	211	204	210	214	203	208	382	313	344	273	332	314	341	372	541
MS	125	97	124	146	172	129	99	133	123	123	136	168	192	176	196	187	245	179	157	250	254
MT	197	198	268	438	400	290	249	368	264	213	364	371	443	483	459	408	563	431	534	455	584
GO	236	168	181	222	241	153	161	253	196	141	227	293	266	290	314	347	382	319	375	371	326
DF	5	6	6	7	6	4	4	5	3	1	2	3	3	4	3	3	5	2	2	1	1

7.2 Apêndice B – Gráficos estaduais de entradas e saídas no balanço de NPK em solos de agropecuária discriminados por fonte

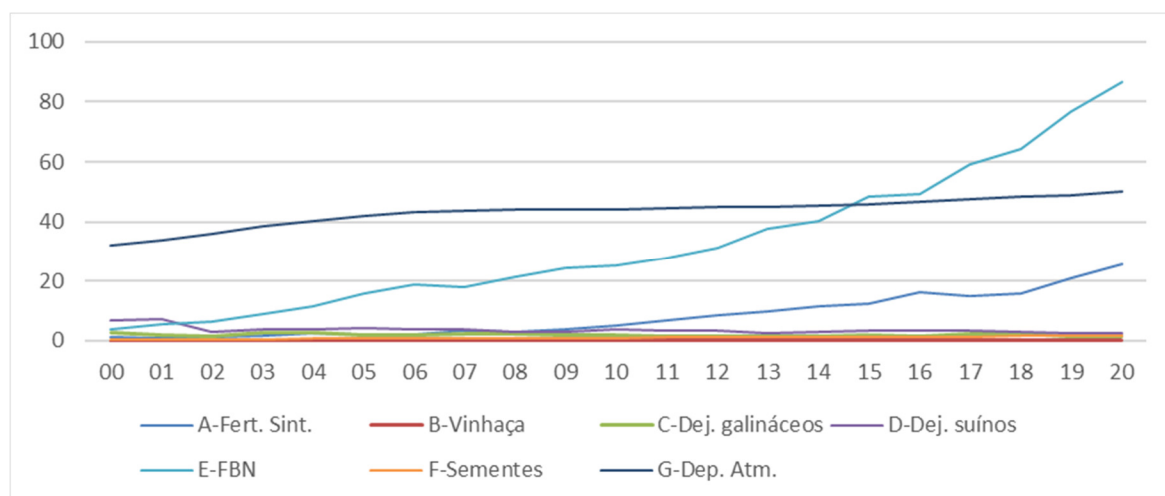


Figura 12. Entradas no balanço agropecuário de N de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

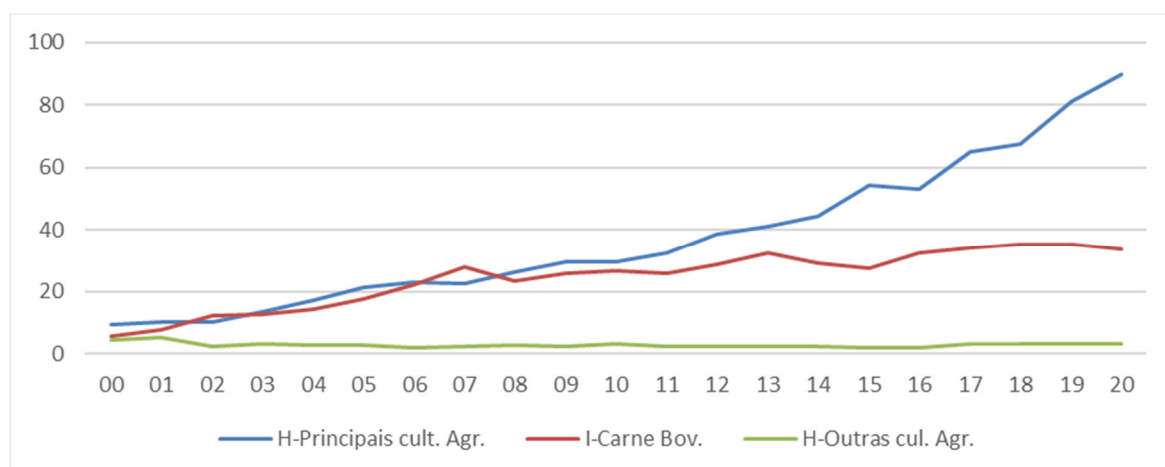


Figura 13. Saídas no balanço agropecuário de N de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

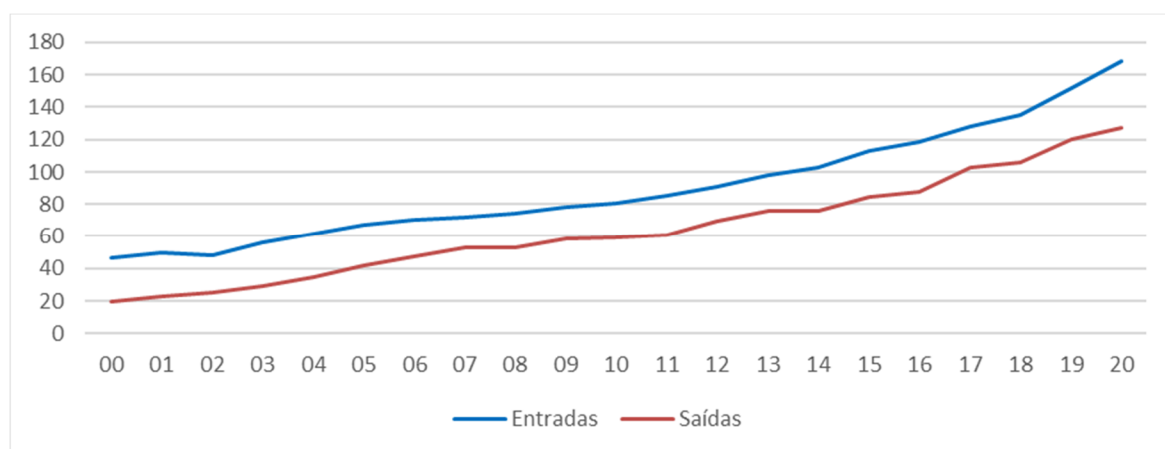


Figura 14. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

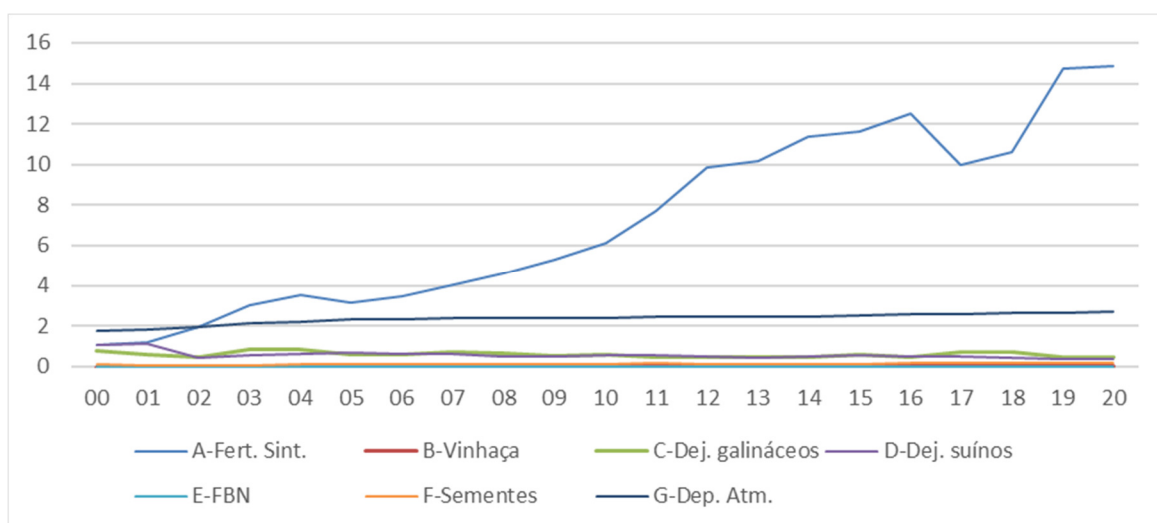


Figura 15. Entradas no balanço agropecuário de P de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

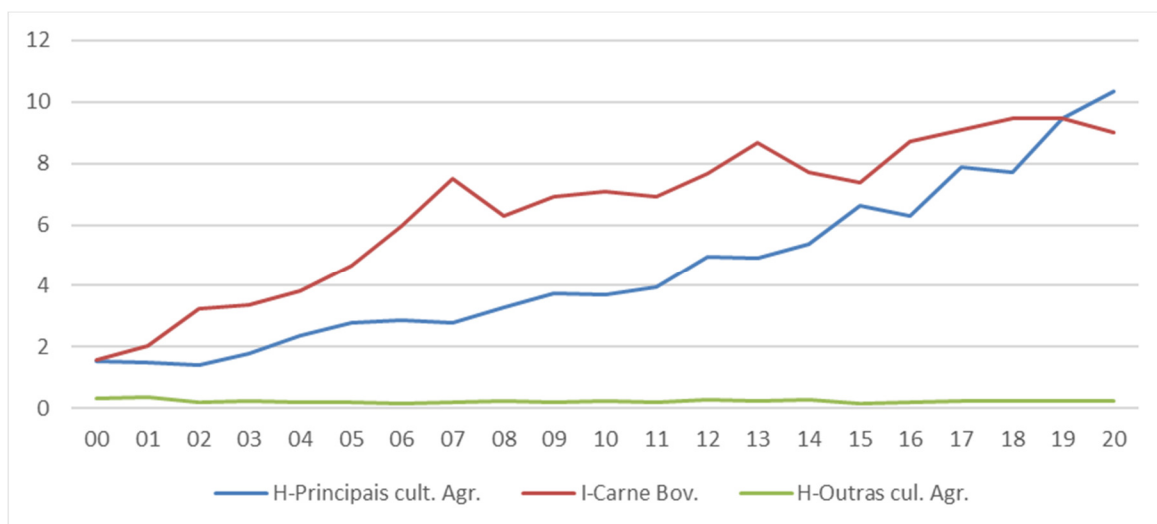


Figura 16. Saídas no balanço agropecuário de P de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

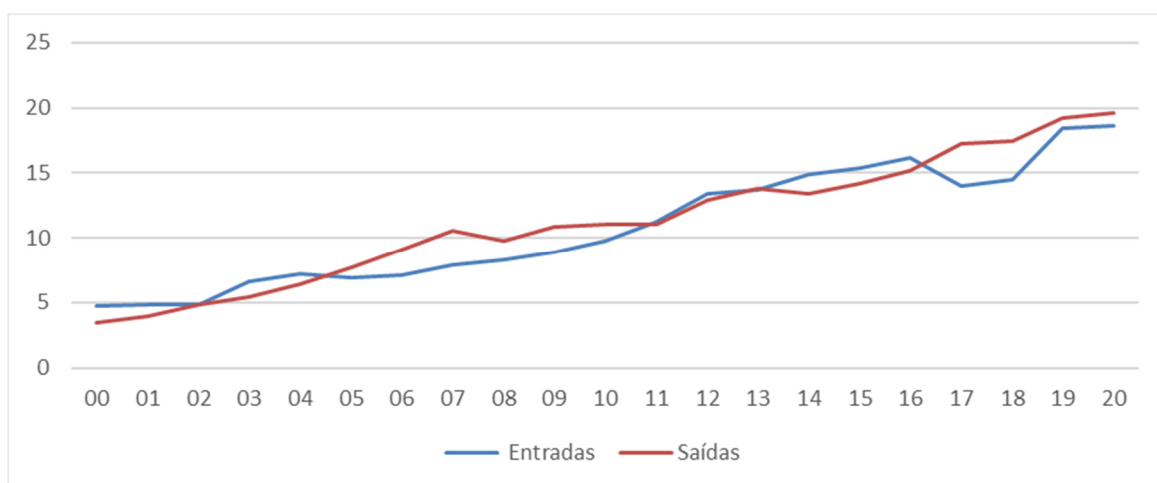


Figura 17. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

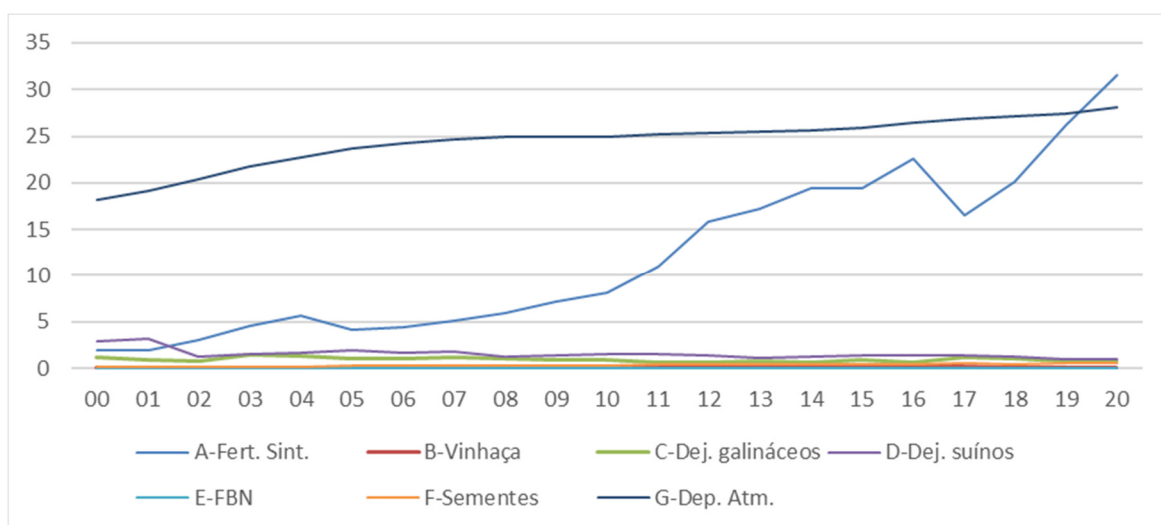


Figura 18. Entradas no balanço agropecuário de K de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

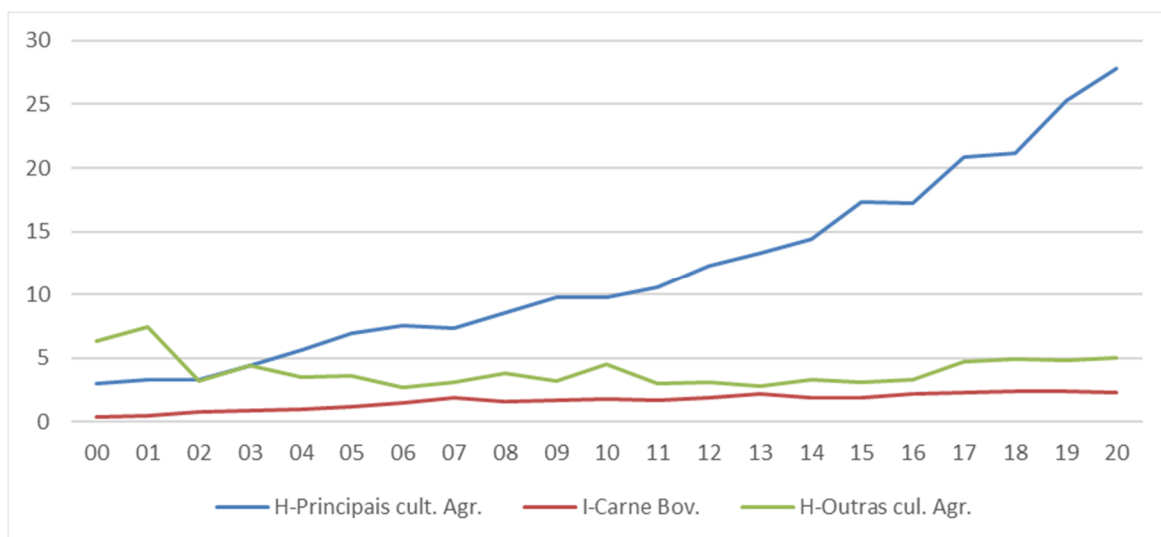


Figura 19. Saídas no balanço agropecuário de K de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

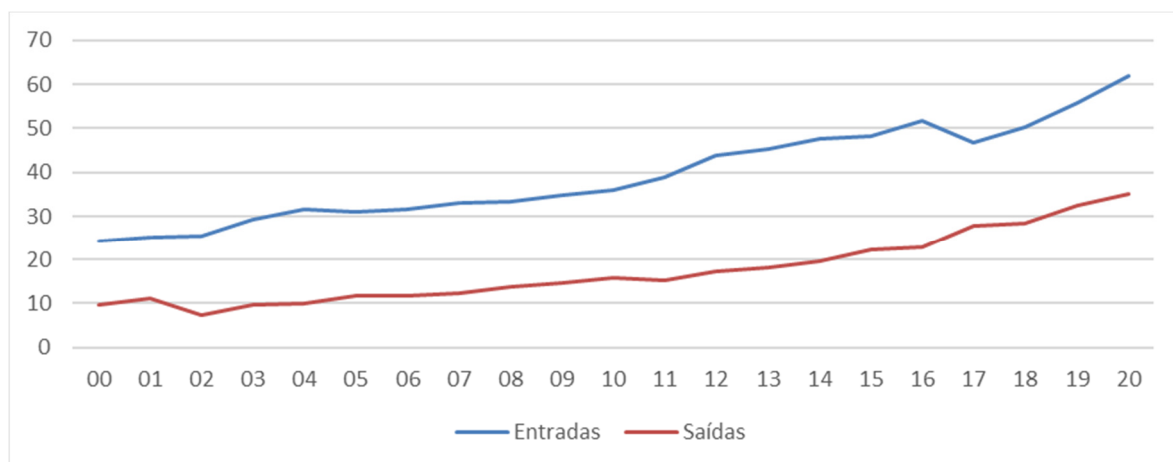


Figura 20. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Rondônia de 2000 a 2020 (Gg).

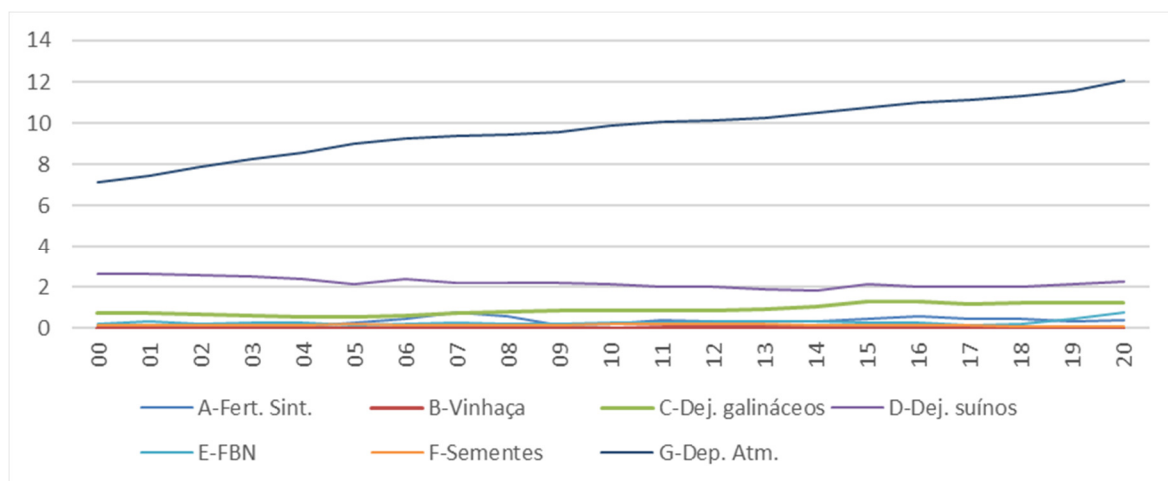


Figura 21. Entradas no balanço agropecuário de N do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

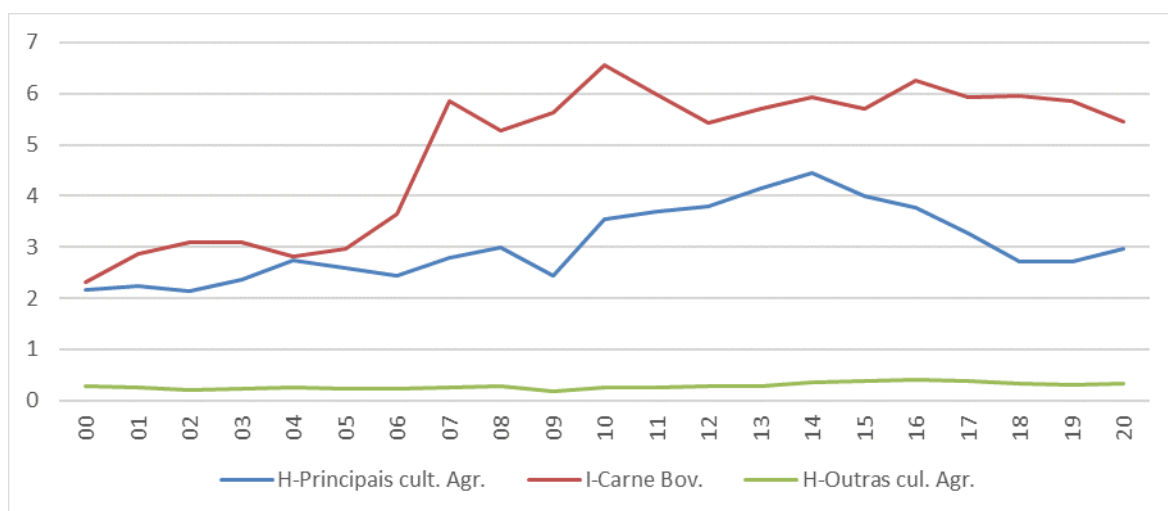


Figura 22. Saídas no balanço agropecuário de N do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

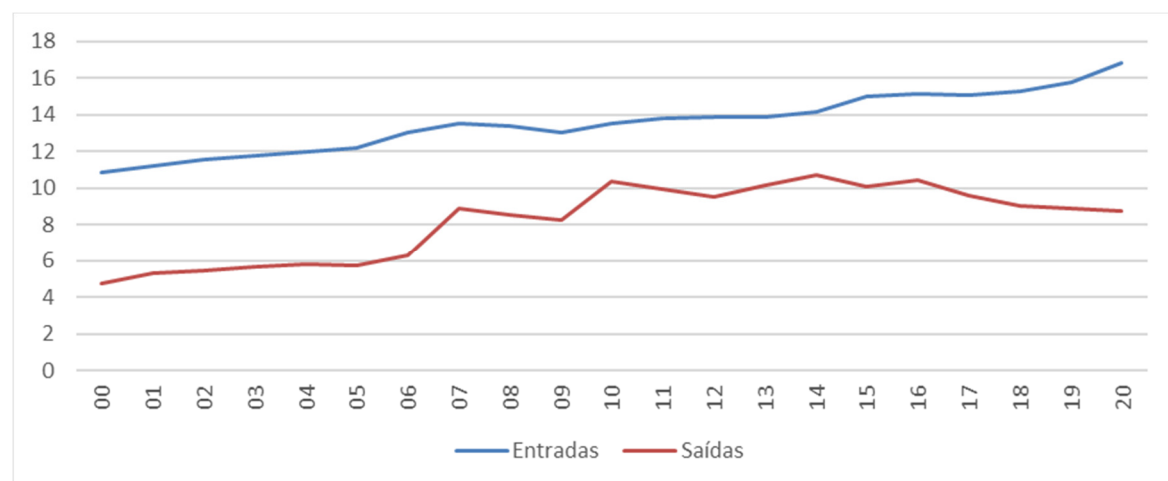


Figura 23. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

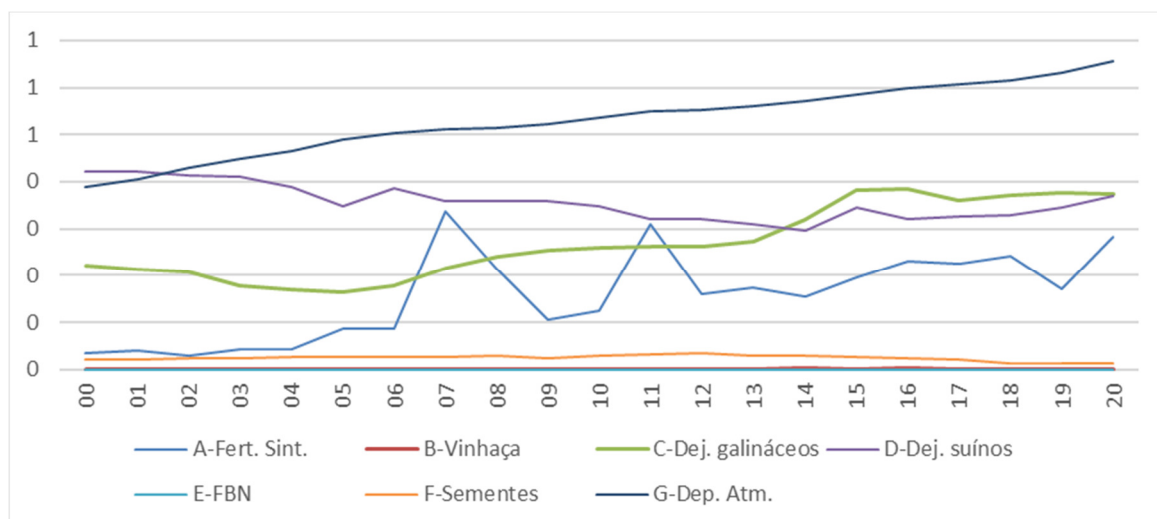


Figura 24. Entradas no balanço agropecuário de P do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

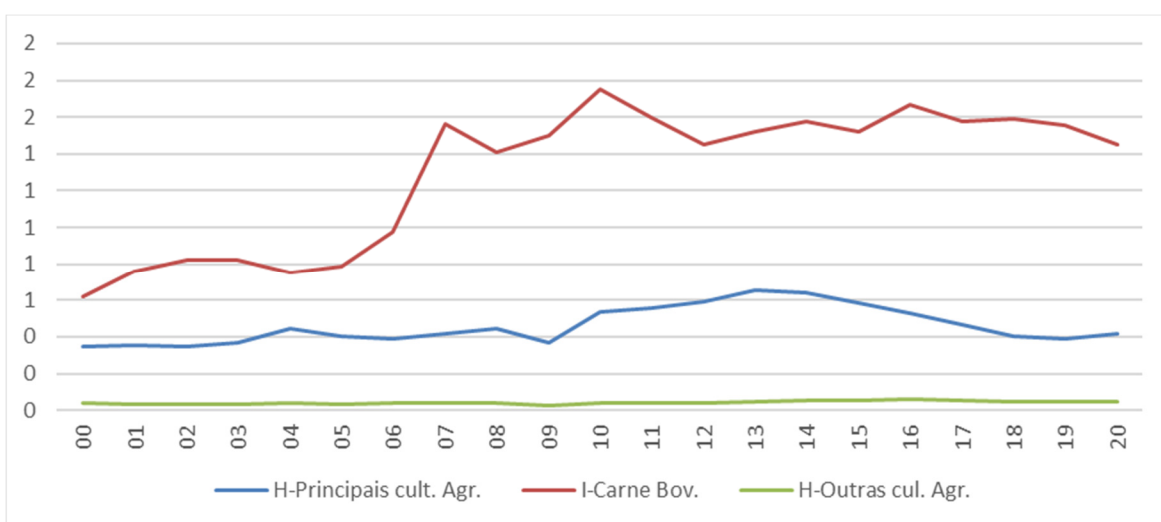


Figura 25. Saídas no balanço agropecuário de P do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

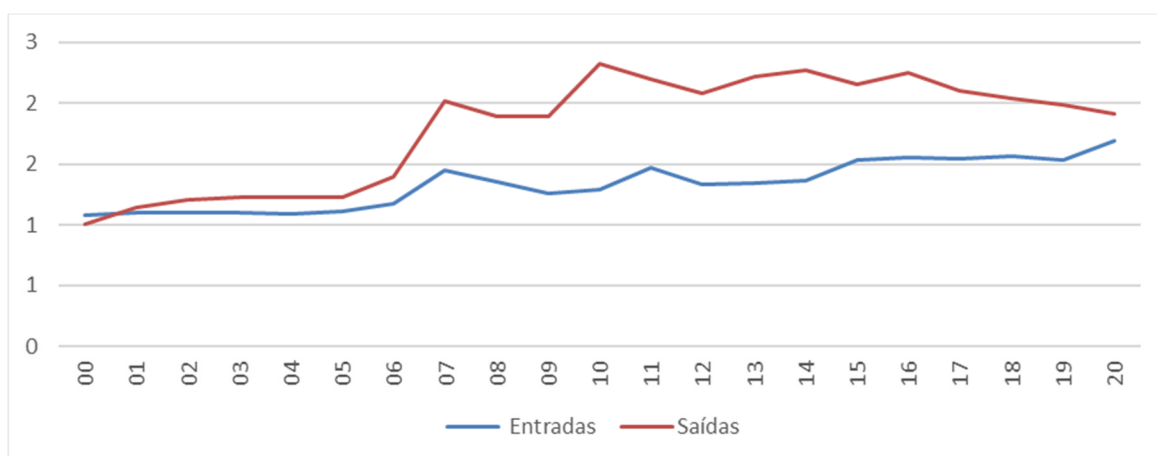


Figura 26. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

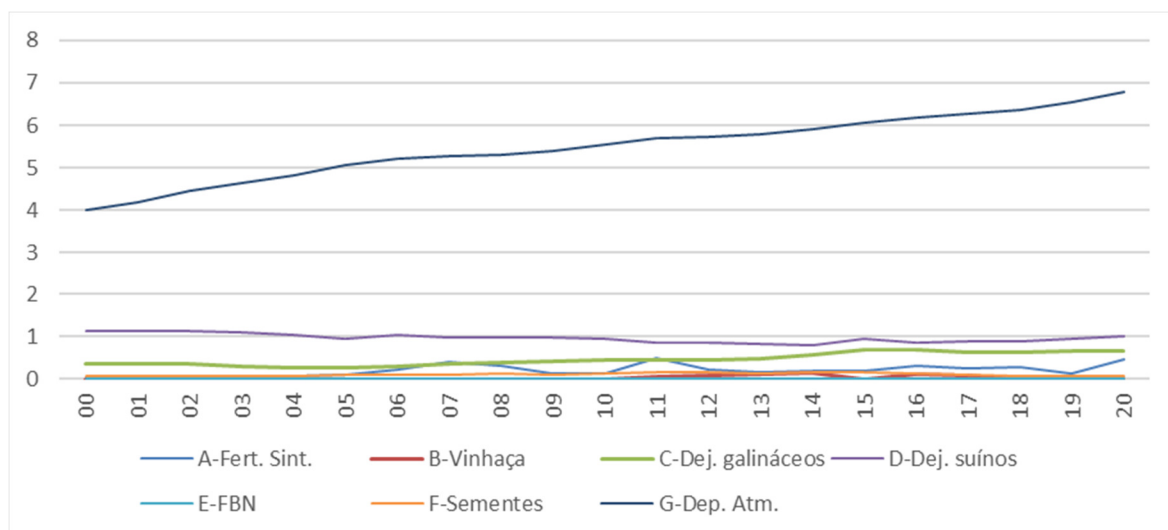


Figura 27. Entradas no balanço agropecuário de K do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

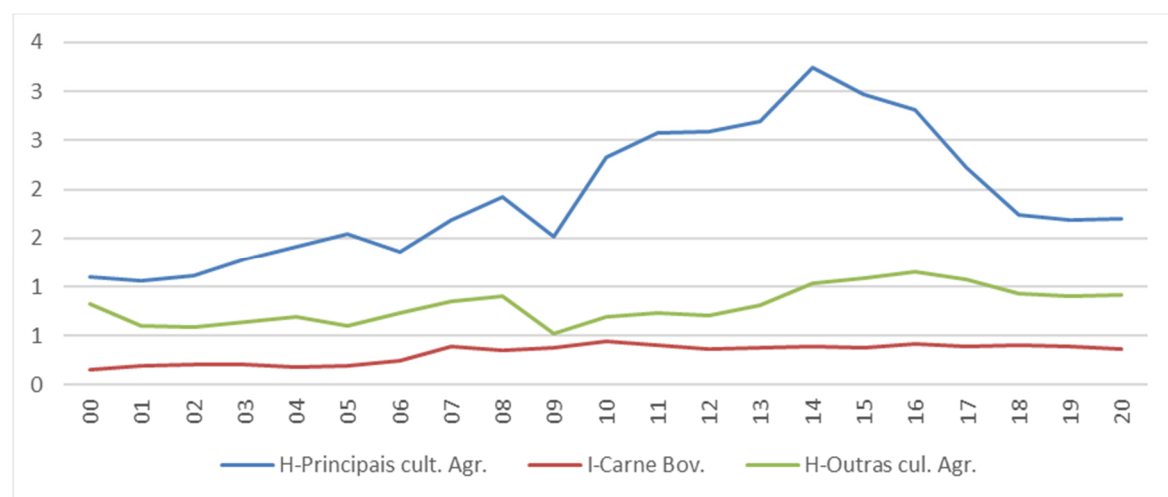


Figura 28. Saídas no balanço agropecuário de K do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

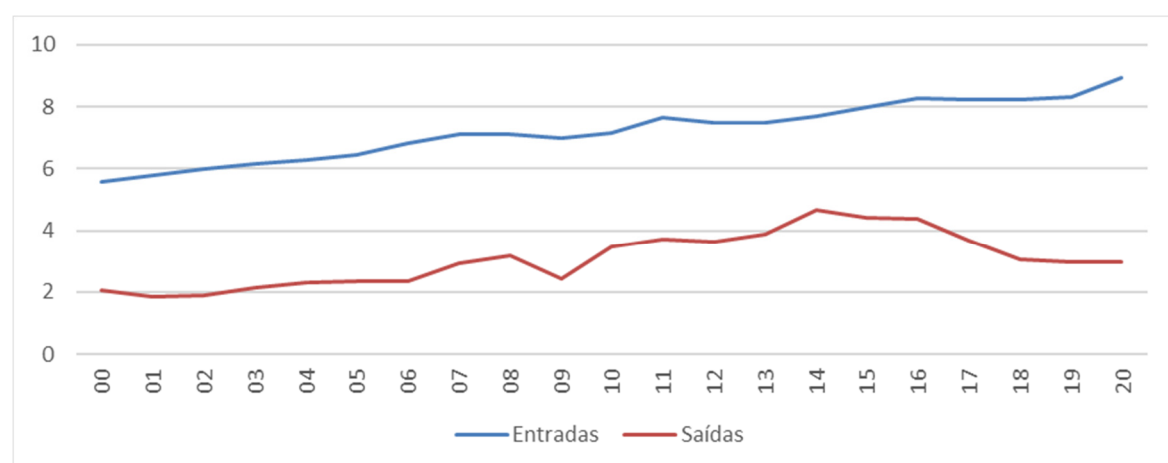


Figura 29. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Acre entre 2000 a 2020 (Gg).

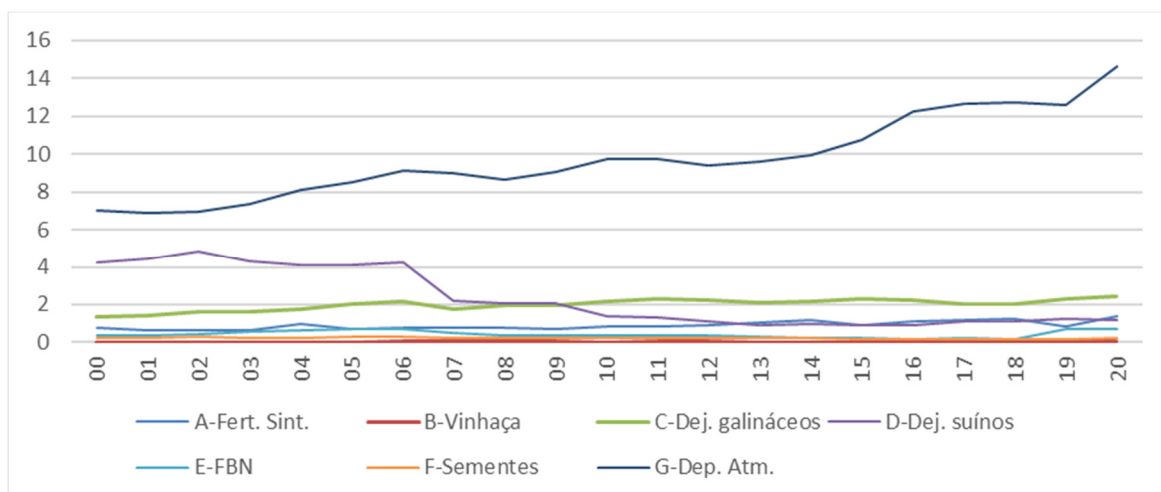


Figura 30. Entradas no balanço agropecuário de N da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

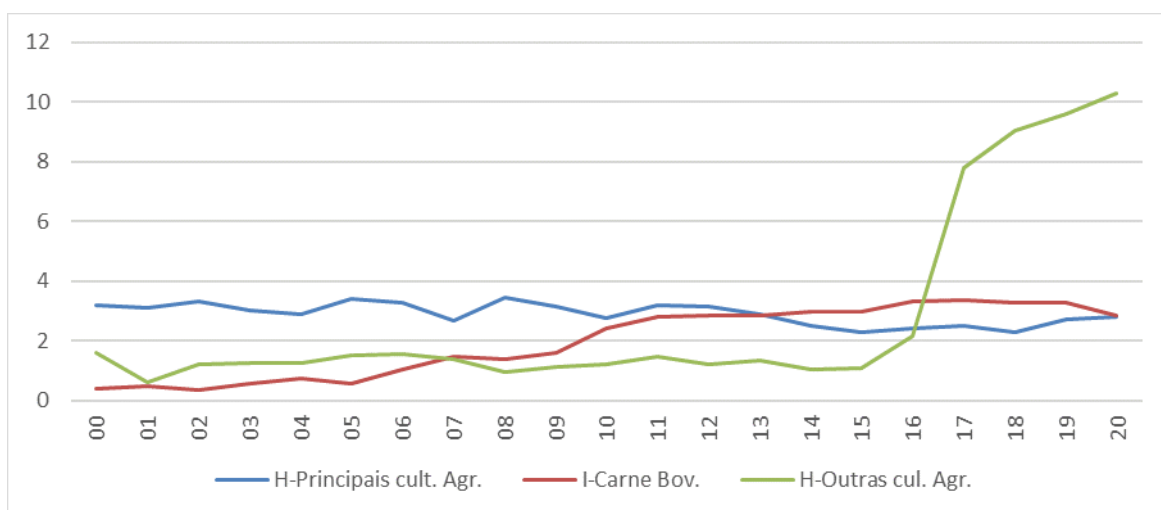


Figura 31. Saídas no balanço agropecuário de N da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

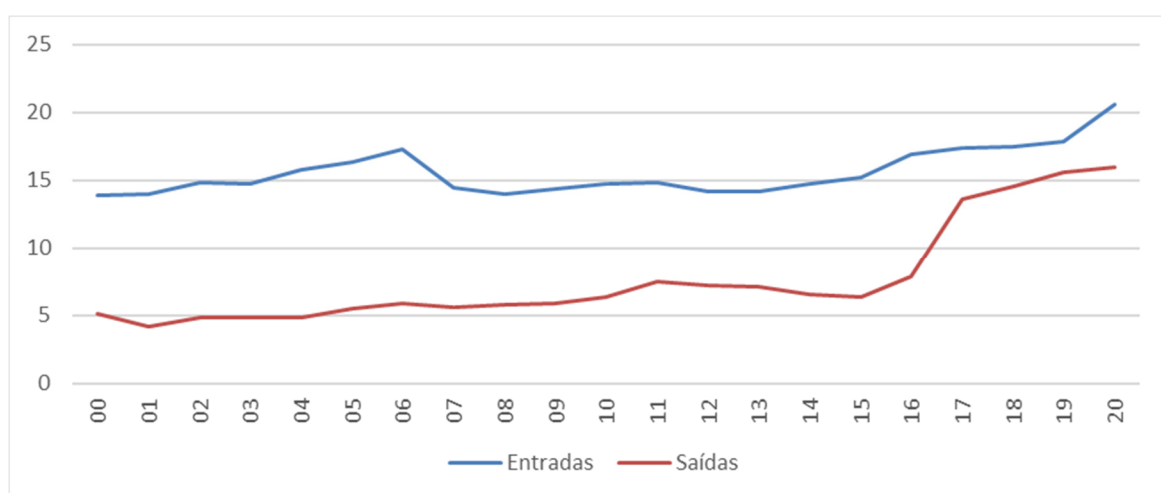


Figura 32. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

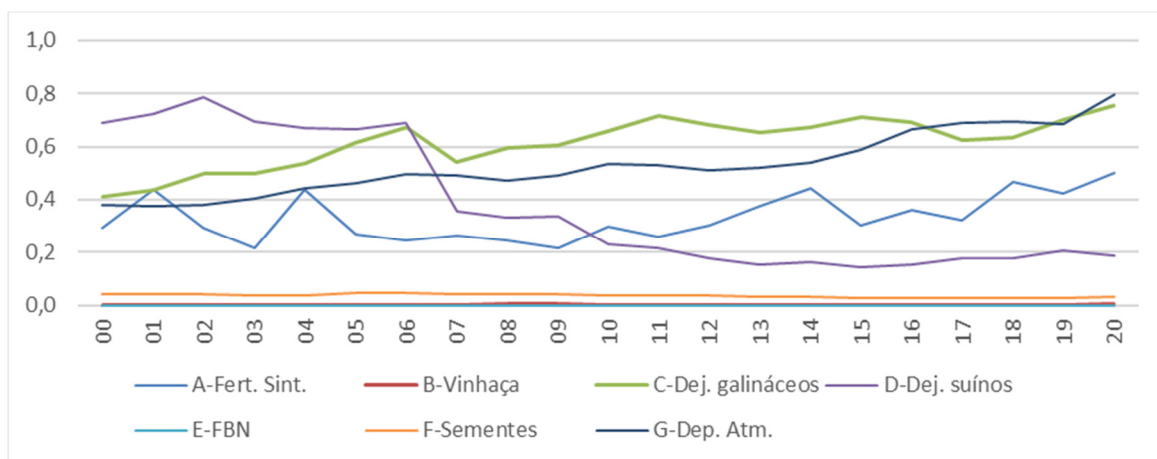


Figura 33. Entradas no balanço agropecuário de P da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

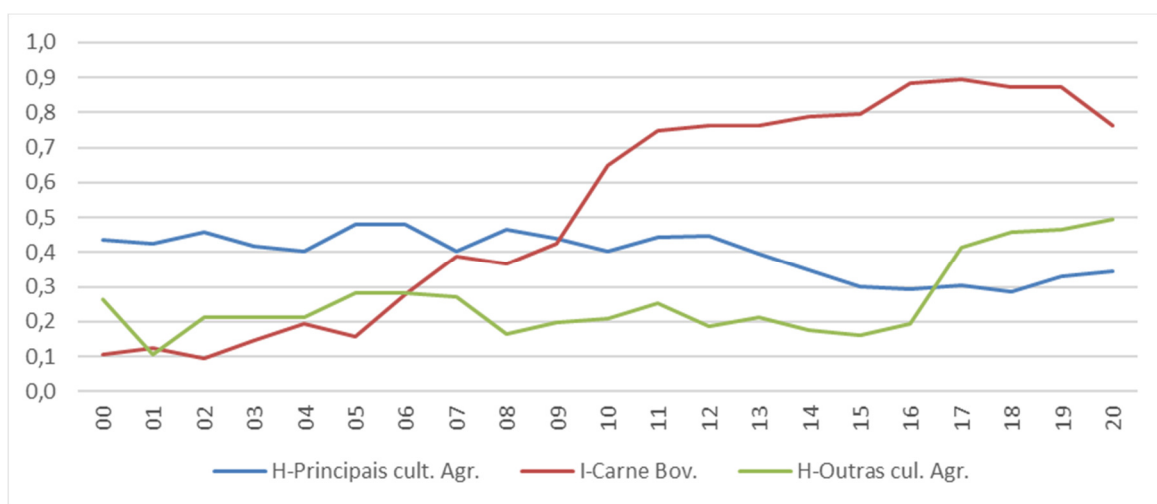


Figura 34. Saídas no balanço agropecuário de P da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

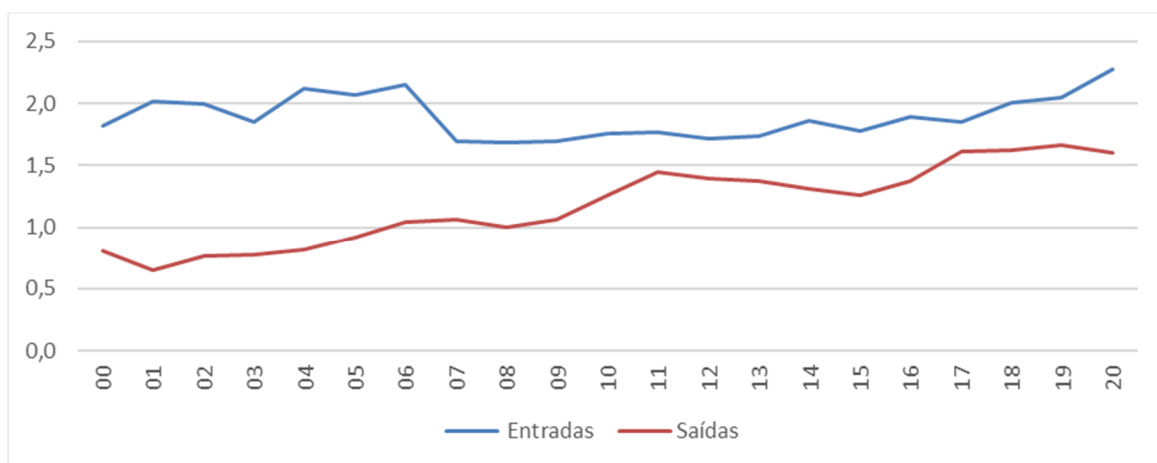


Figura 35. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

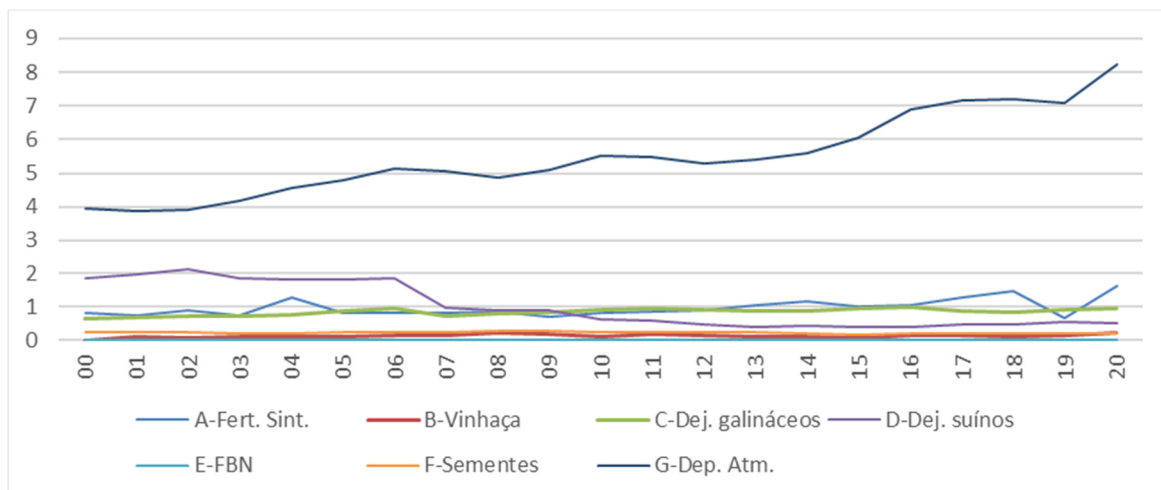


Figura 36. Entradas no balanço agropecuário de K da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

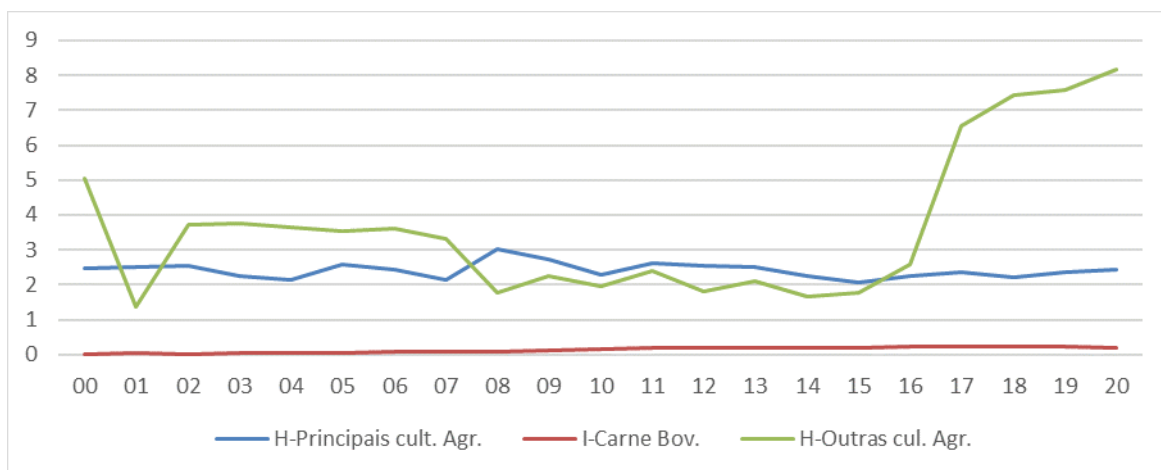


Figura 37. Saídas no balanço agropecuário de K da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

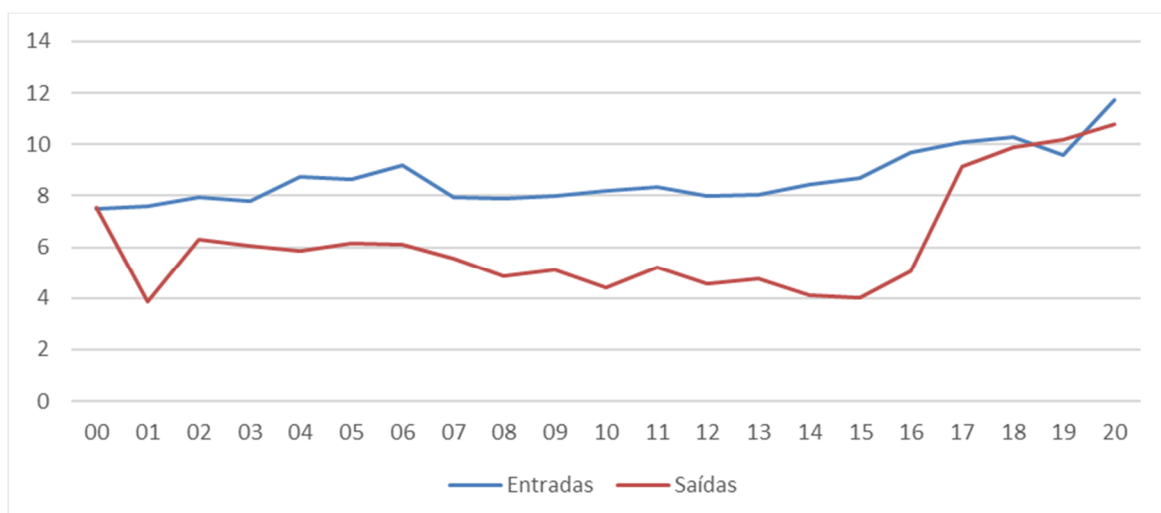


Figura 38. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K da Amazônia entre 2000 a 2020 (Gg).

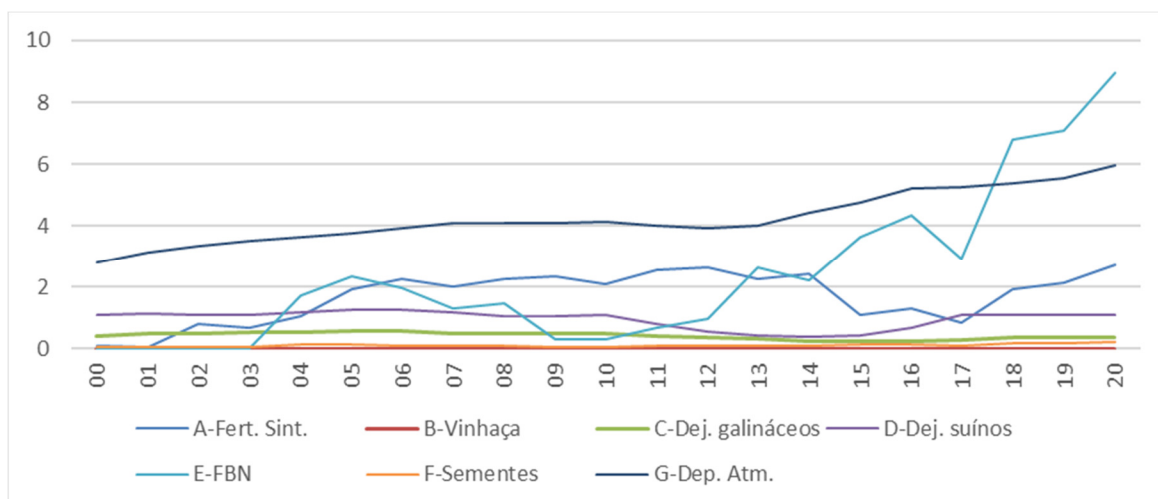


Figura 39. Entradas no balanço agropecuário de N de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

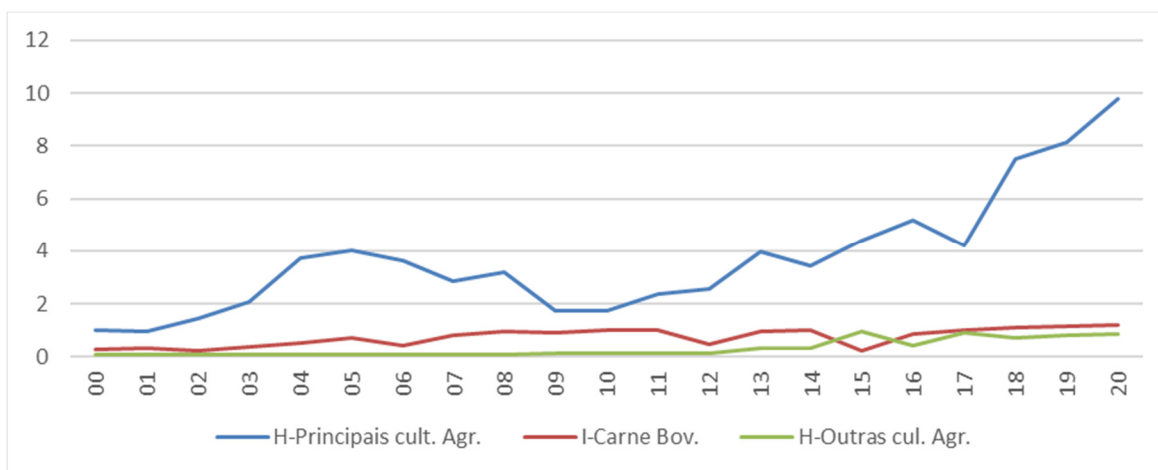


Figura 40. Saídas no balanço agropecuário de N de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

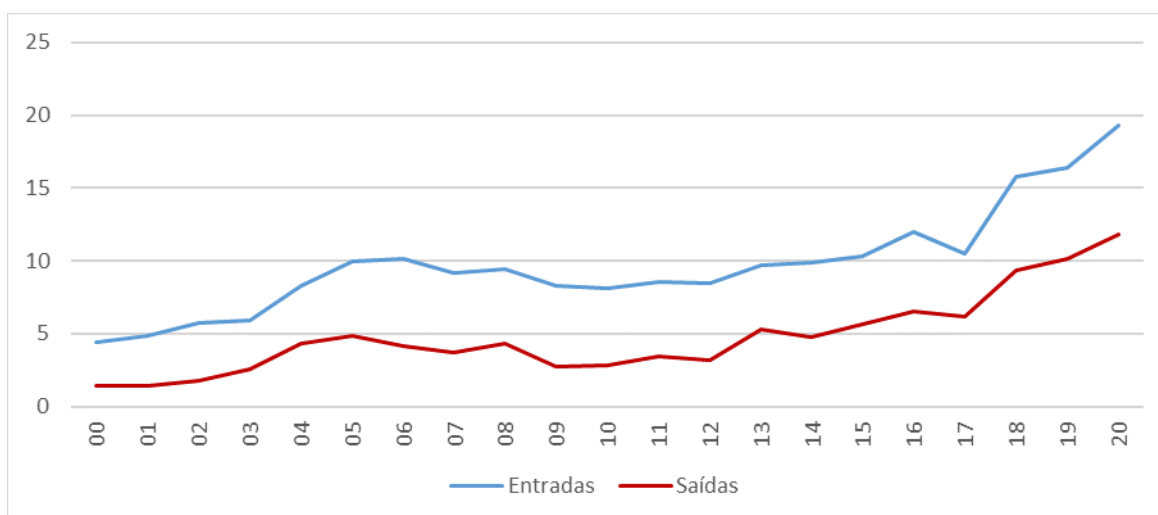


Figura 41. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

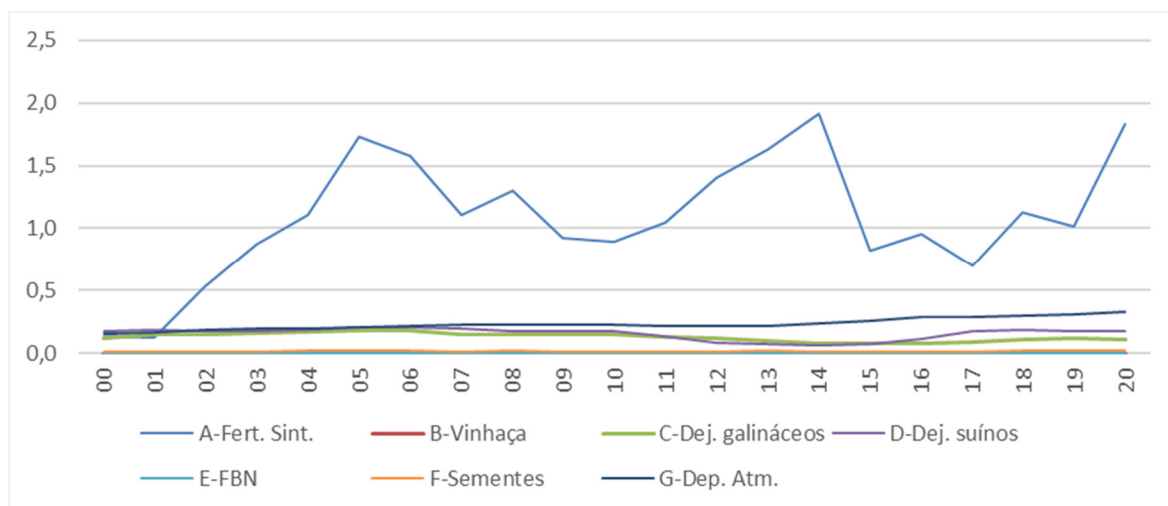


Figura 42. Entradas no balanço agropecuário de P de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

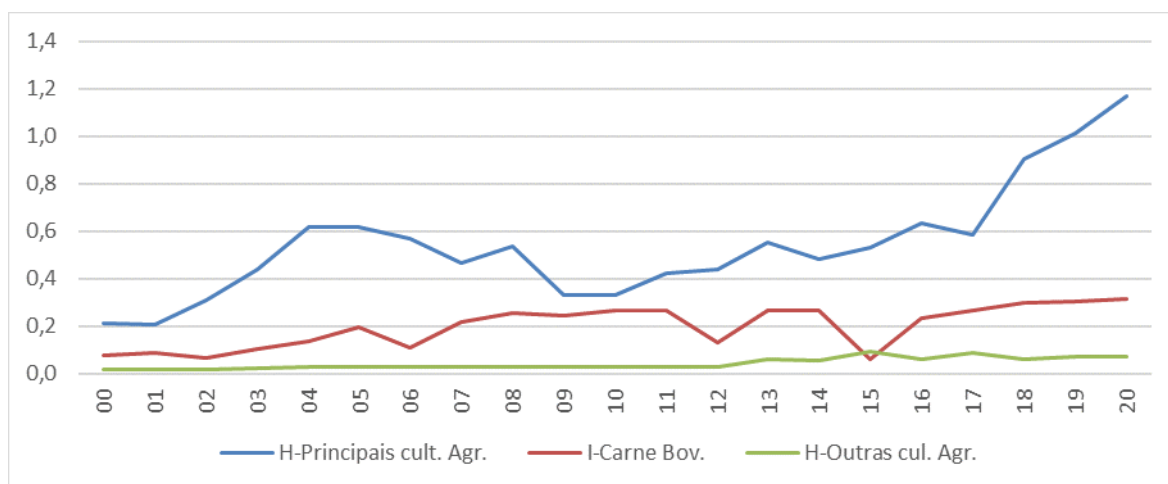


Figura 43. Saídas no balanço agropecuário de P de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

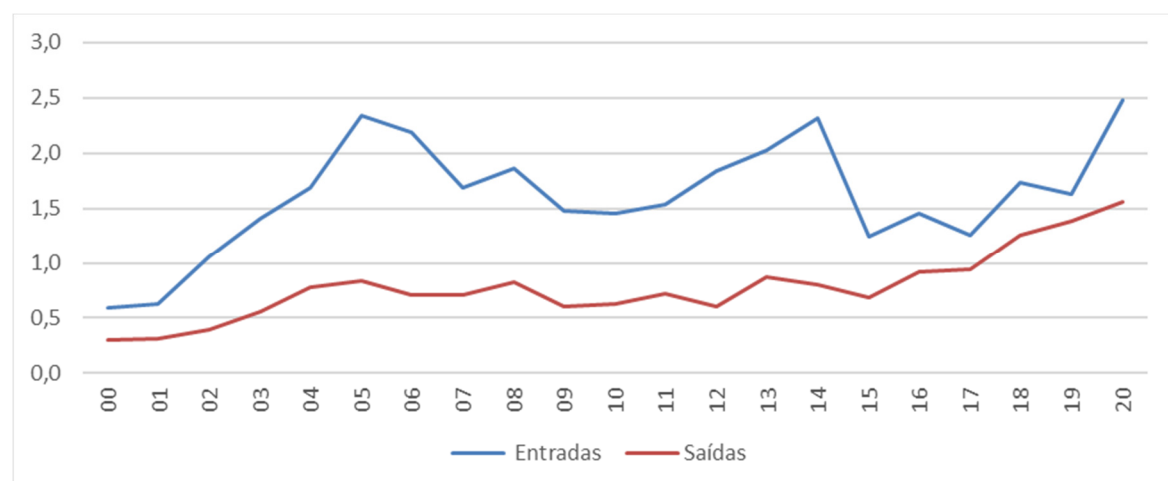


Figura 44. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

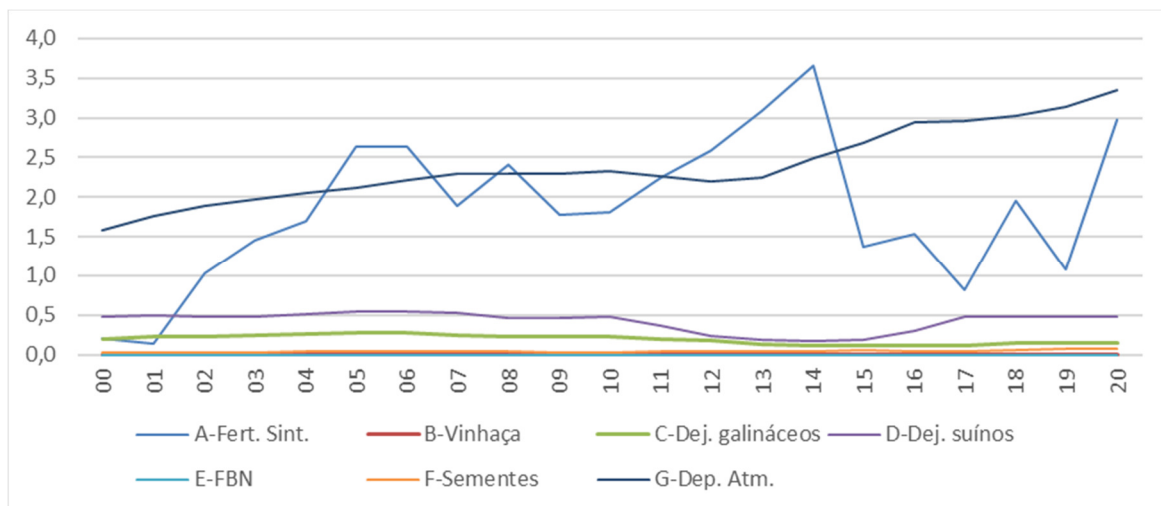


Figura 45. Entradas no balanço agropecuário de K de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

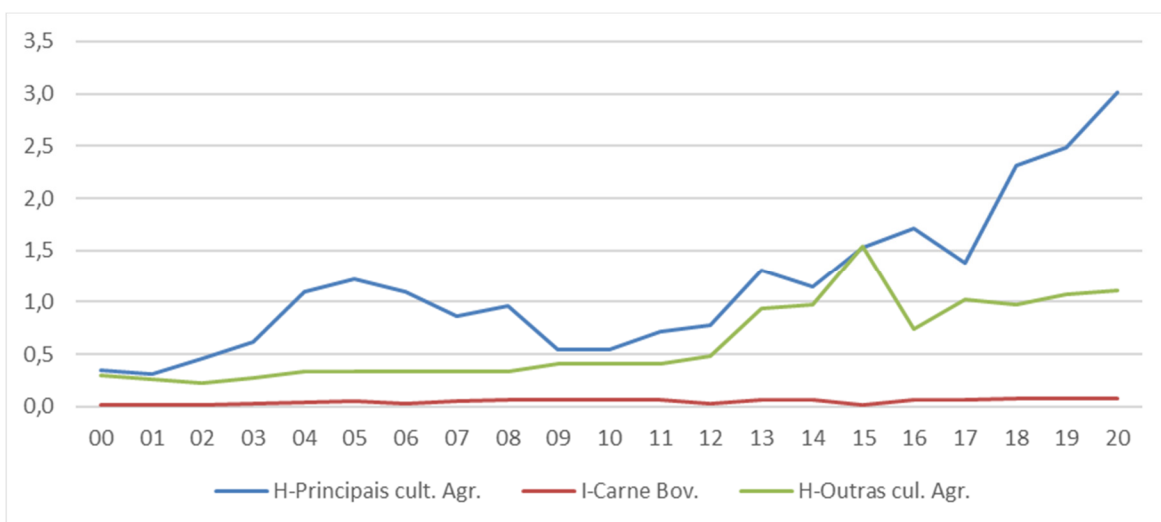


Figura 46. Saídas no balanço agropecuário de K de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

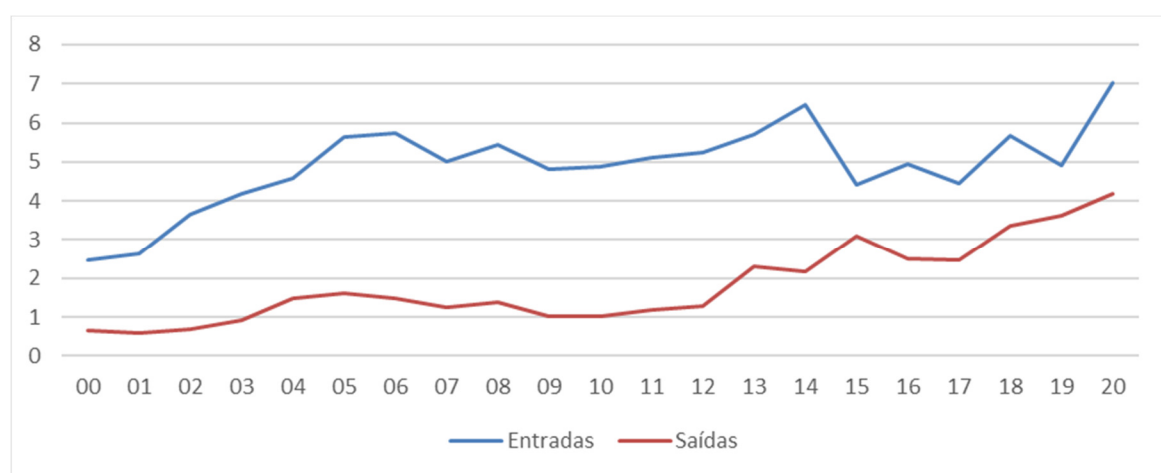


Figura 47. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Roraima entre 2000 a 2020 (Gg).

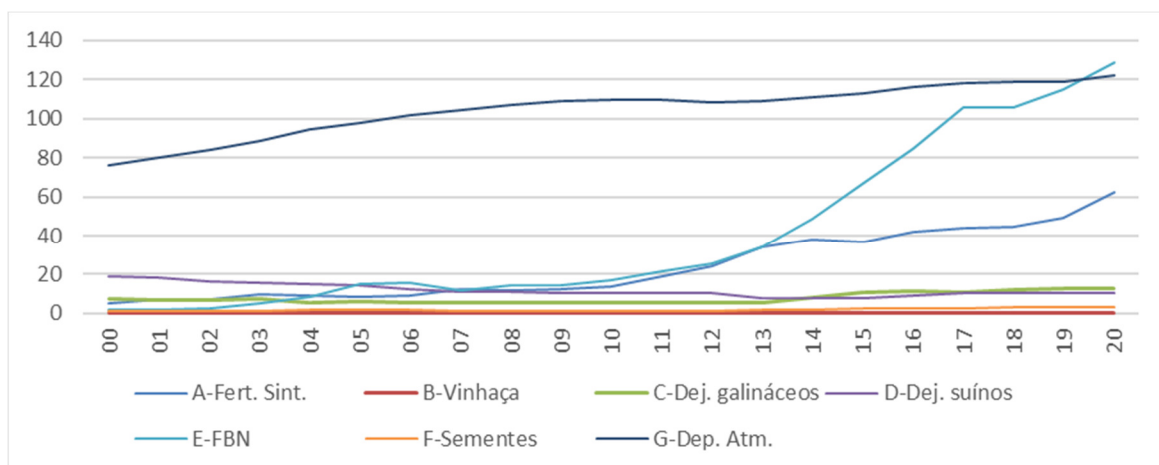


Figura 48. Entradas no balanço agropecuário de N do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

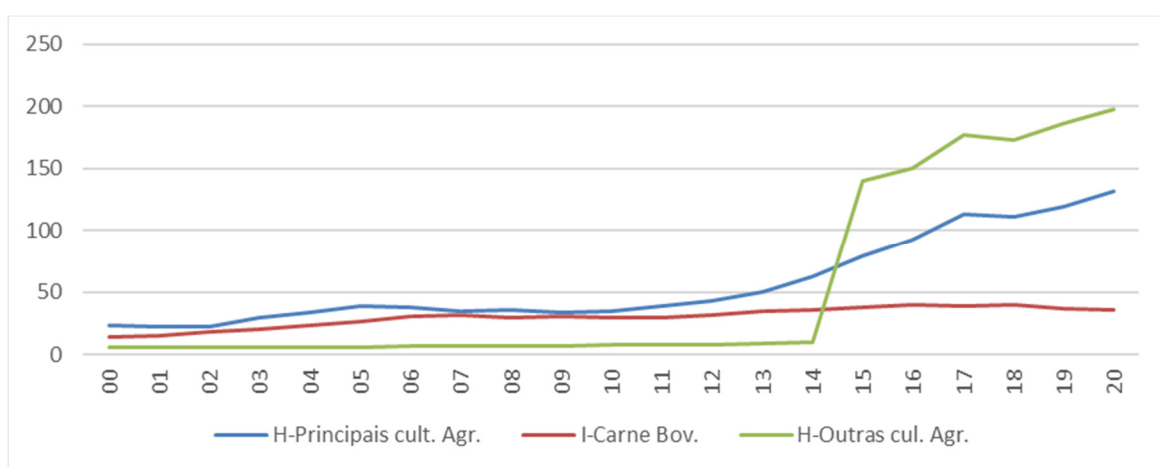


Figura 49. Saídas no balanço agropecuário de N do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

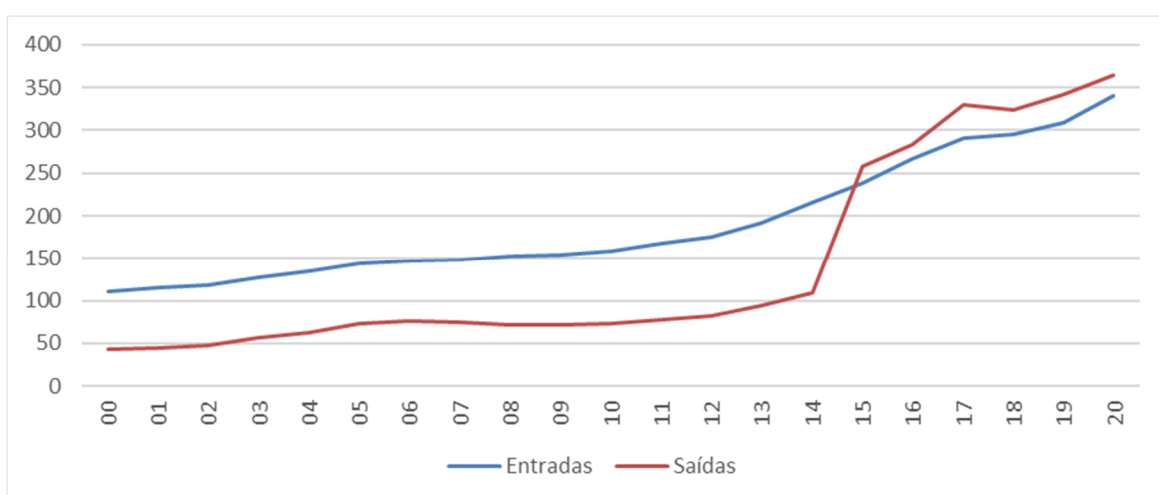


Figura 50. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

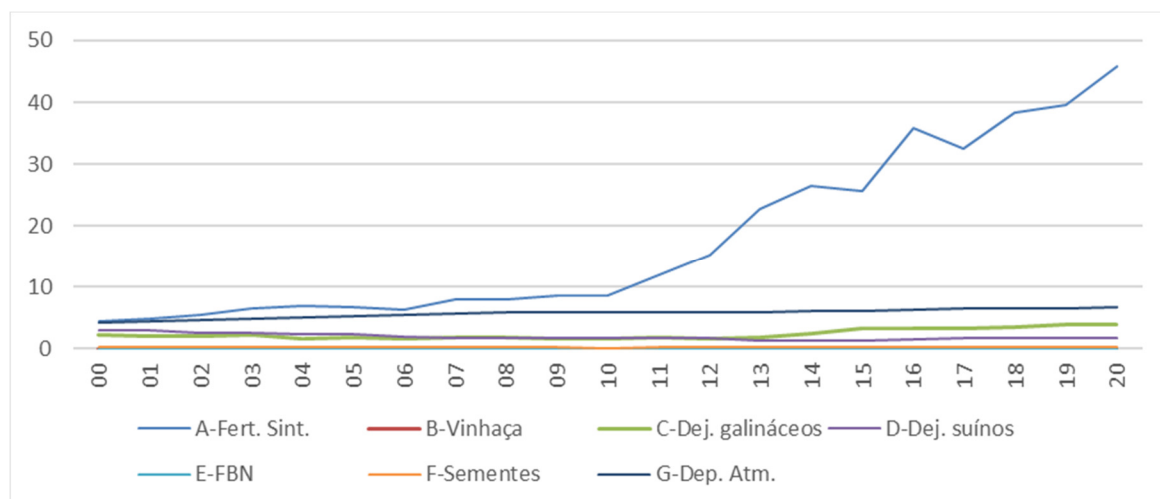


Figura 51. Entradas no balanço agropecuário de P do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

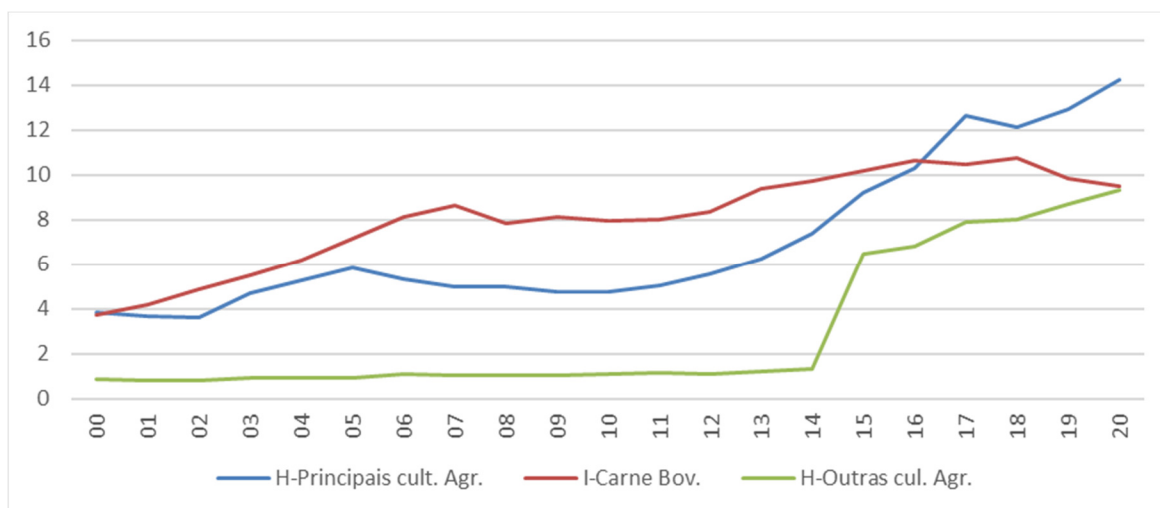


Figura 52. Saídas no balanço agropecuário de P do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

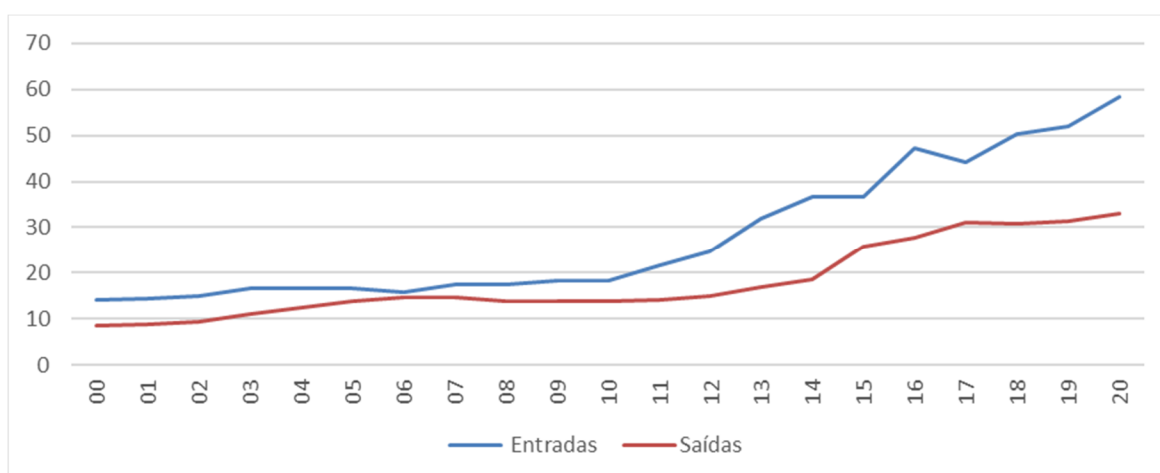


Figura 53. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

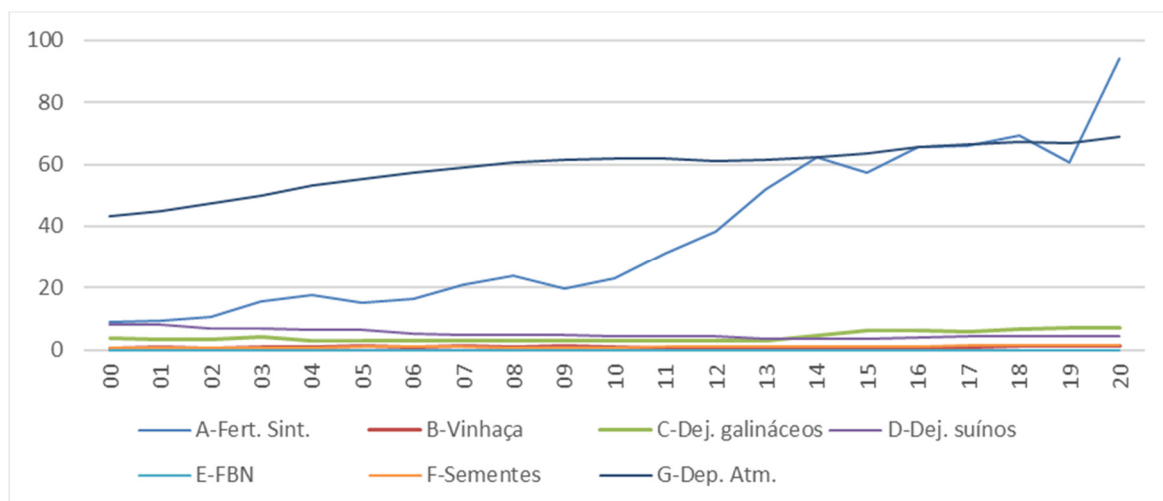


Figura 54. Entradas no balanço agropecuário de K do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

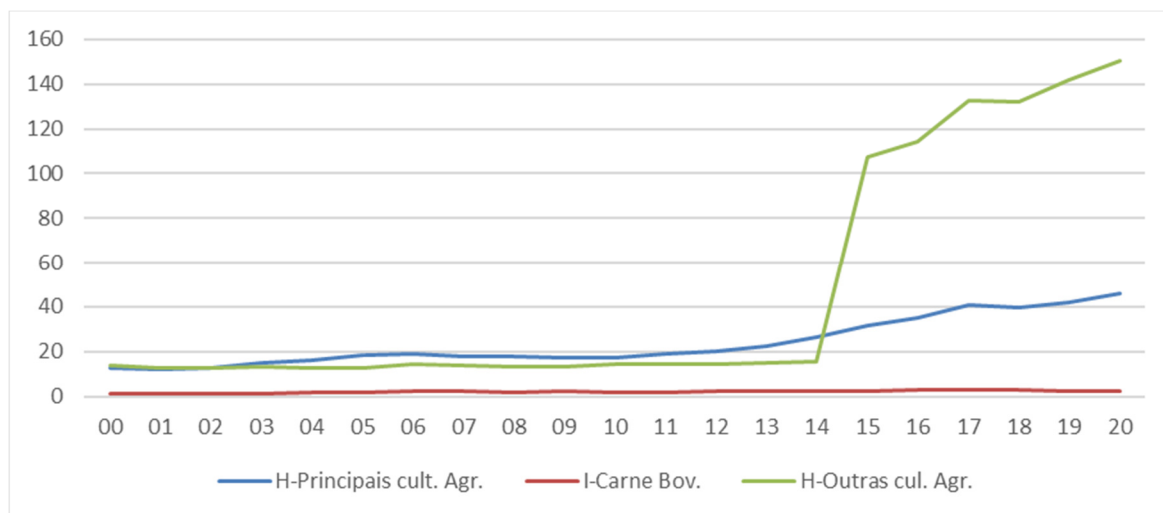


Figura 55. Saídas no balanço agropecuário de K do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

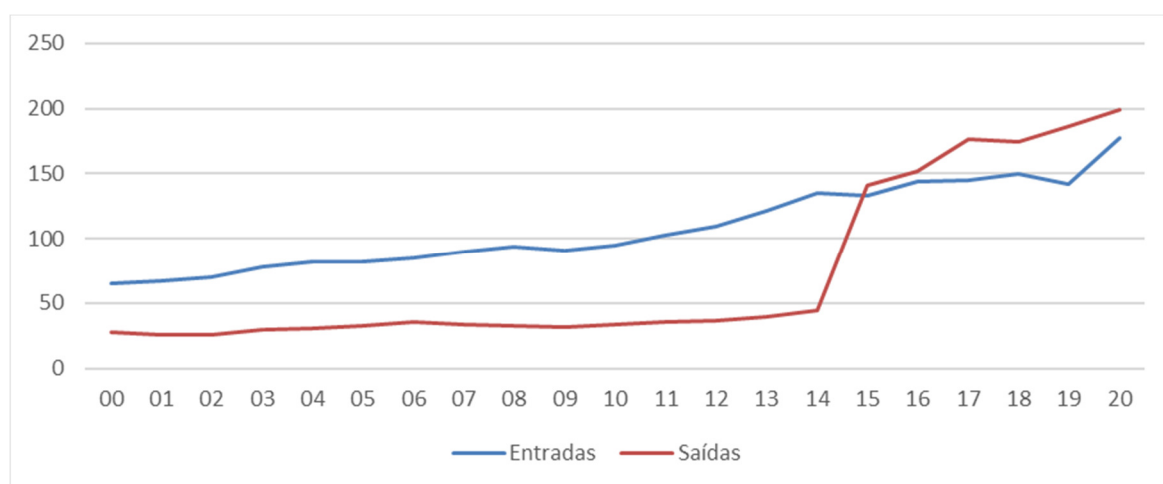


Figura 56. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Pará entre 2000 a 2020 (Gg).

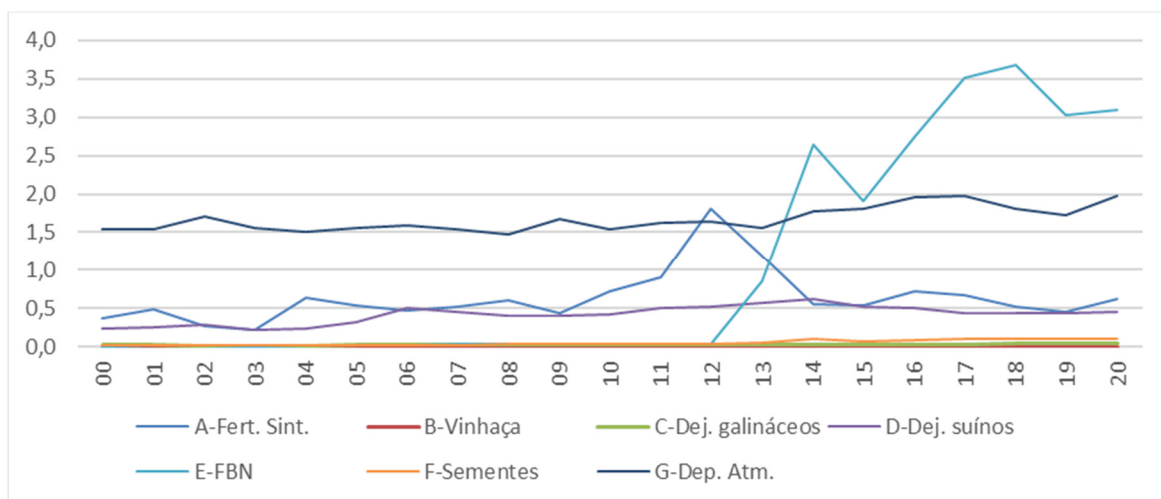


Figura 57. Entradas no balanço agropecuário de N do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

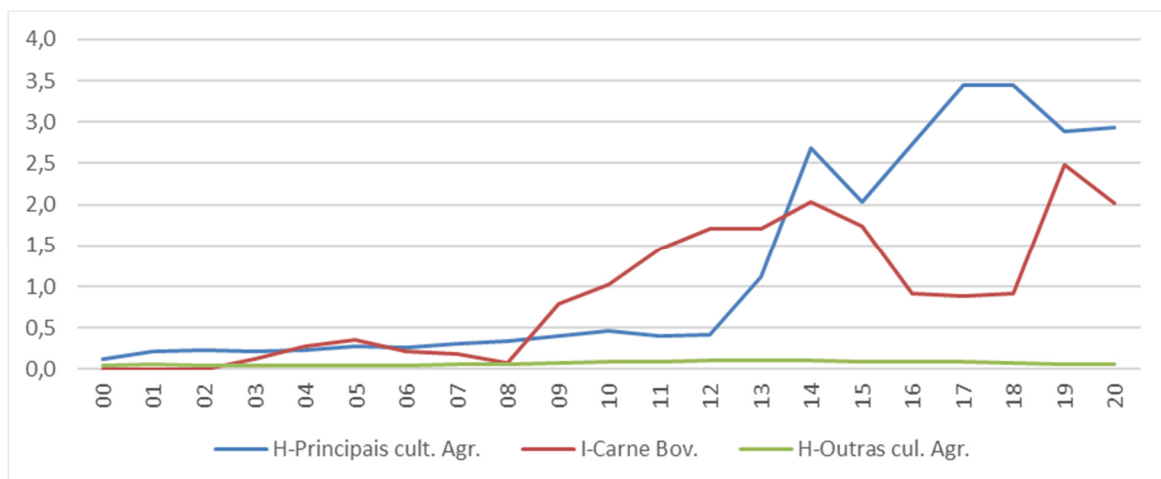


Figura 58. Saídas no balanço agropecuário de N do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

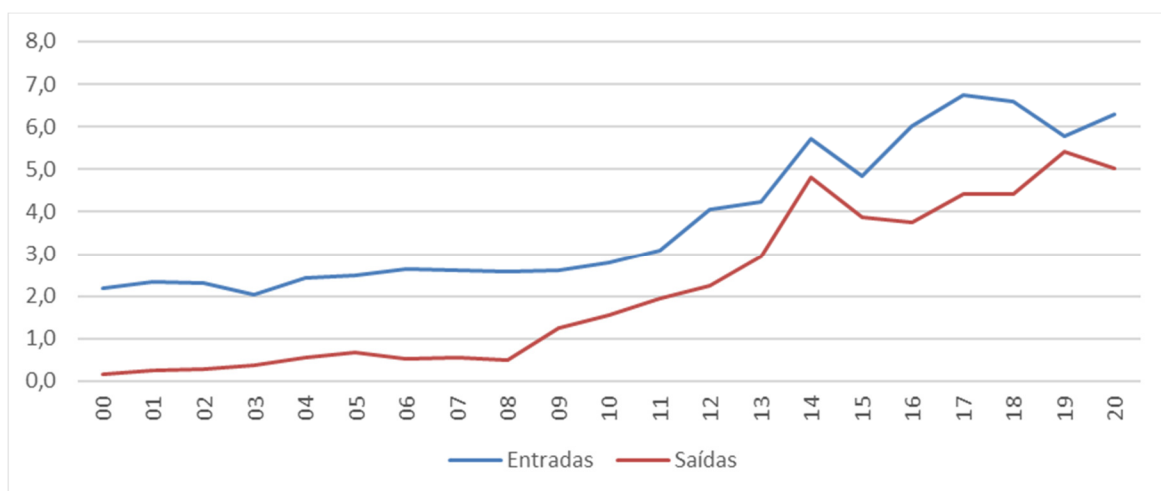


Figura 59. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

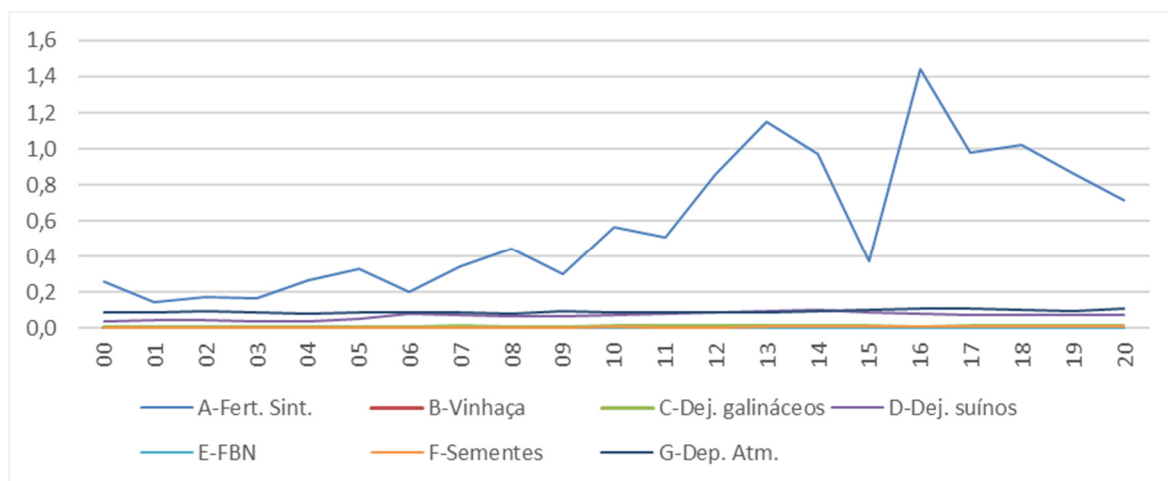


Figura 60. Entradas no balanço agropecuário de P do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

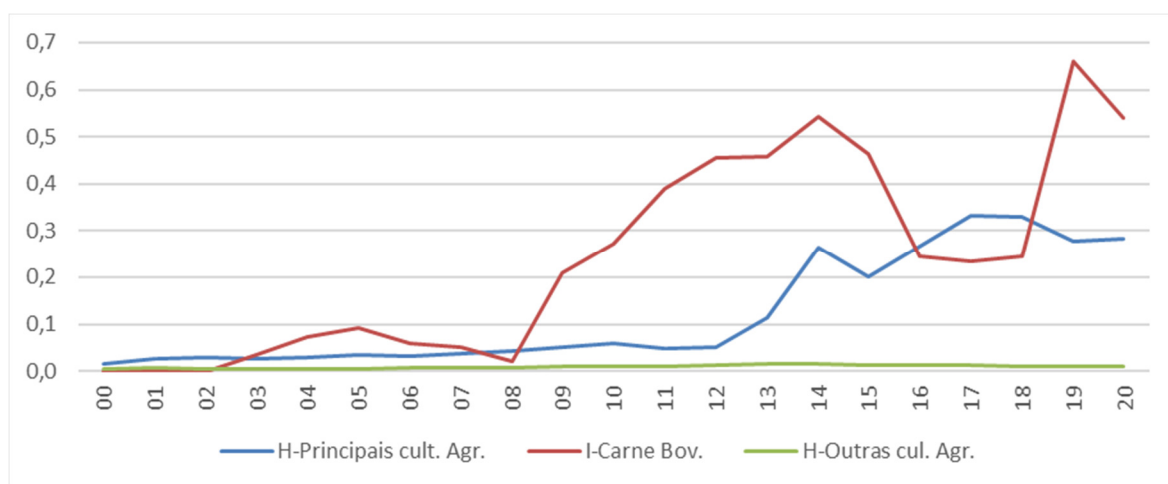


Figura 61. Saídas no balanço agropecuário de P do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

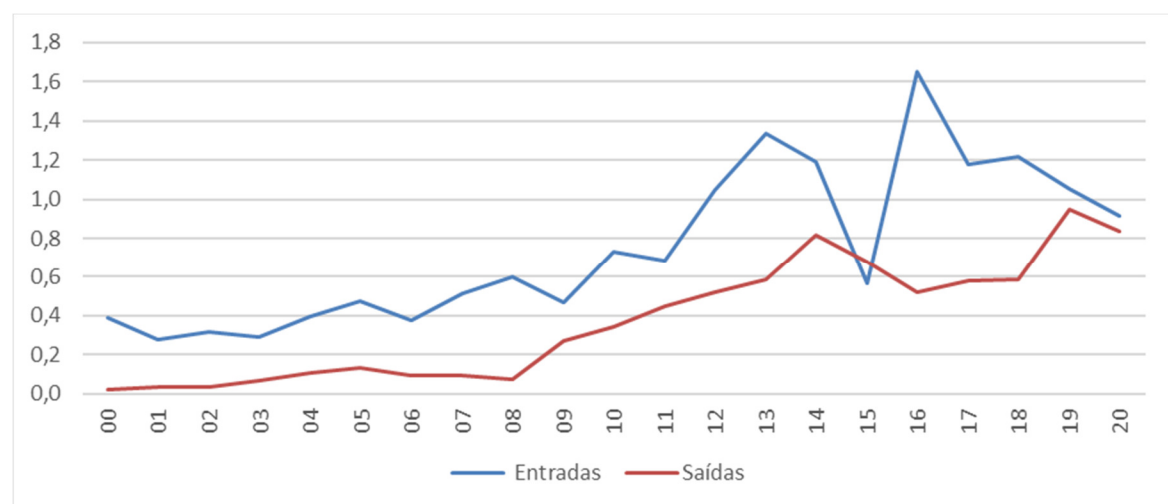


Figura 62. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

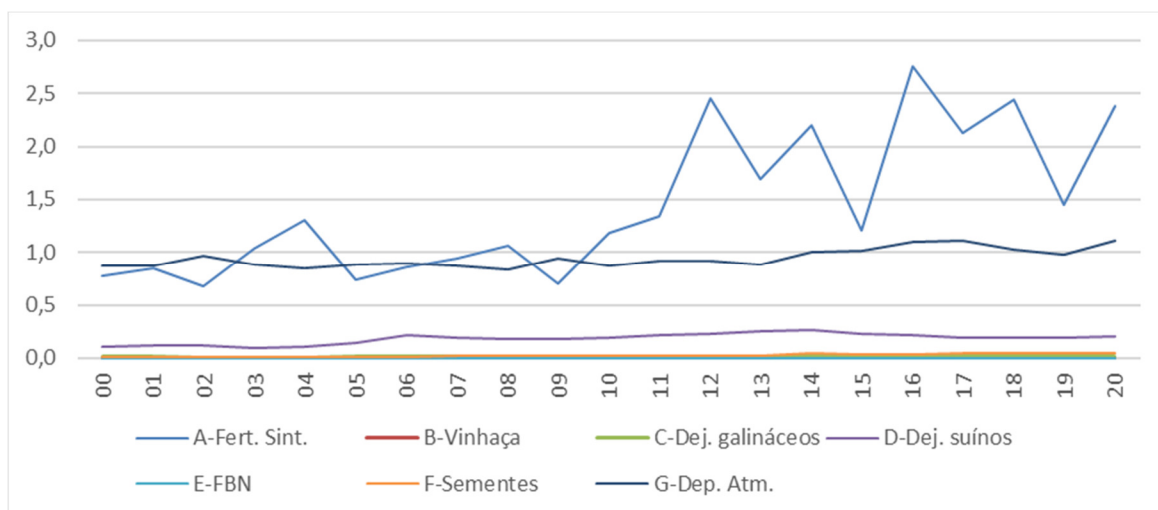


Figura 63. Entradas no balanço agropecuário de K do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

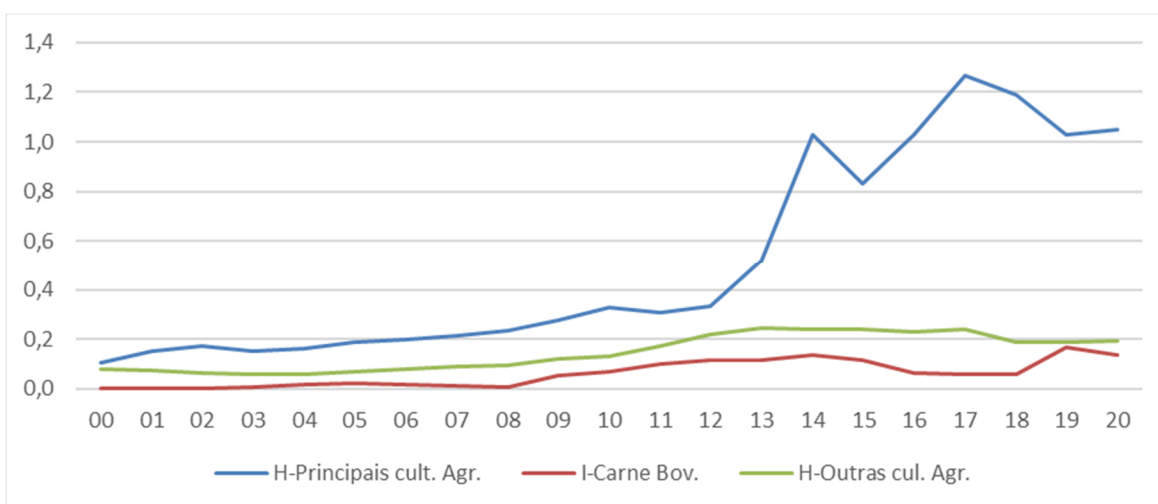


Figura 64. Saídas no balanço agropecuário de K do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

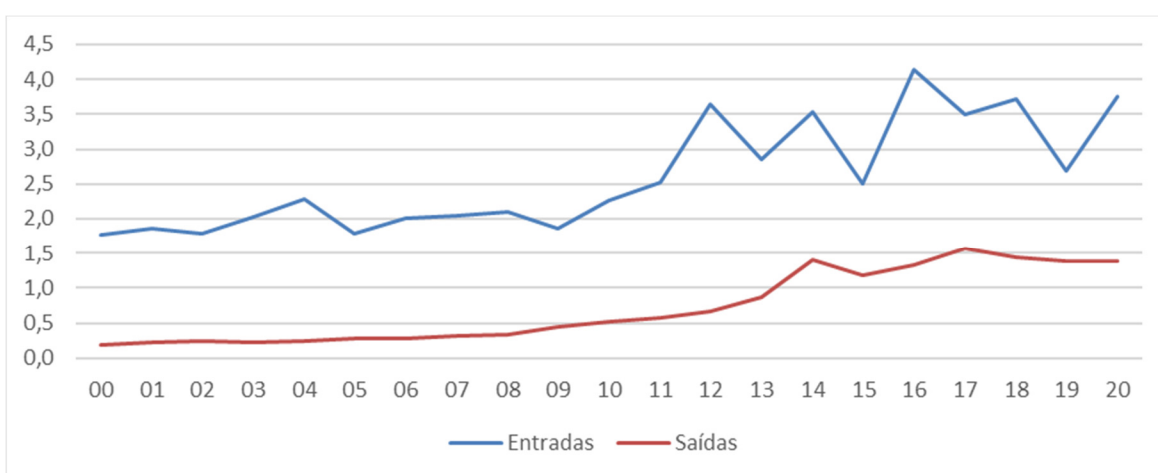


Figura 65. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Amapá entre 2000 a 2020 (Gg).

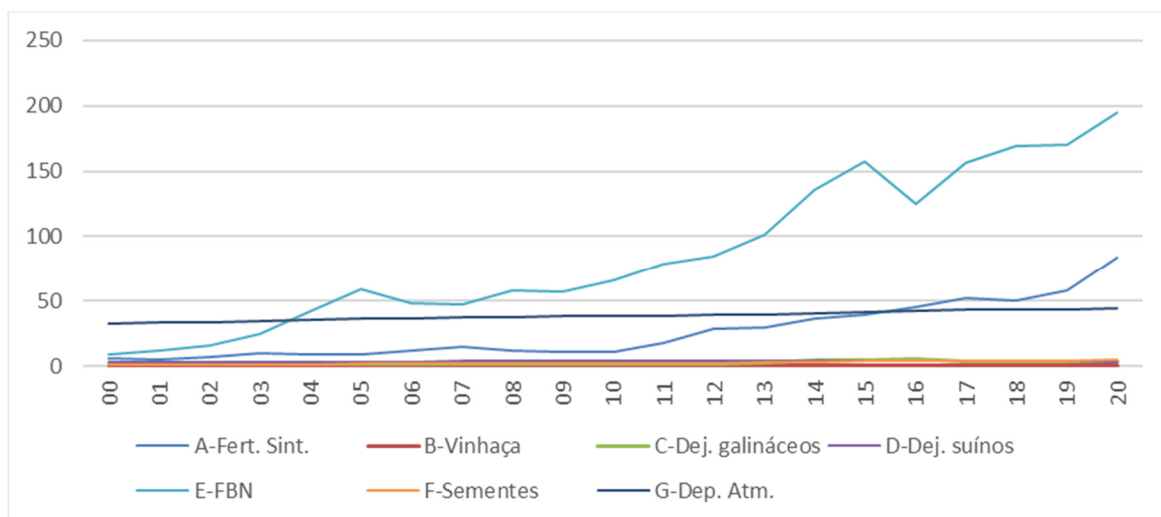


Figura 66. Entradas no balanço agropecuário de N do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

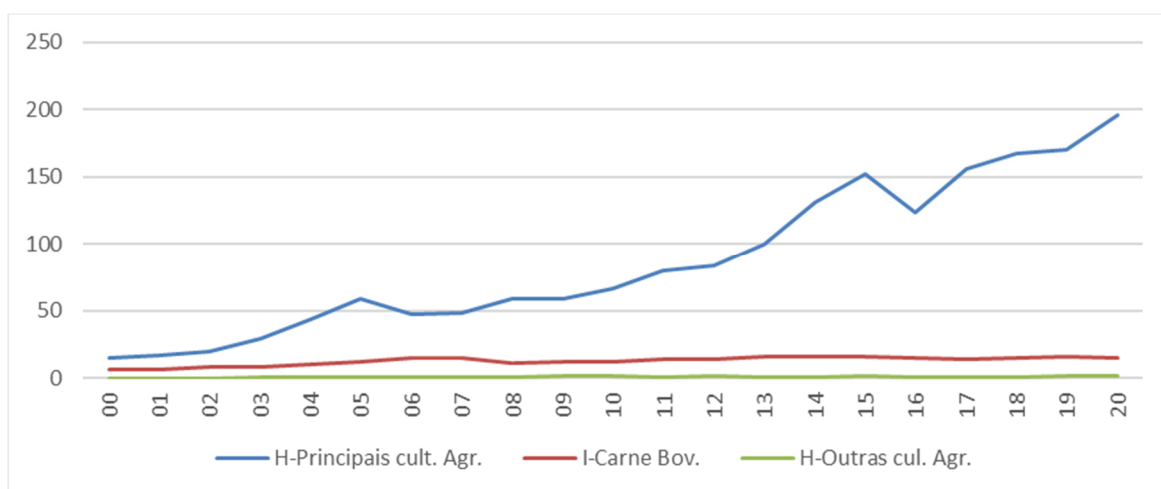


Figura 67. Saídas no balanço agropecuário de N do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

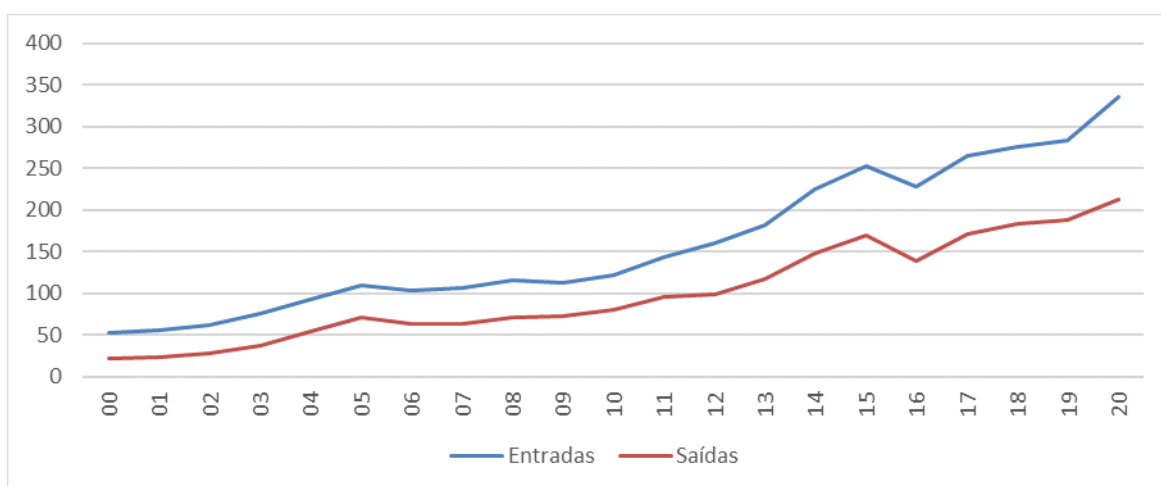


Figura 68. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

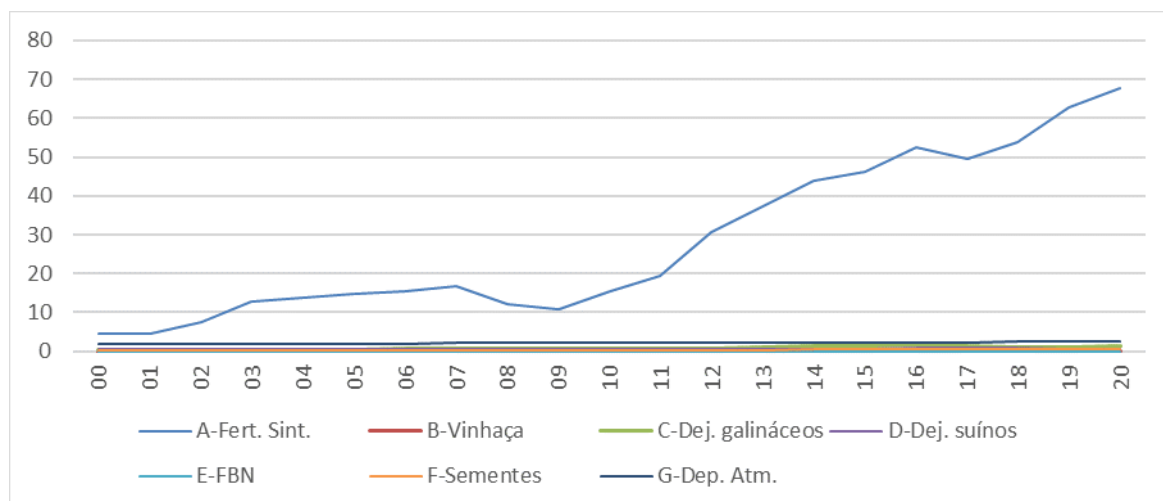


Figura 69. Entradas no balanço agropecuário de P do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

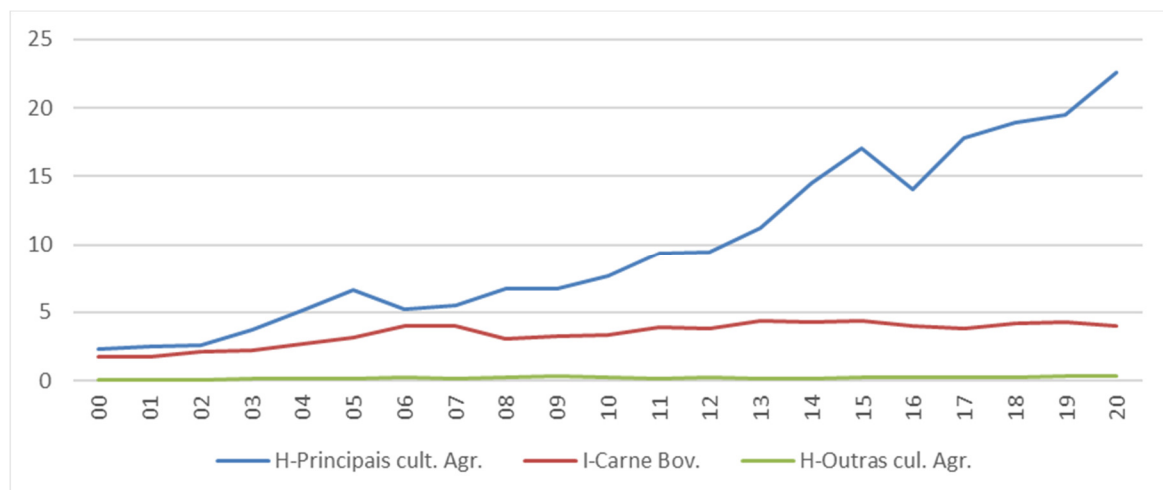


Figura 70. Saídas no balanço agropecuário de P do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

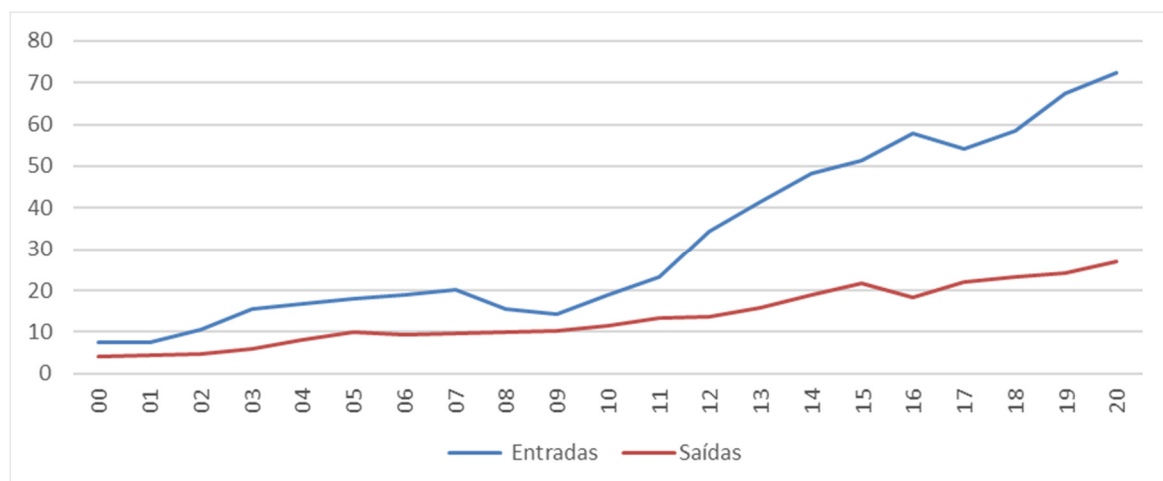


Figura 71. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

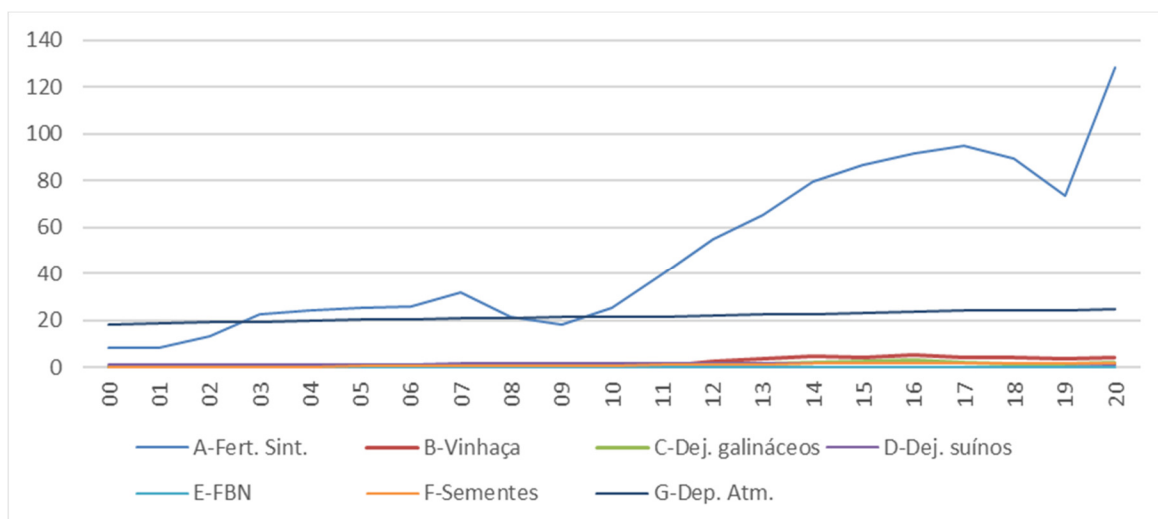


Figura 72. Entradas no balanço agropecuário de K do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

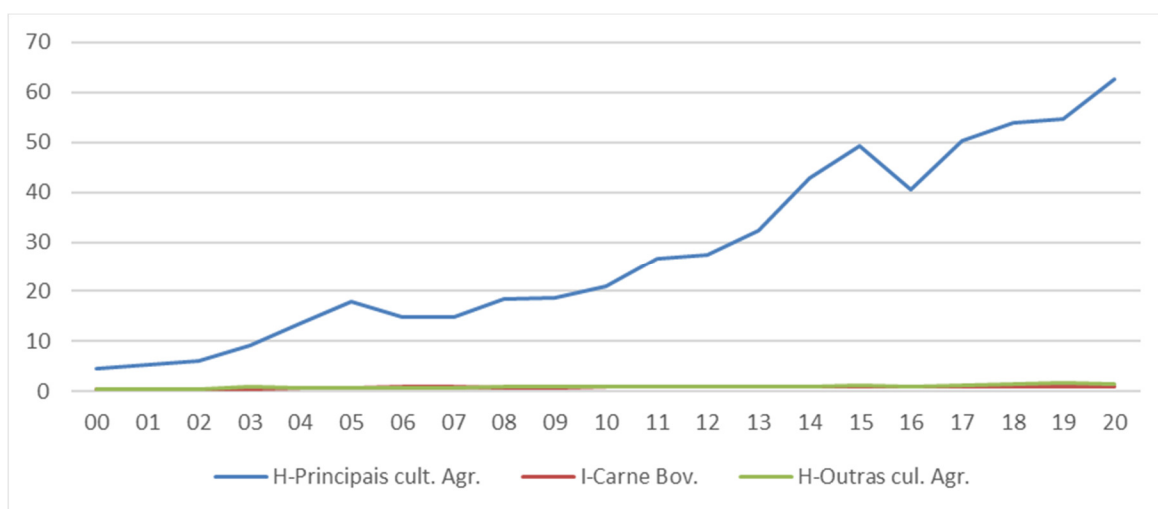


Figura 73. Saídas no balanço agropecuário de K do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

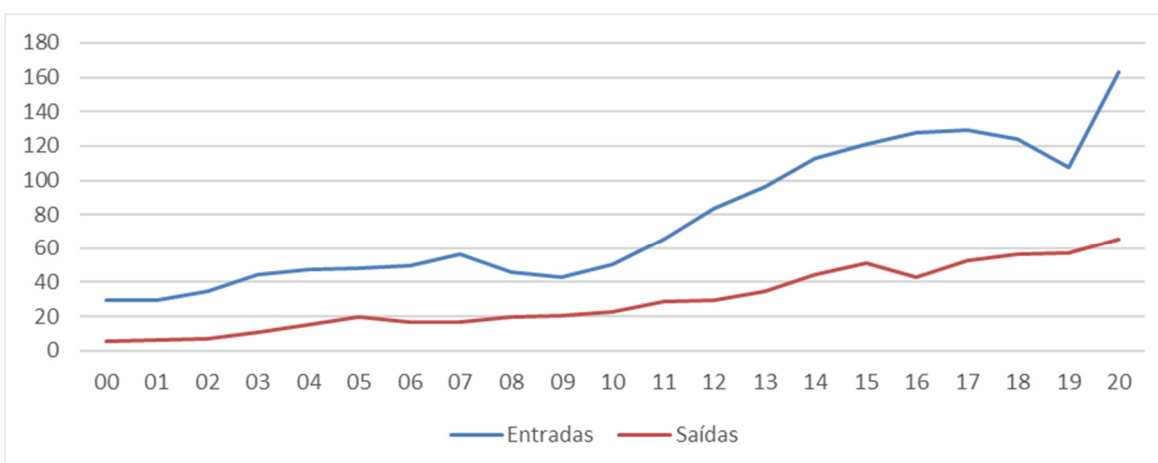


Figura 74. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Tocantins entre 2000 a 2020 (Gg).

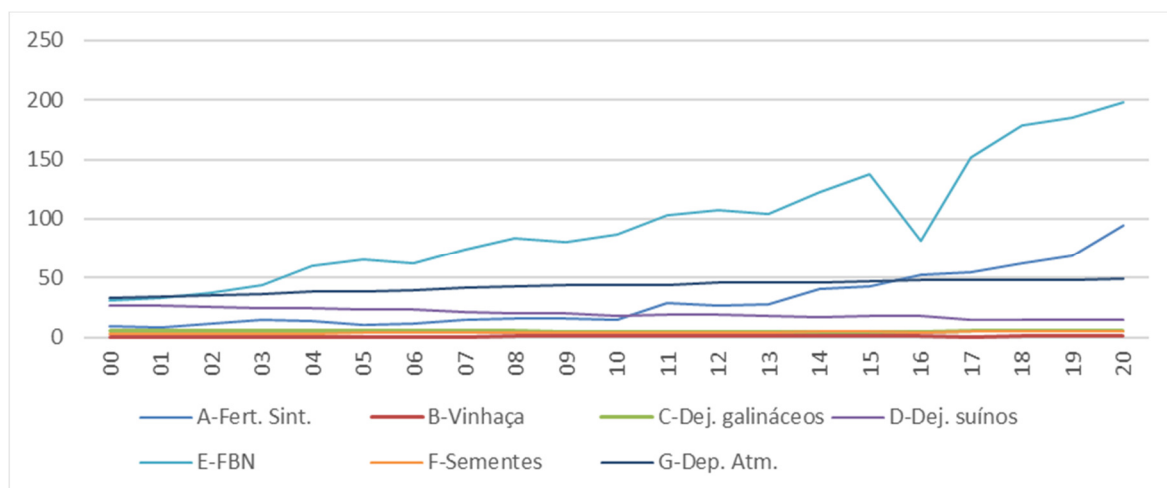


Figura 75. Entradas no balanço agropecuário de N do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

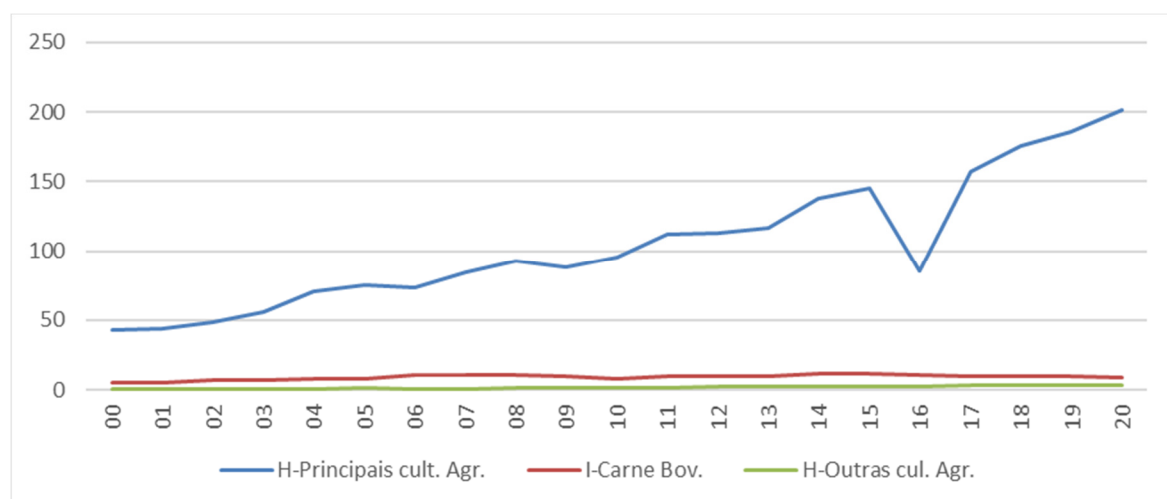


Figura 76. Saídas no balanço agropecuário de N do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

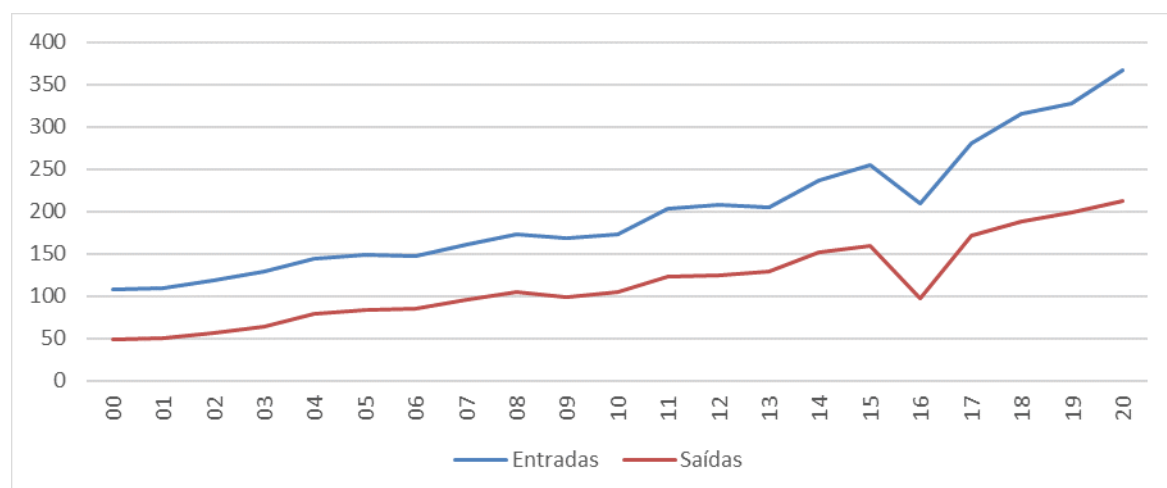


Figura 77. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

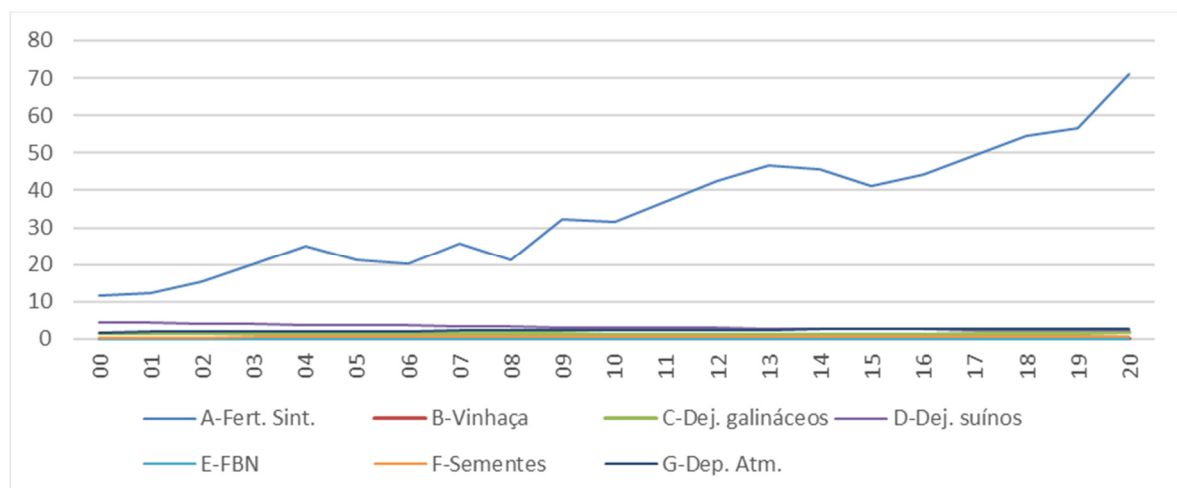


Figura 78. Entradas no balanço agropecuário de P do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

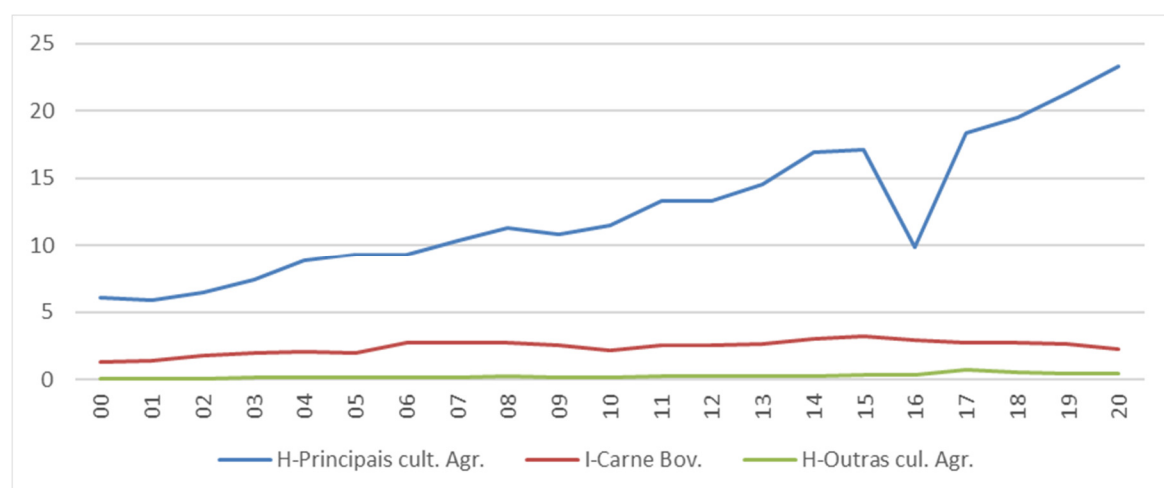


Figura 79. Saídas no balanço agropecuário de P do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

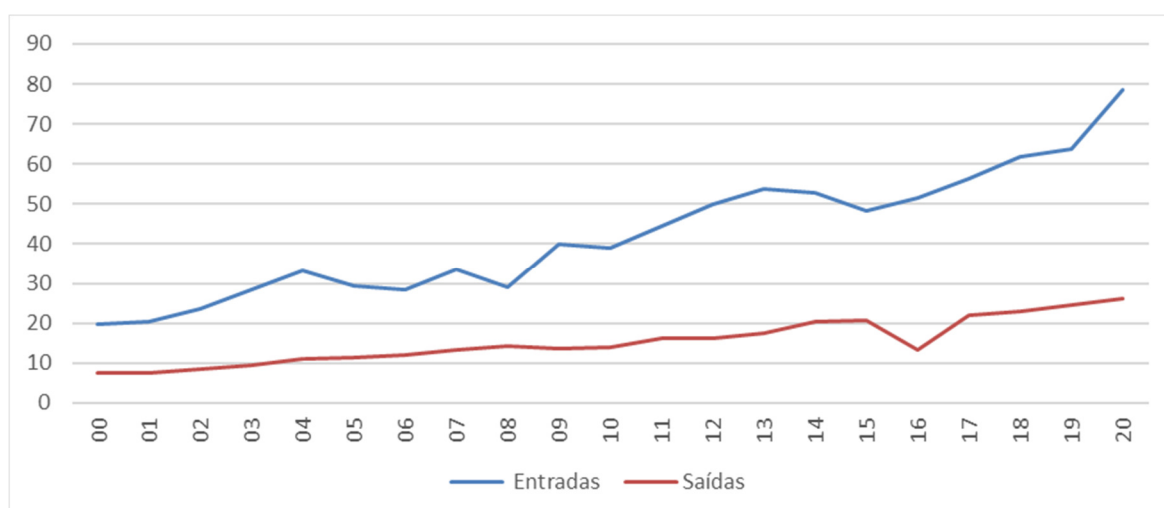


Figura 80. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

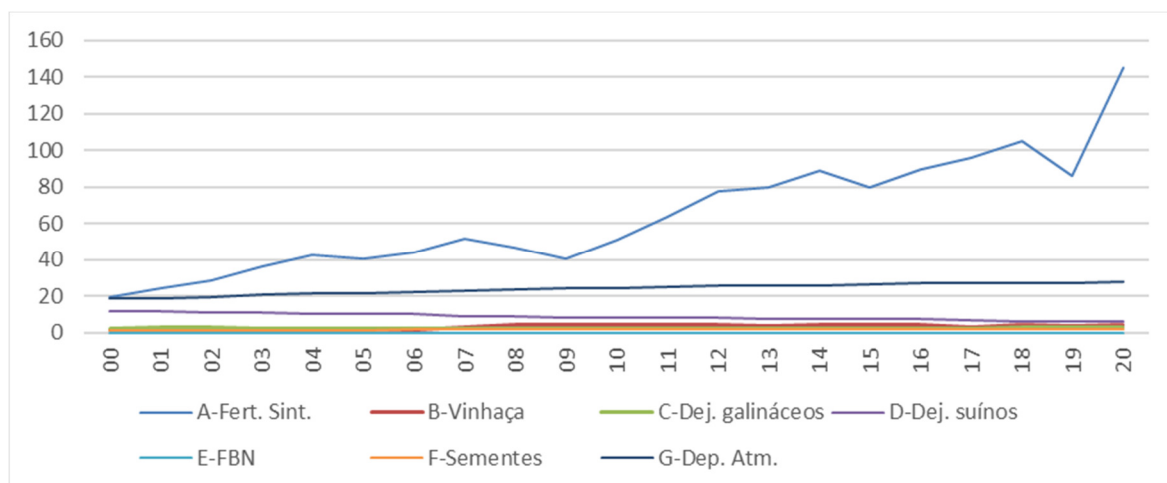


Figura 81. Entradas no balanço agropecuário de K do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

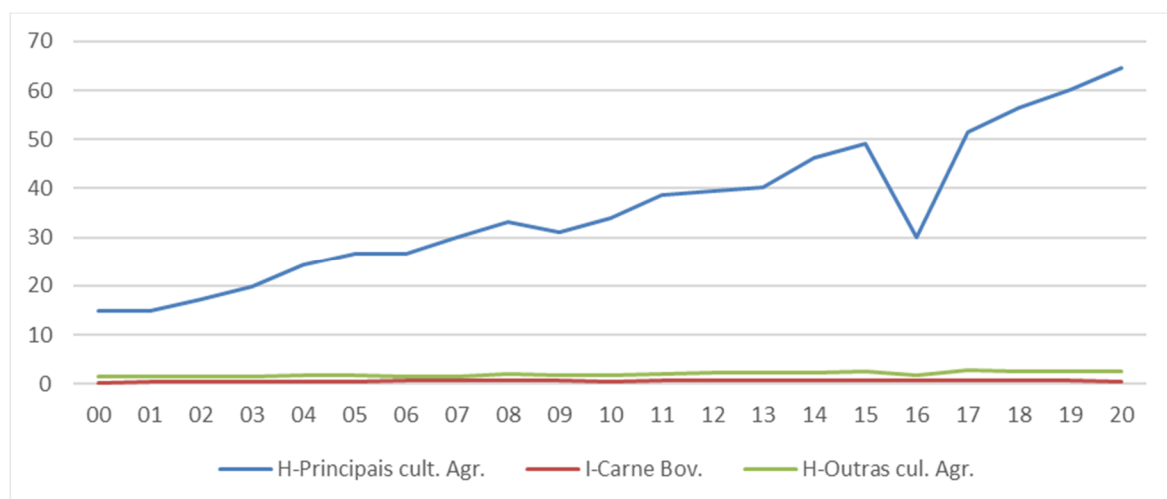


Figura 82. Saídas no balanço agropecuário de K do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

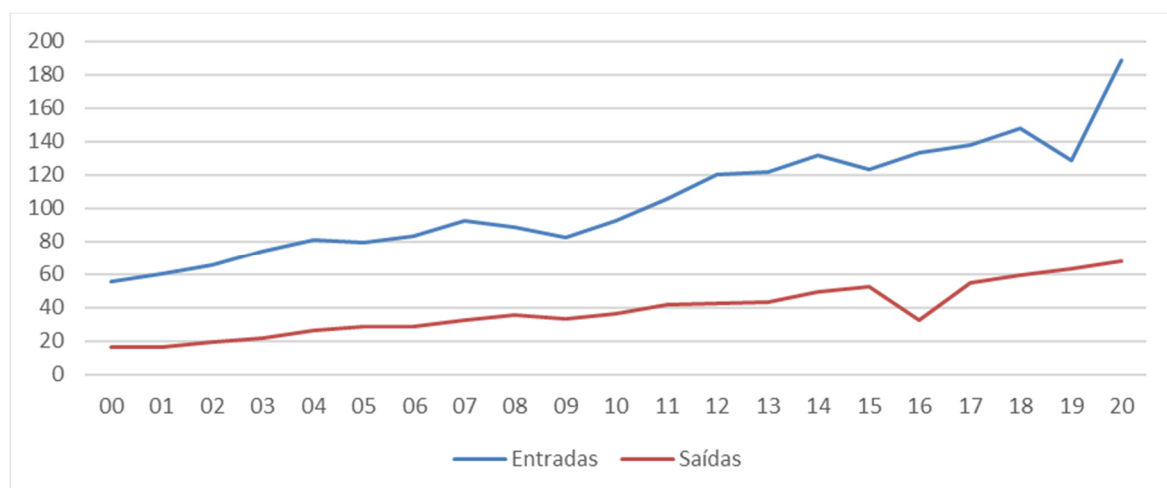


Figura 83. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Maranhão entre 2000 a 2020 (Gg).

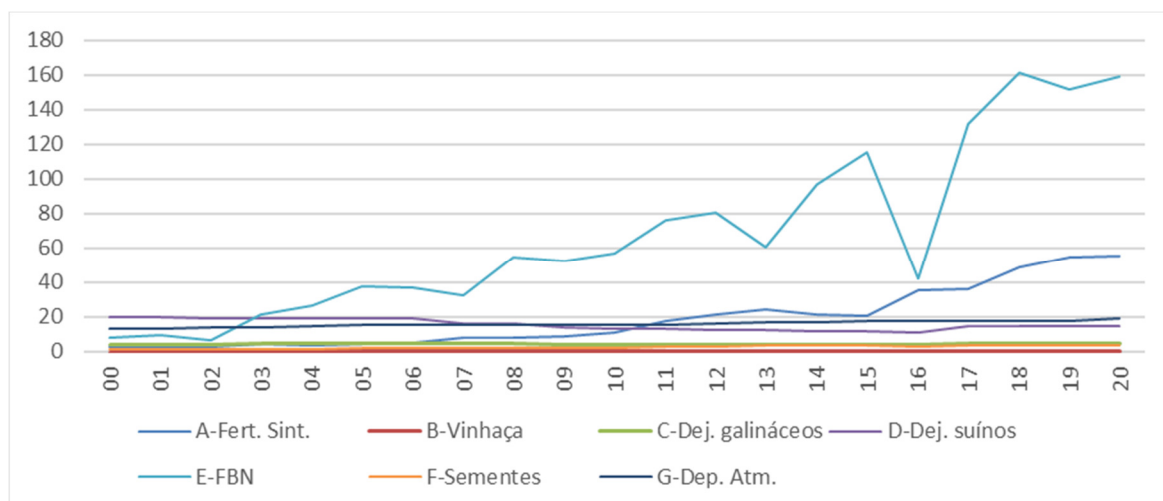


Figura 84. Entradas no balanço agropecuário de N do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

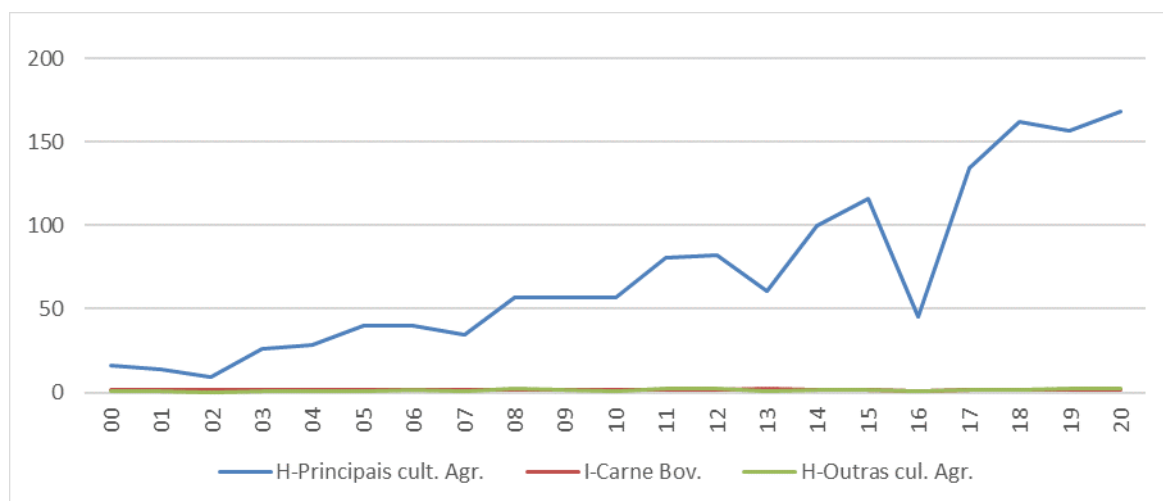


Figura 85. Saídas no balanço agropecuário de N do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

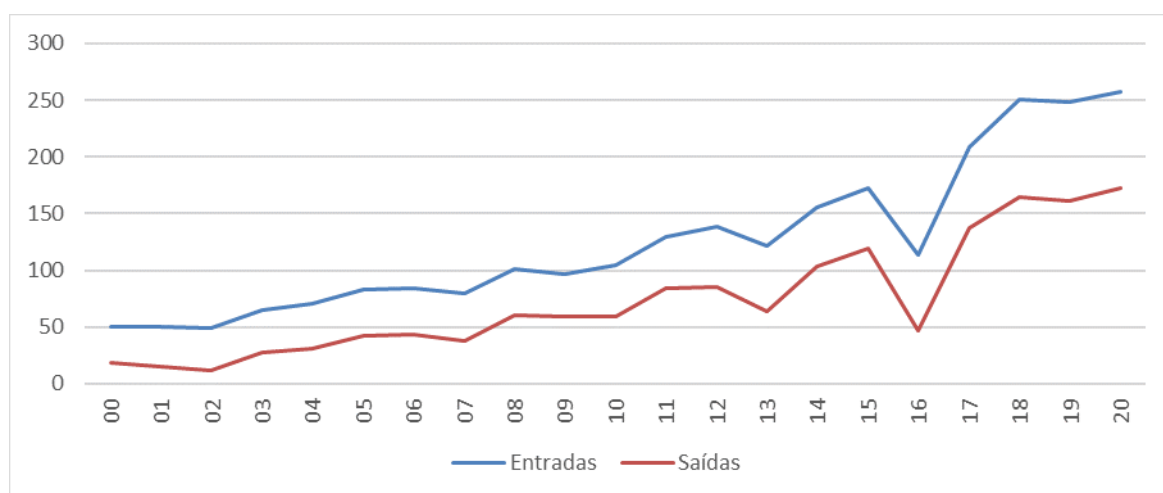


Figura 86. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

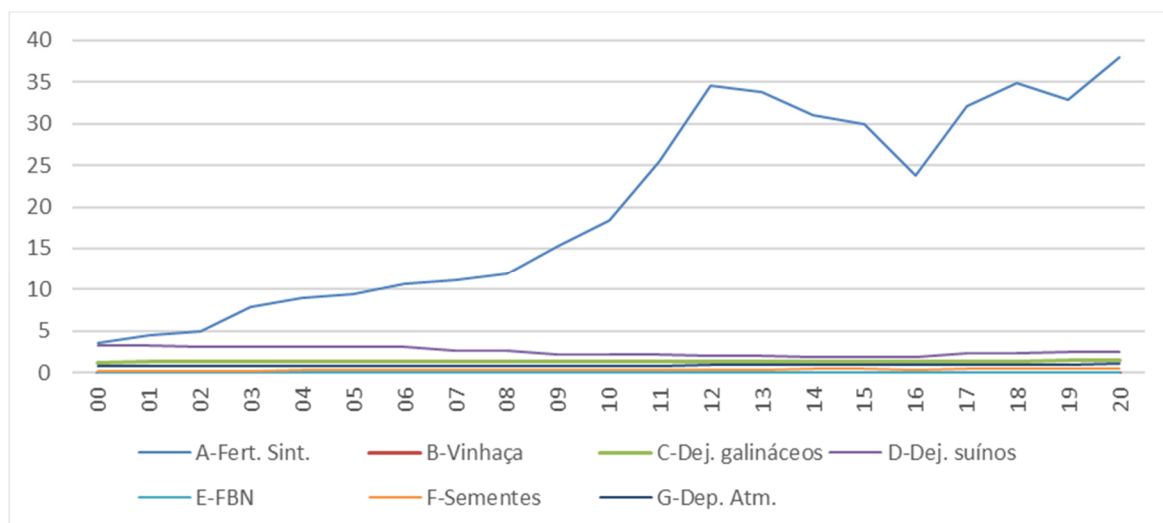


Figura 87. Entradas no balanço agropecuário de P do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

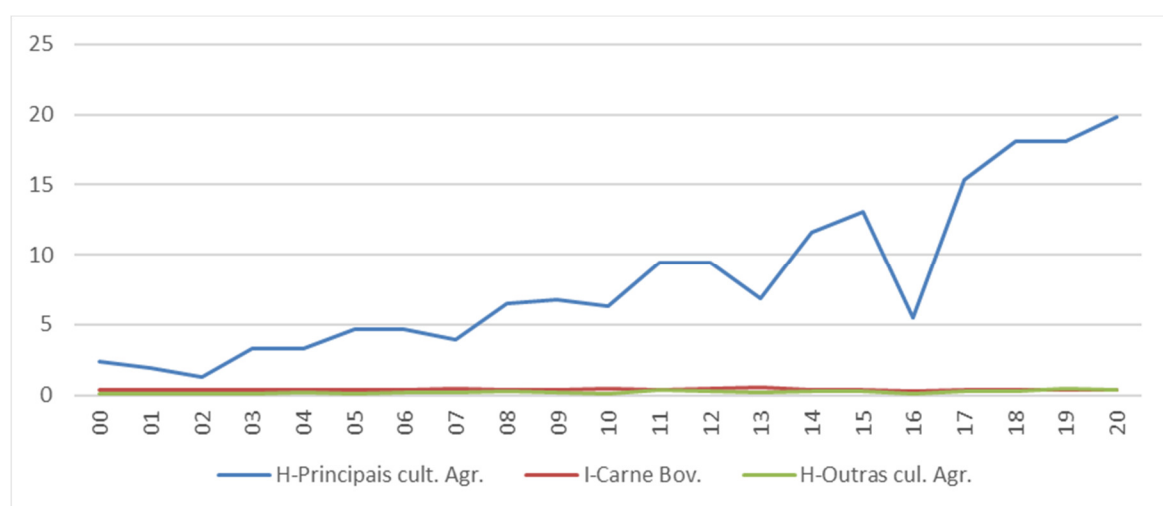


Figura 88. Saídas no balanço agropecuário de P do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

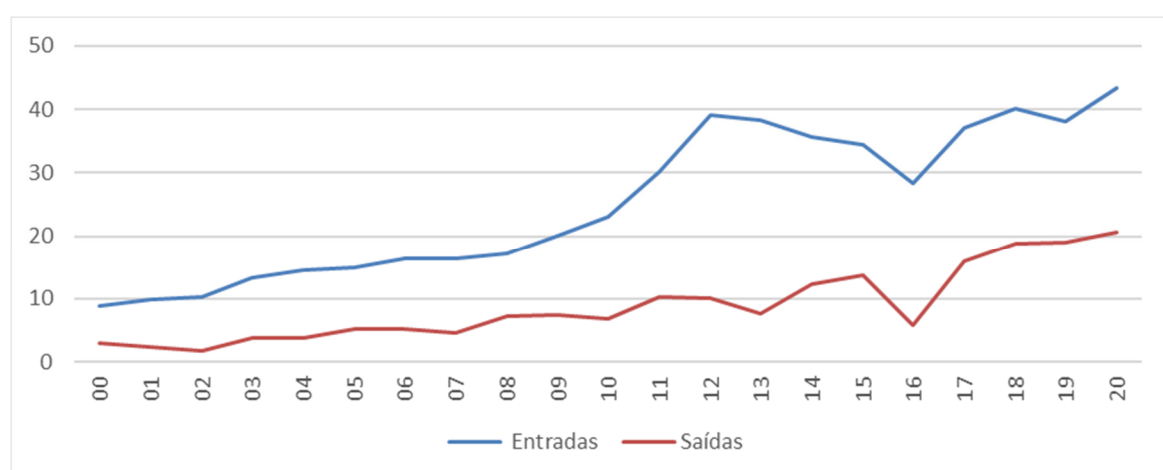


Figura 89. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

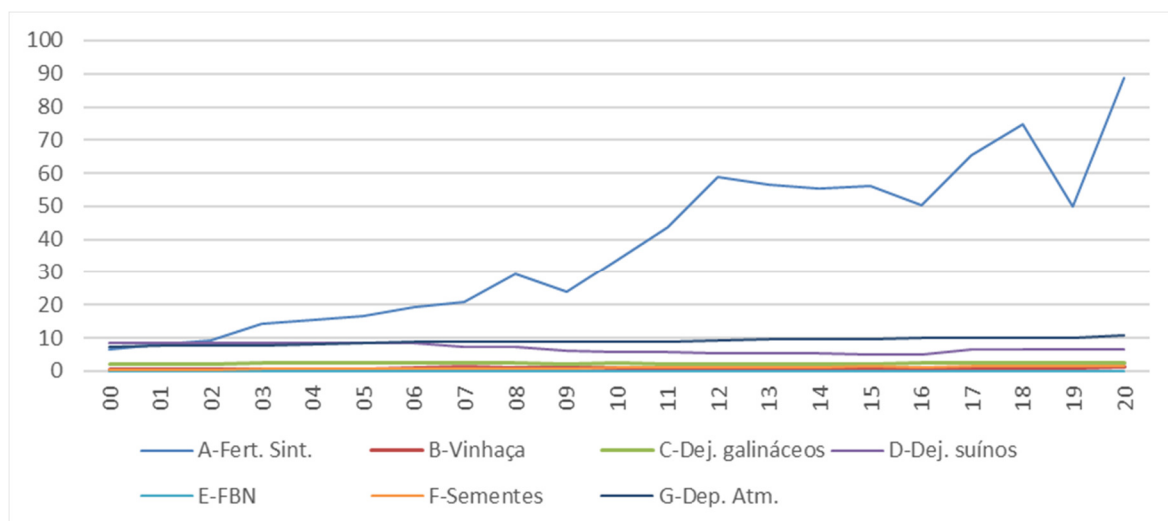


Figura 90. Entradas no balanço agropecuário de K do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

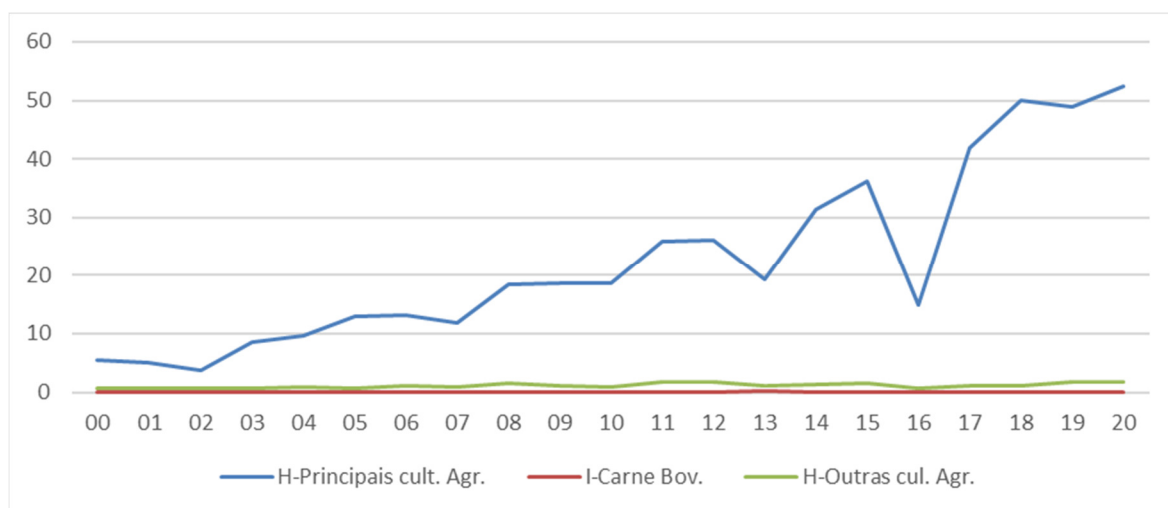


Figura 91. Saídas no balanço agropecuário de K do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

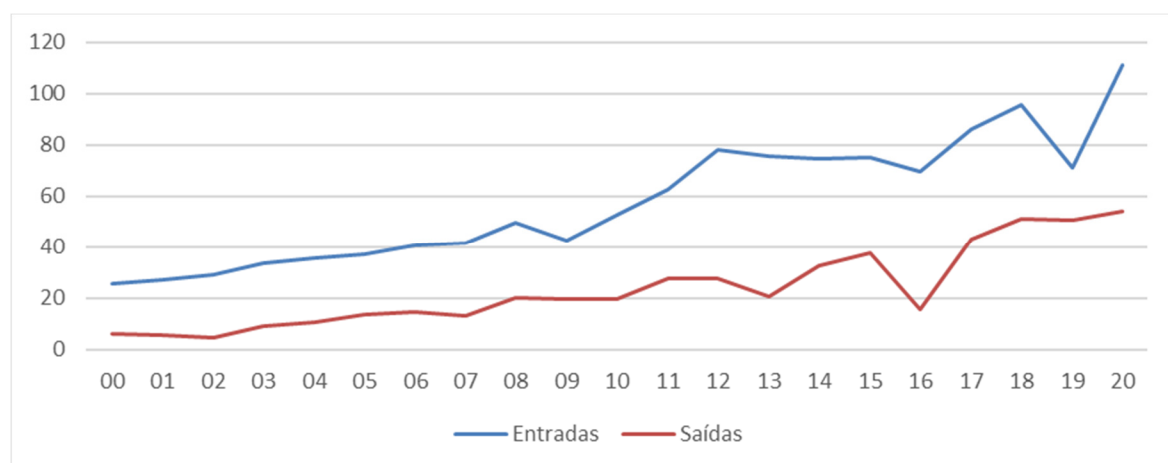


Figura 92. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Piauí entre 2000 a 2020 (Gg).

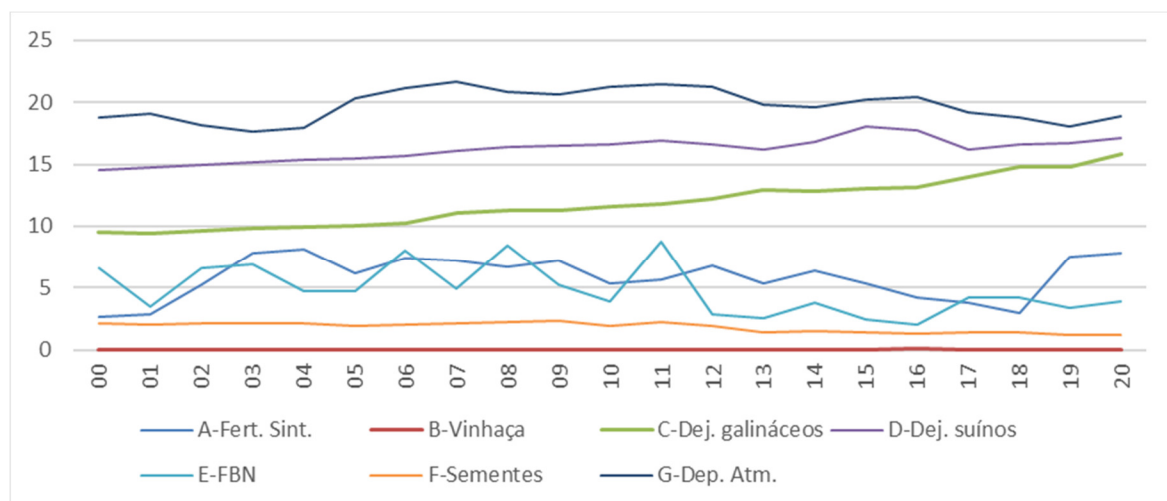


Figura 93. Entradas no balanço agropecuário de N do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

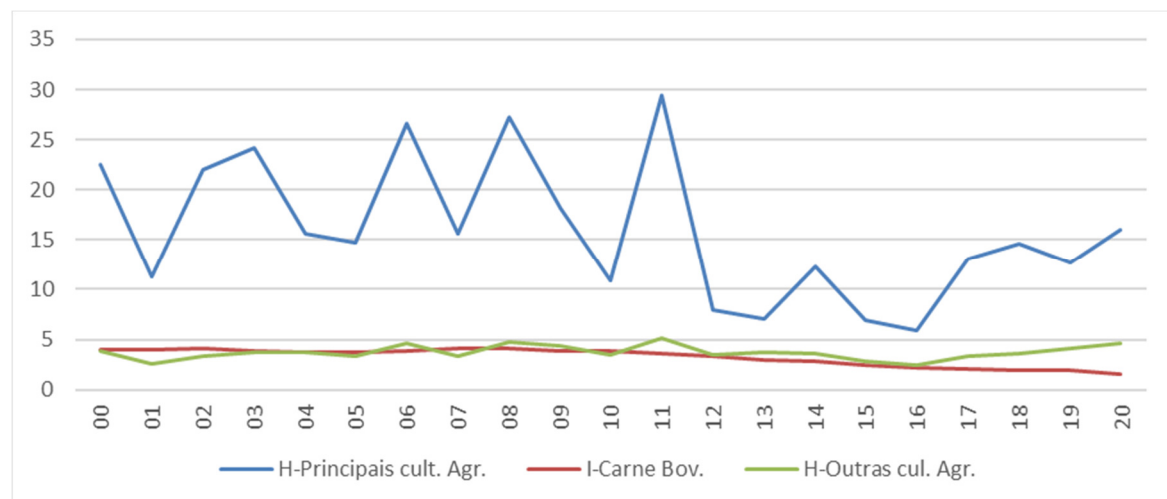


Figura 94. Saídas no balanço agropecuário de N do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

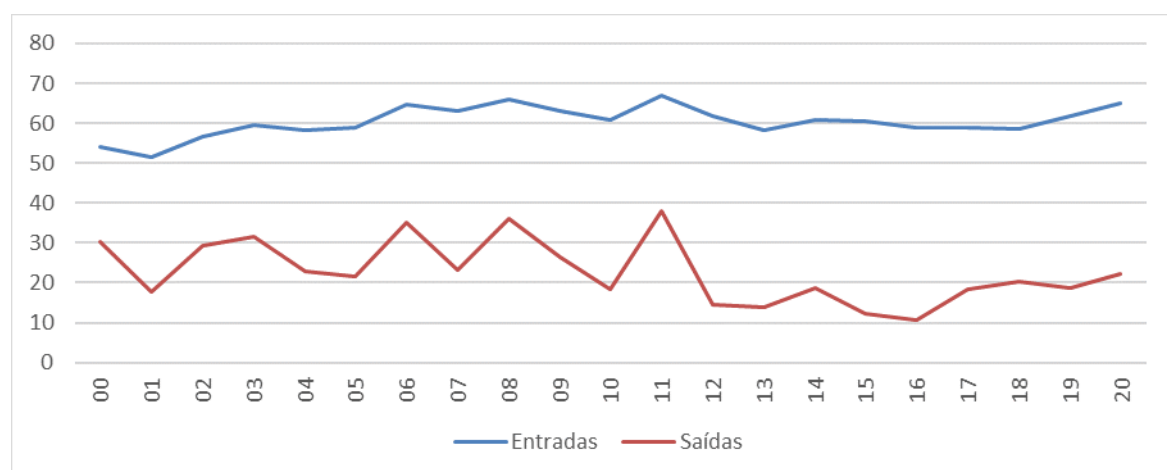


Figura 95. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

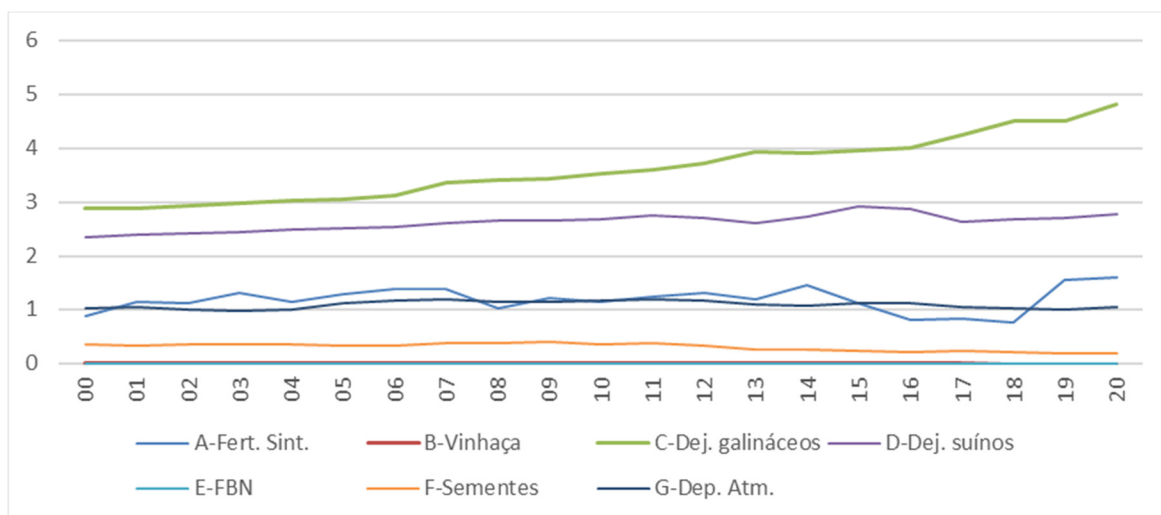


Figura 96. Entradas no balanço agropecuário de P do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

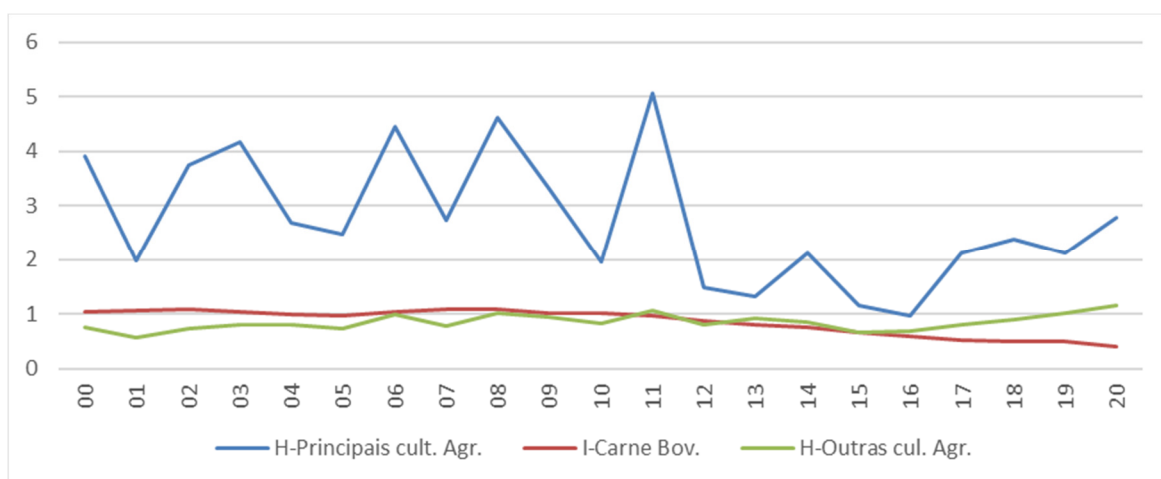


Figura 97. Saídas no balanço agropecuário de P do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

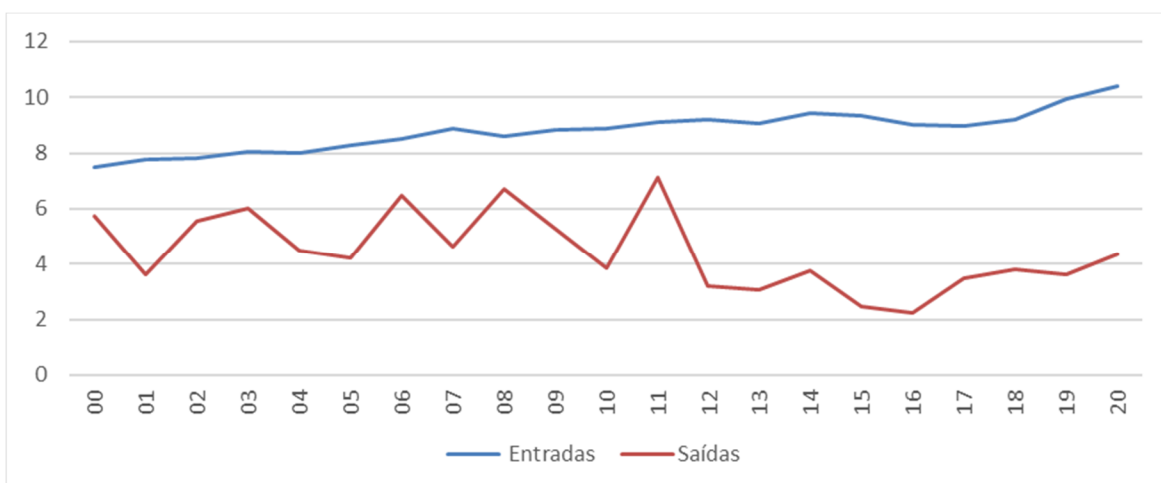


Figura 98. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

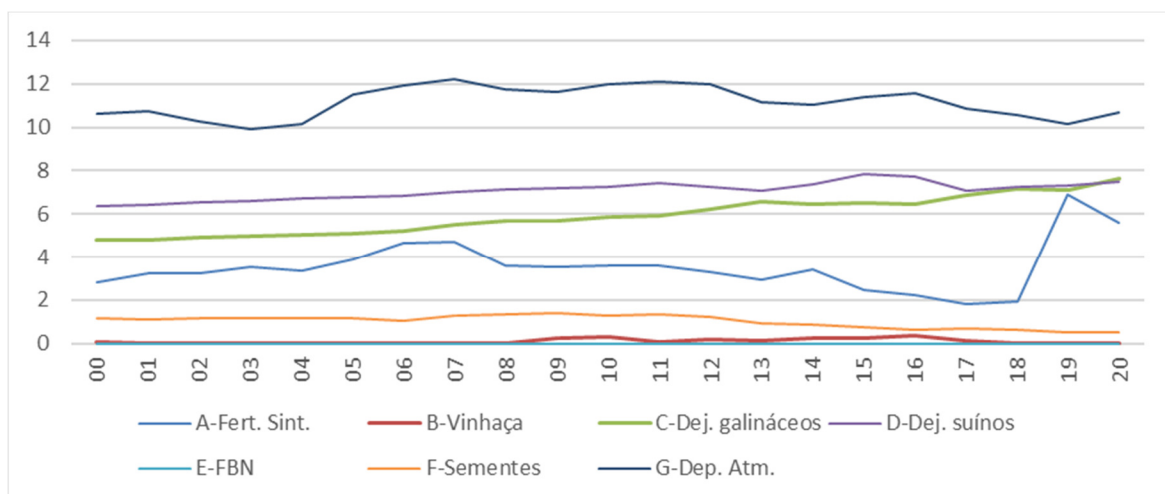


Figura 99. Entradas no balanço agropecuário de K do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

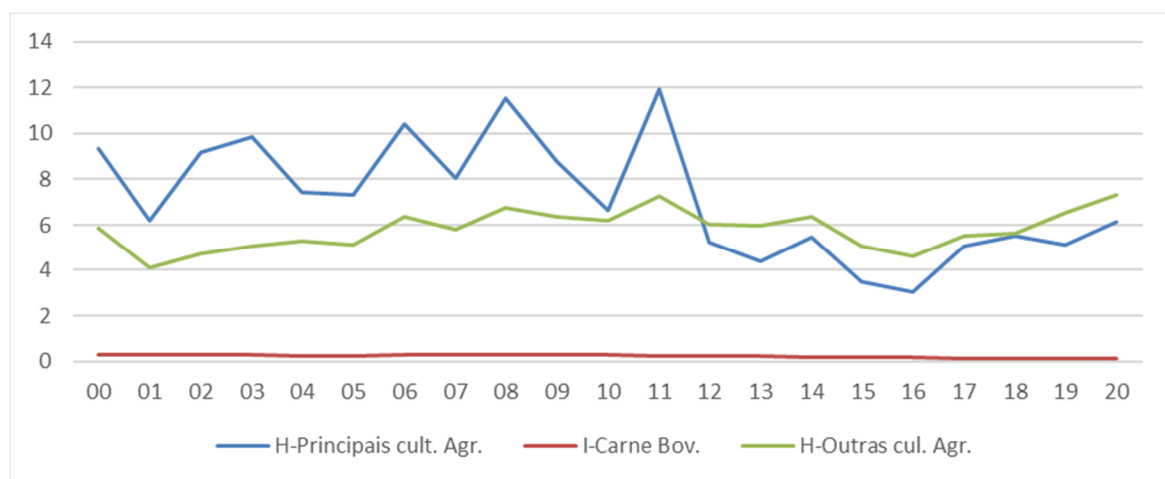


Figura 100. Saídas no balanço agropecuário de K do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

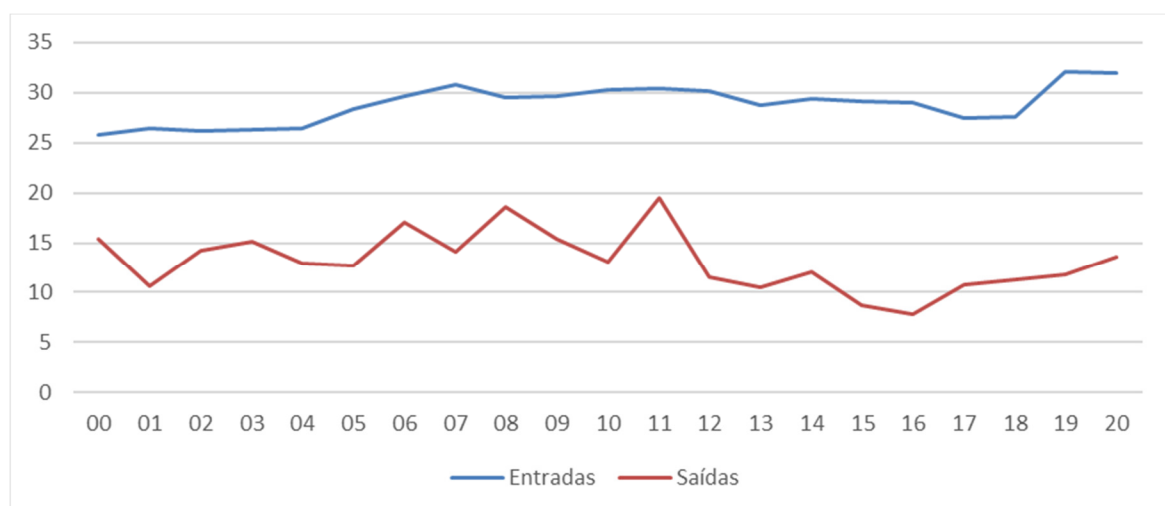


Figura 101. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Ceará entre 2000 a 2020 (Gg).

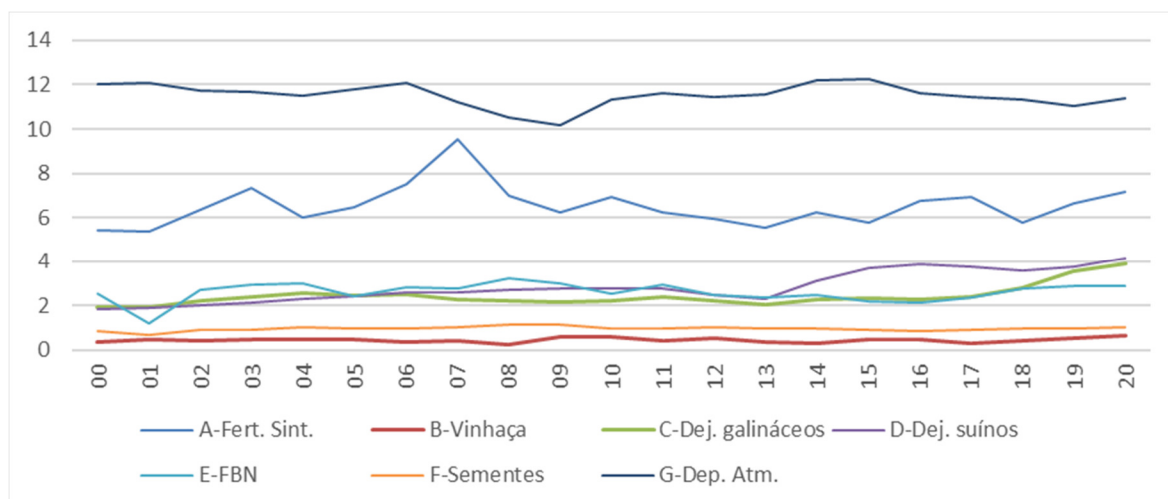


Figura 102. Entradas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

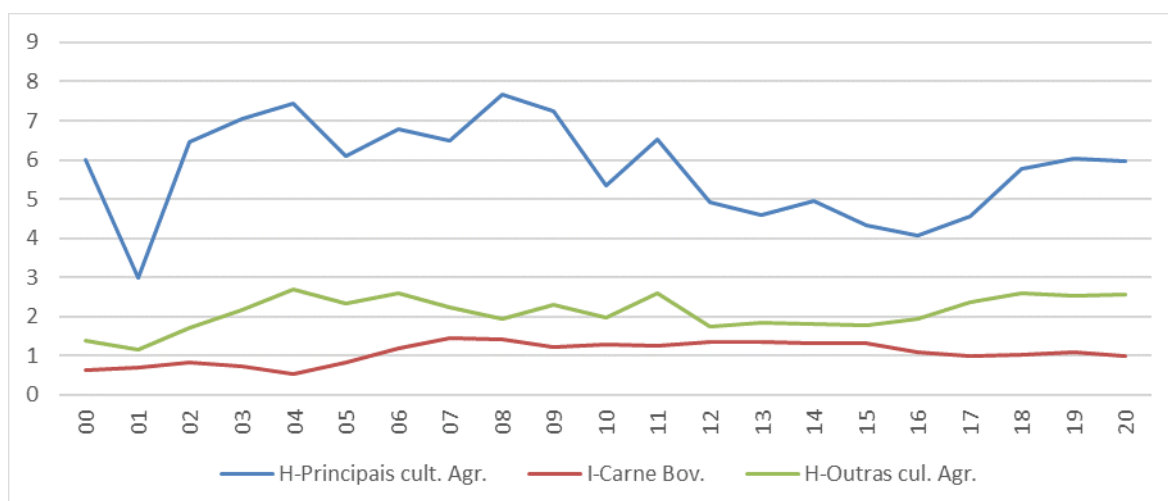


Figura 103. Saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

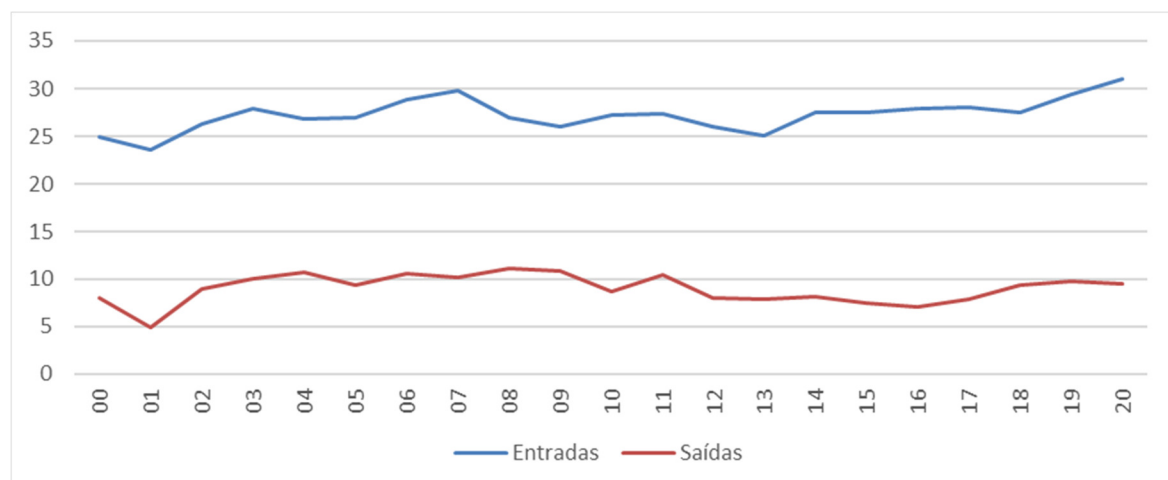


Figura 104. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

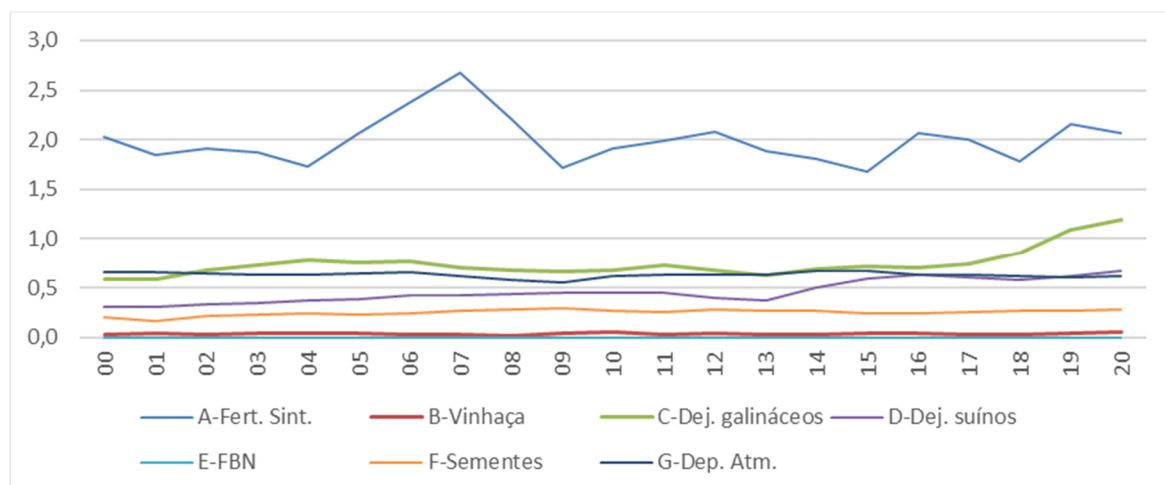


Figura 105. Entradas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

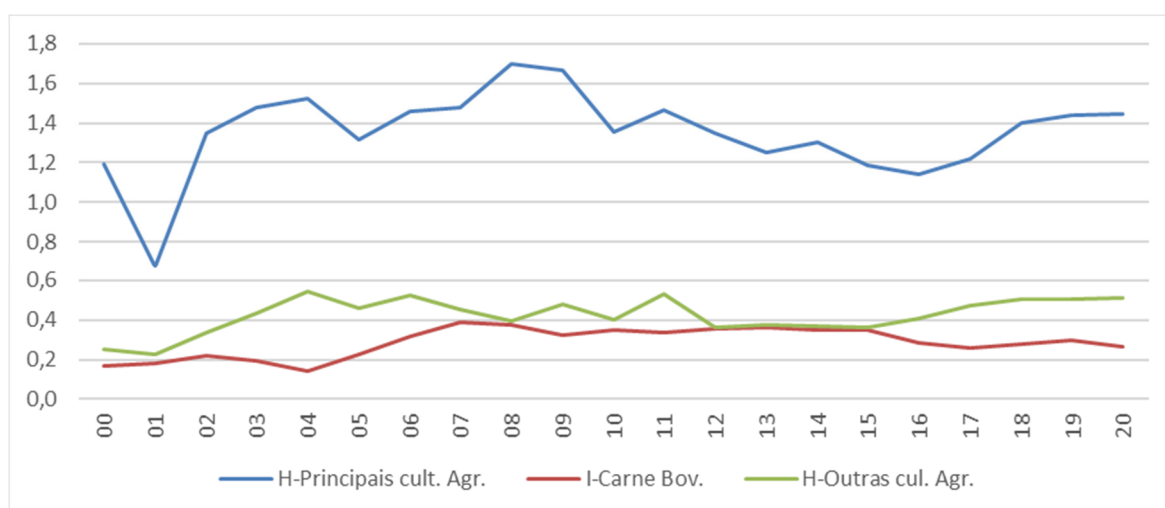


Figura 106. Saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

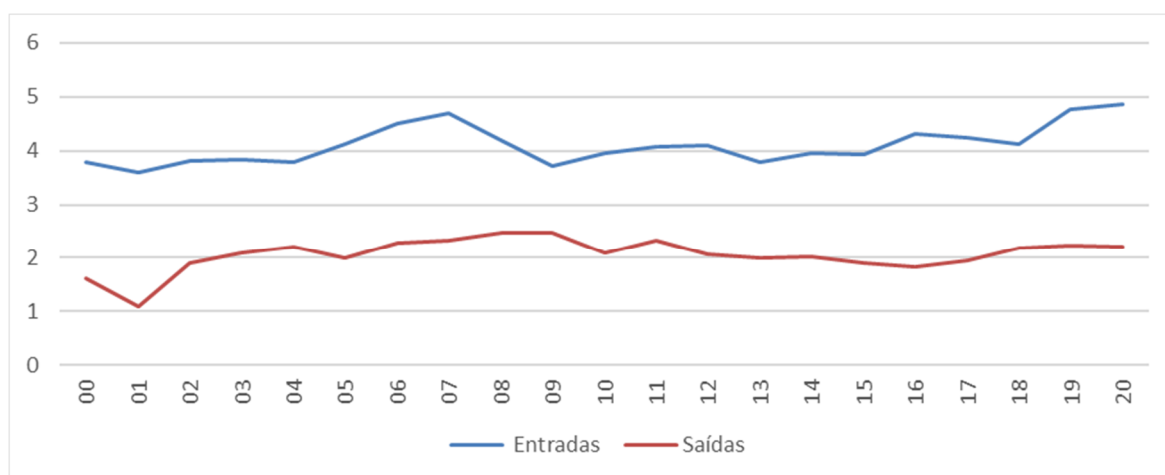


Figura 107. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

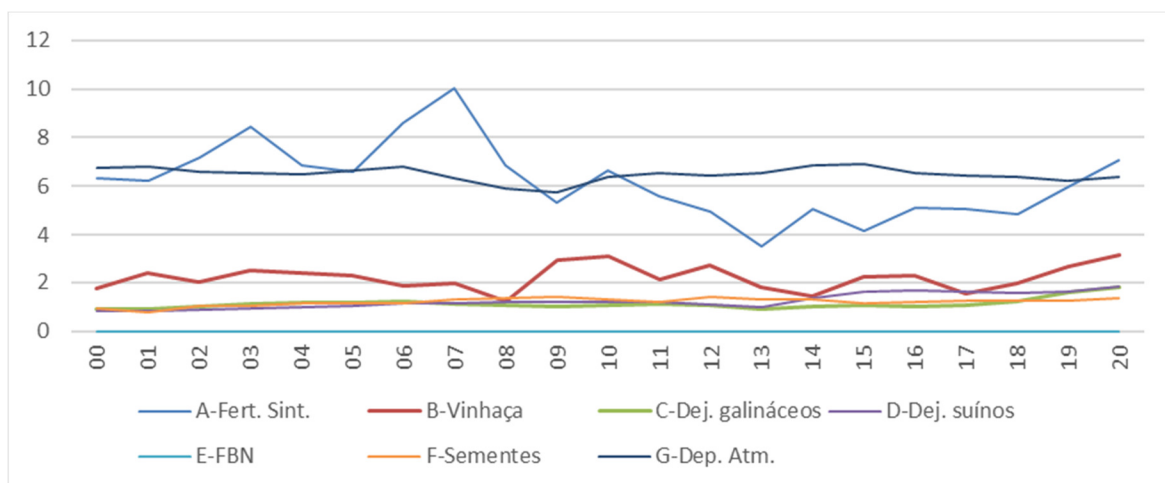


Figura 108. Entradas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

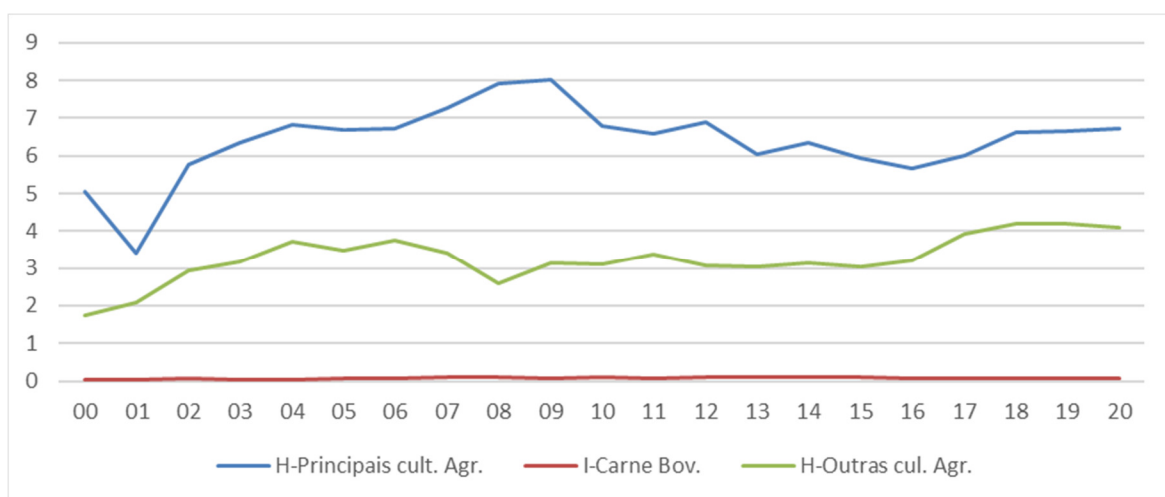


Figura 109. Saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

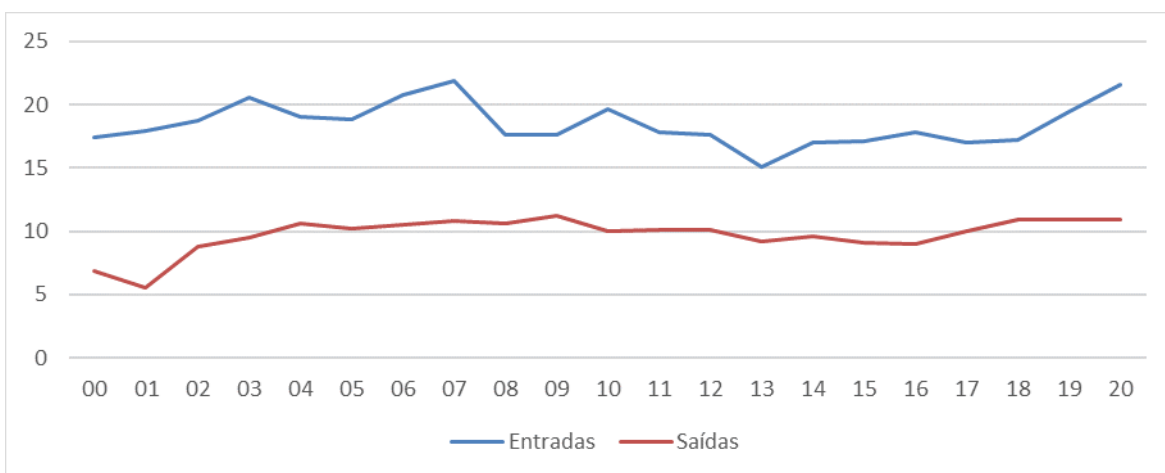


Figura 110. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Norte entre 2000 a 2020 (Gg).

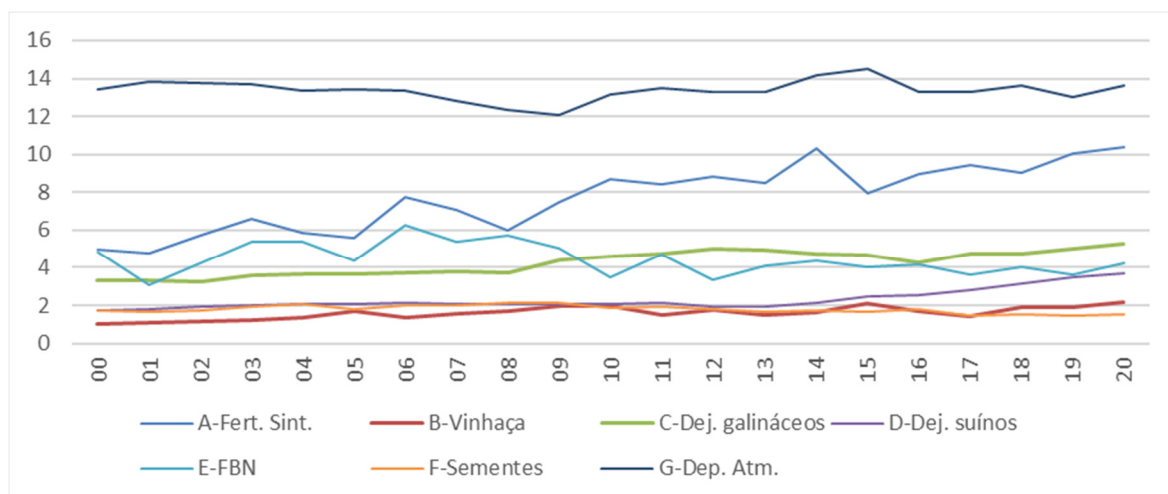


Figura 111. Entradas no balanço agropecuário de N da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

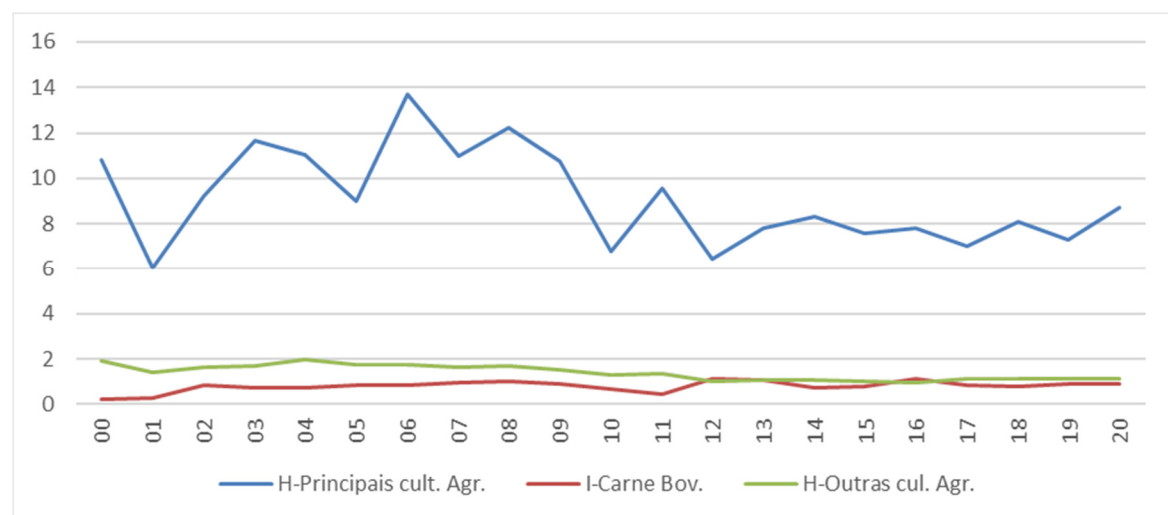


Figura 112. Saídas no balanço agropecuário de N da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

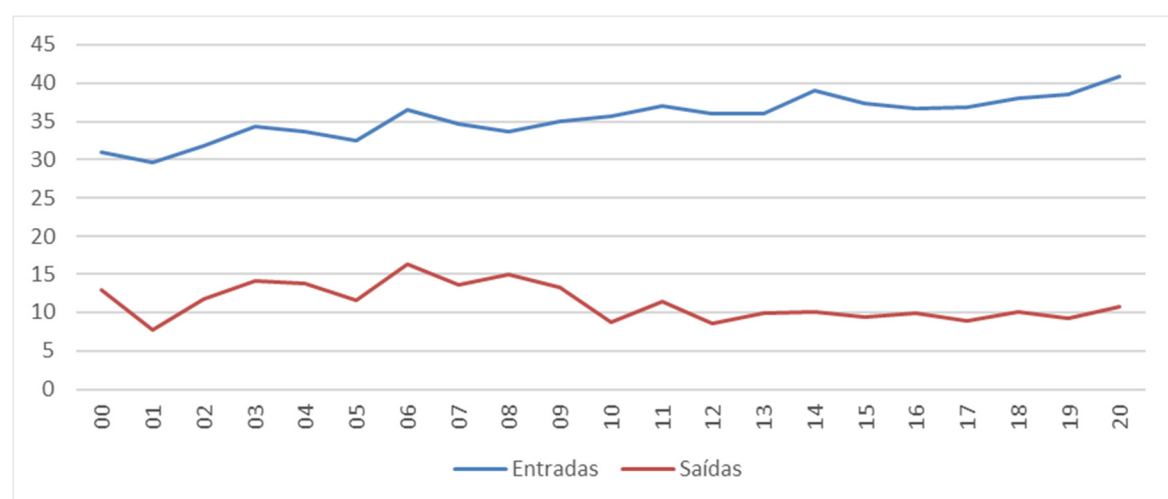


Figura 113. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

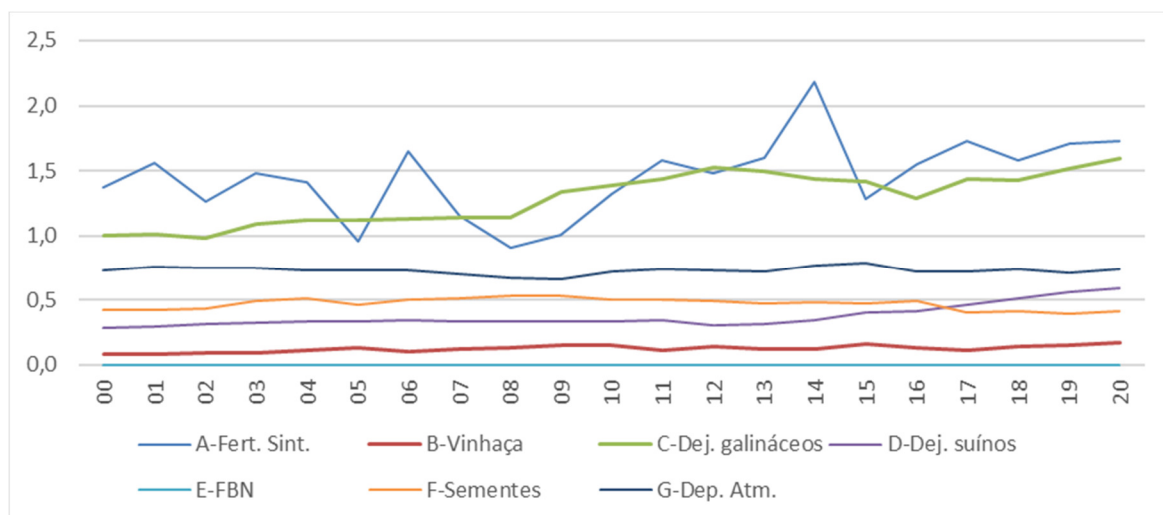


Figura 114. Entradas no balanço agropecuário de P da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

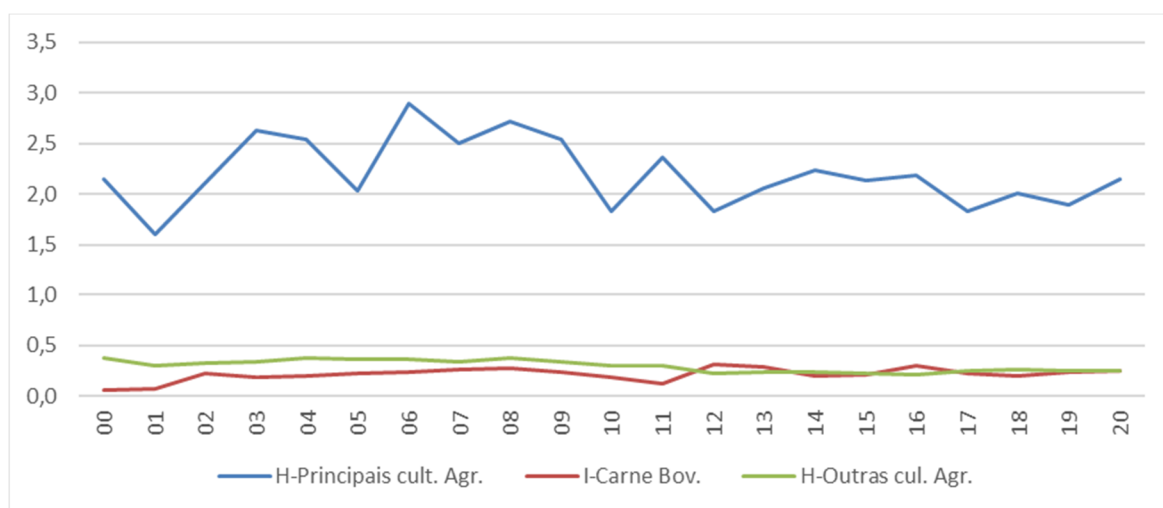


Figura 115. Saídas no balanço agropecuário de P da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

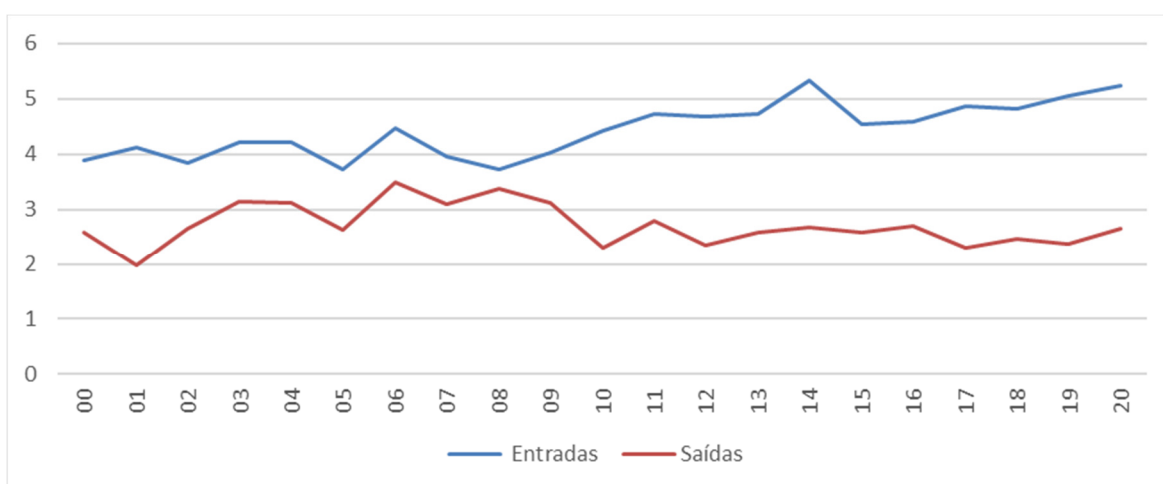


Figura 116. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

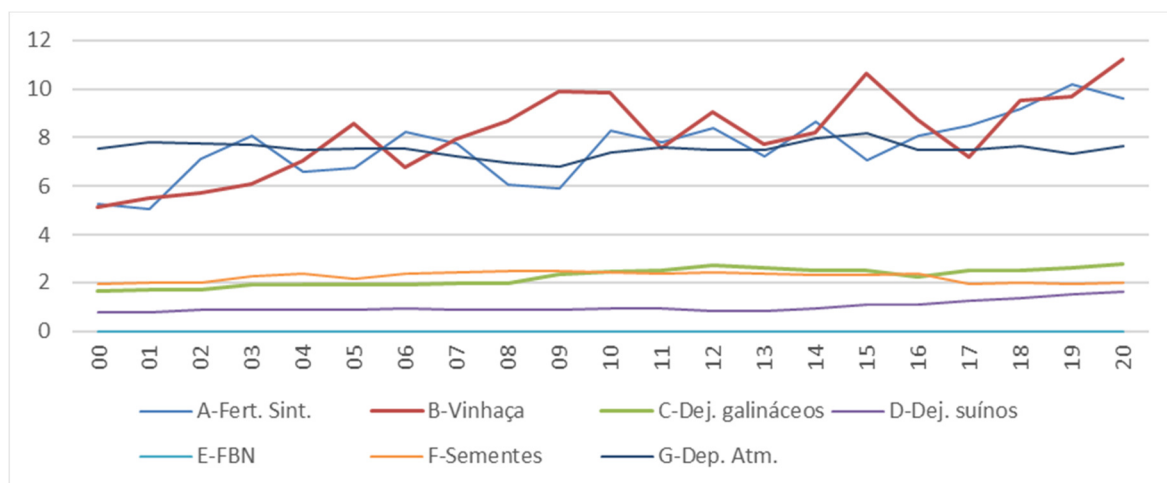


Figura 117. Entradas no balanço agropecuário de K da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

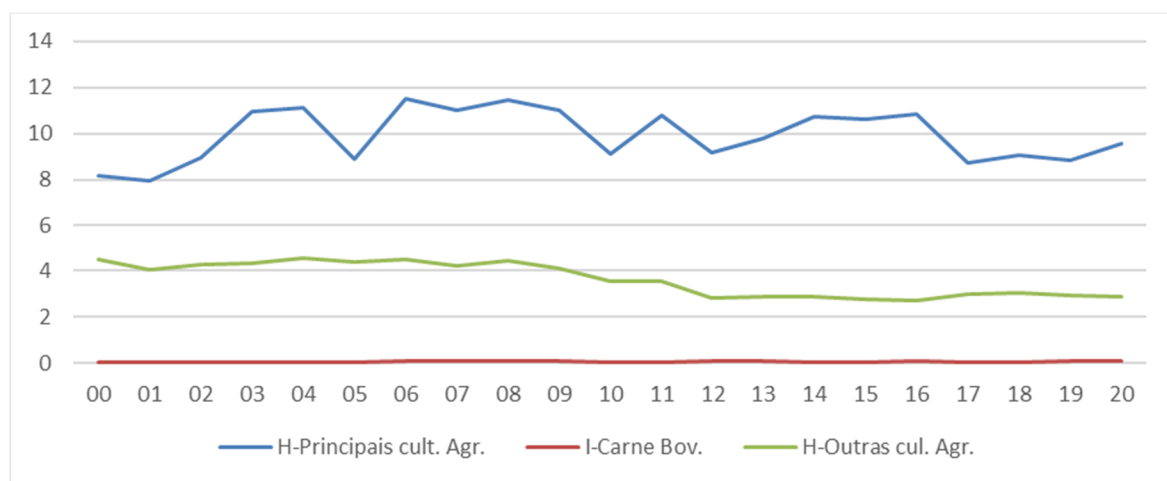


Figura 118. Saídas no balanço agropecuário de K da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

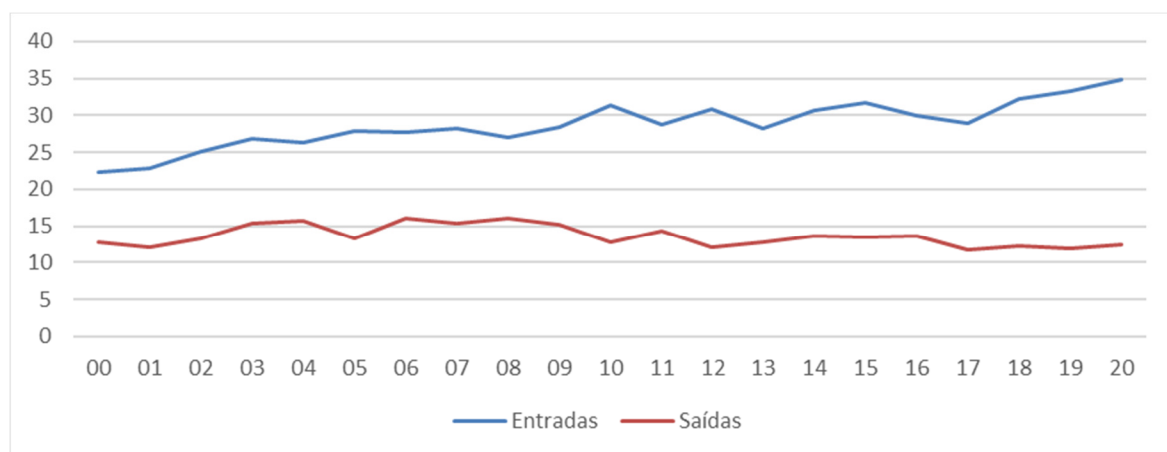


Figura 119. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K da Paraíba entre 2000 a 2020 (Gg).

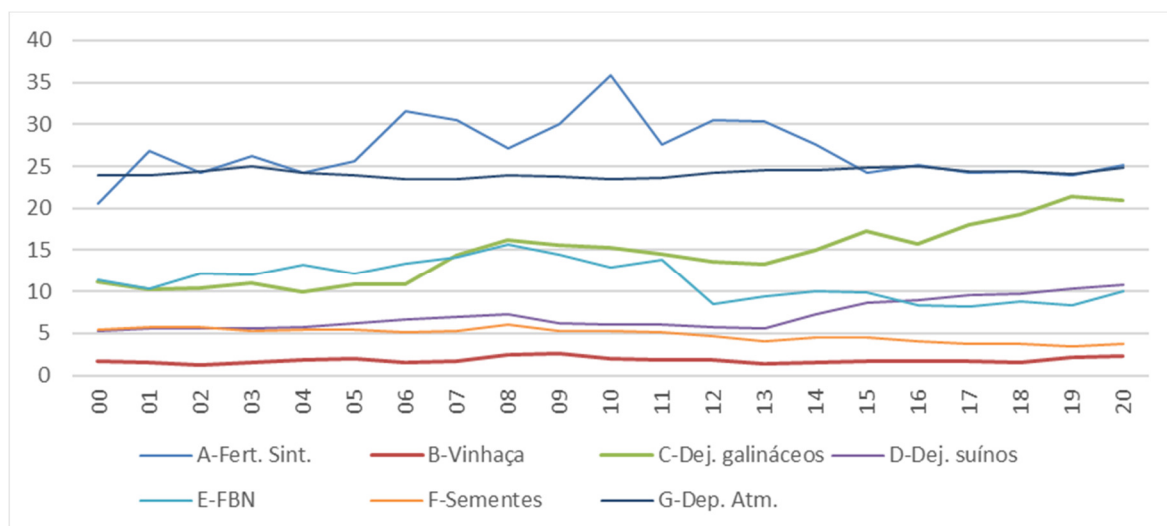


Figura 120. Entradas no balanço agropecuário de N de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

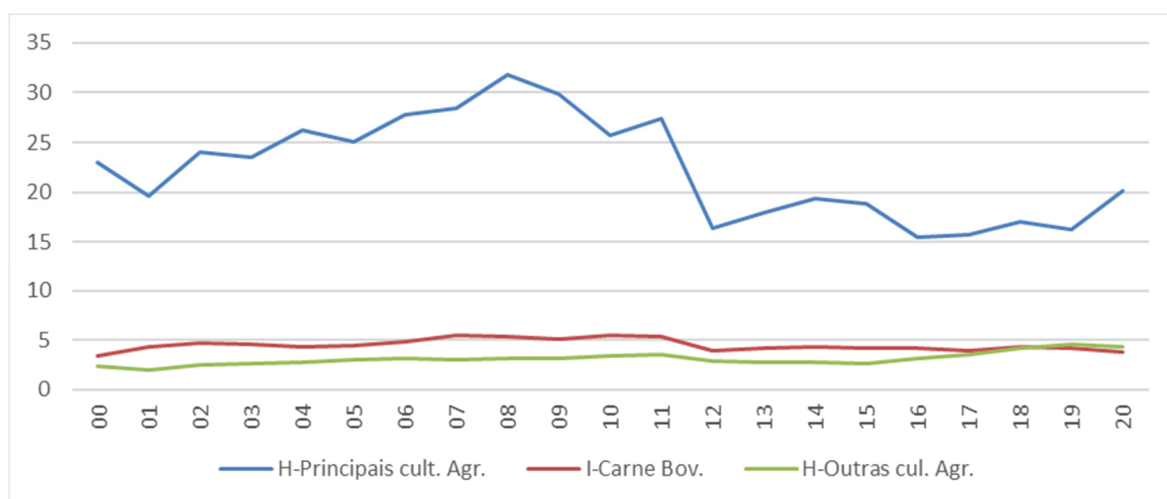


Figura 121. Saídas no balanço agropecuário de N de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

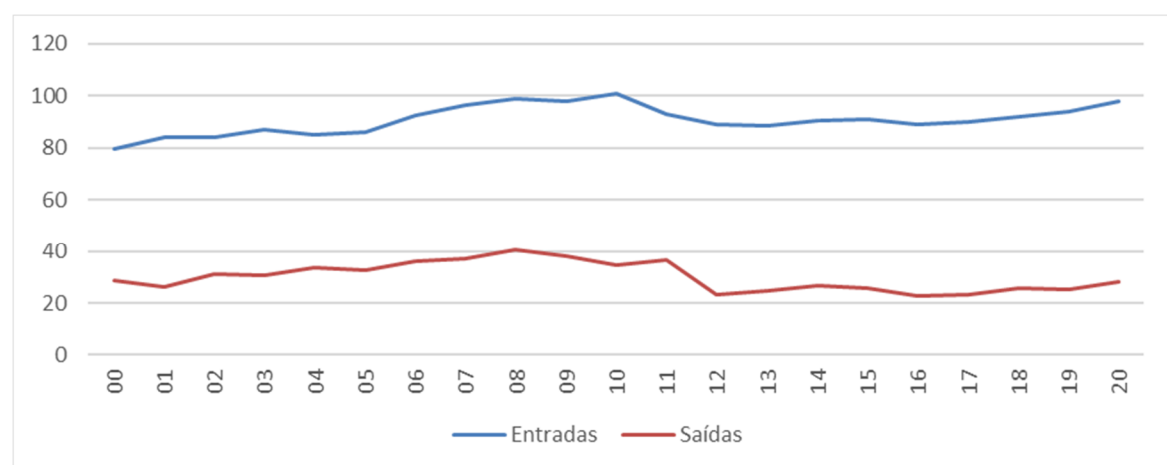


Figura 122. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

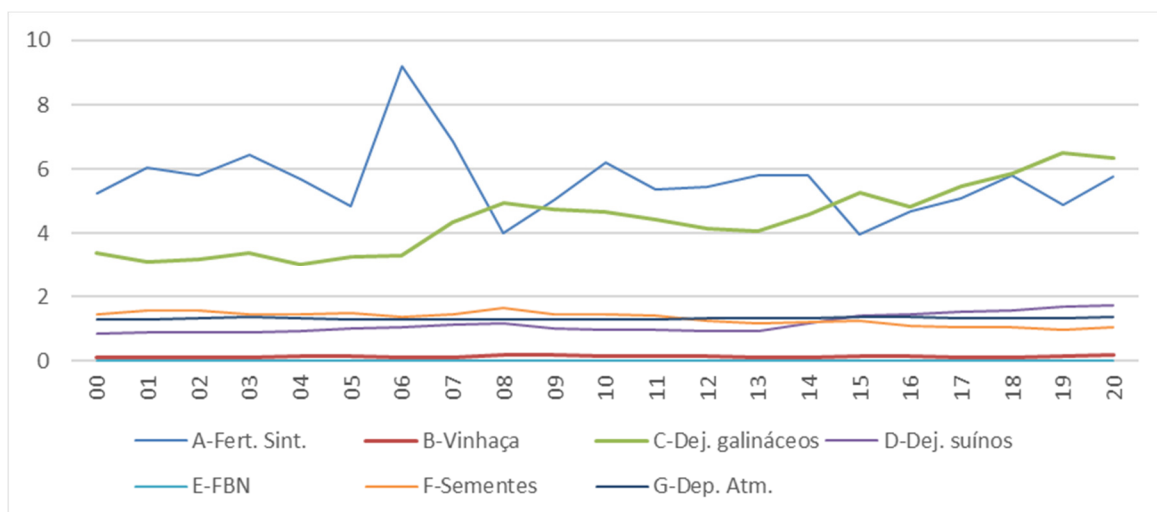


Figura 123. Entradas no balanço agropecuário de P de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

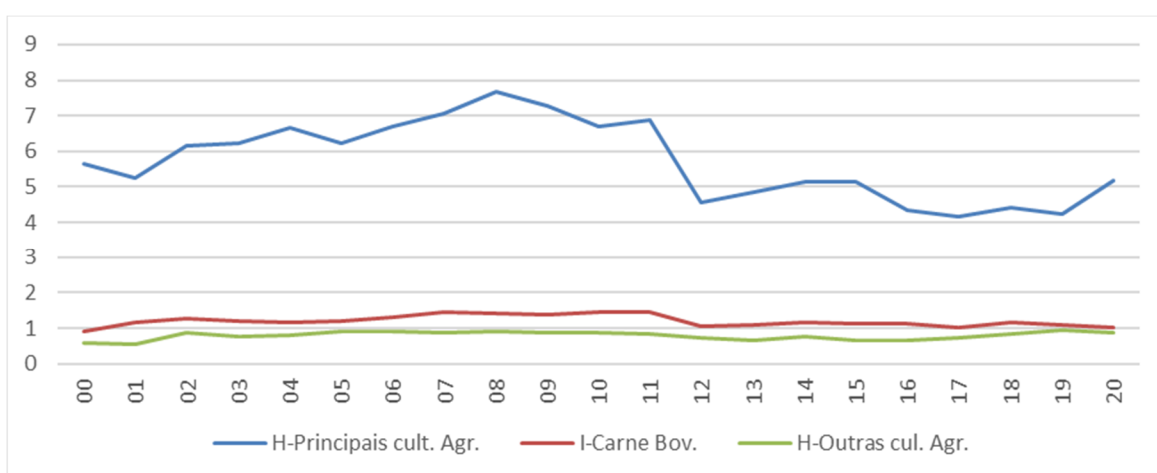


Figura 124. Saídas no balanço agropecuário de P de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

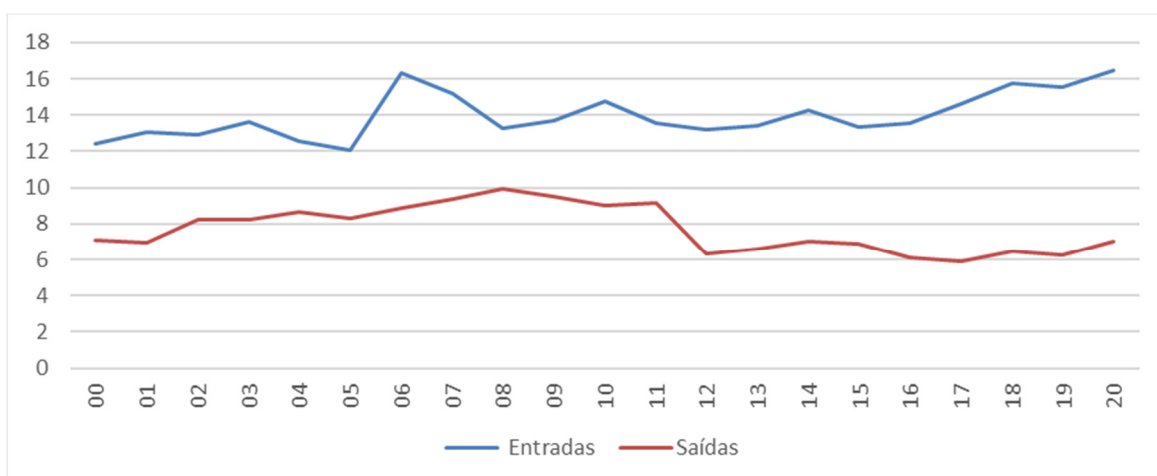


Figura 125. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

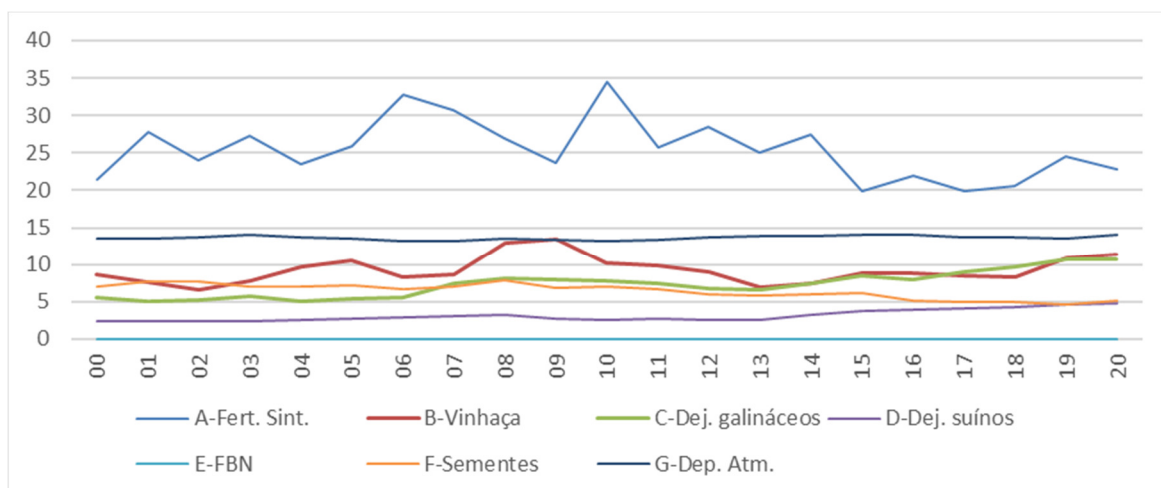


Figura 126. Entradas no balanço agropecuário de K de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

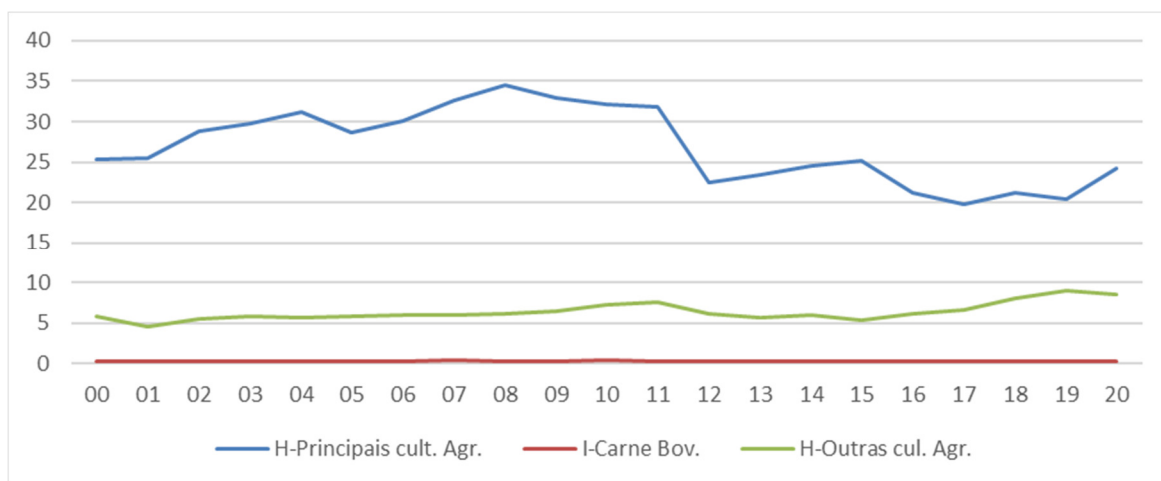


Figura 127. Saídas no balanço agropecuário de K de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

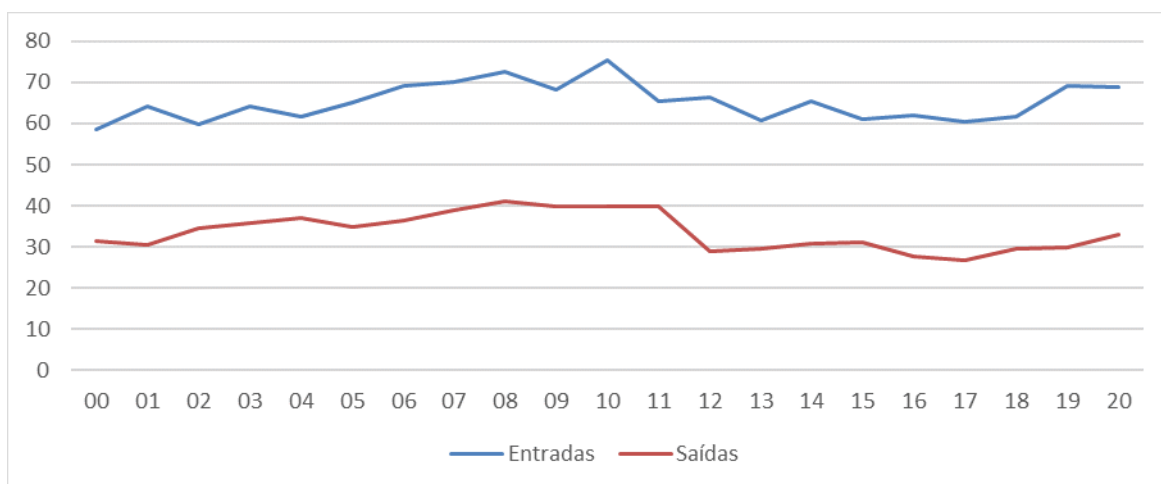


Figura 128. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Pernambuco entre 2000 a 2020 (Gg).

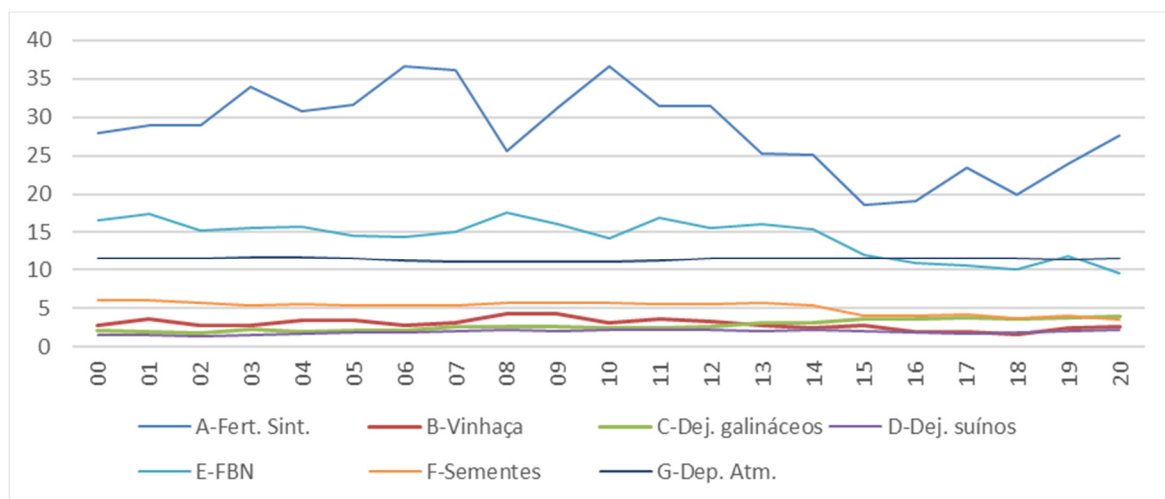


Figura 129. Entradas no balanço agropecuário de N de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

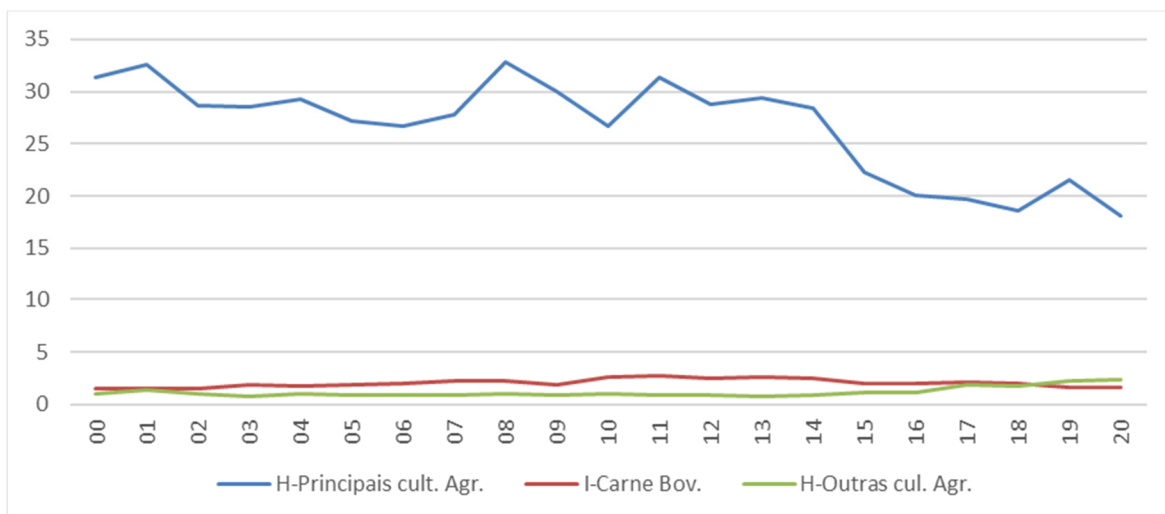


Figura 130. Saídas no balanço agropecuário de N de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

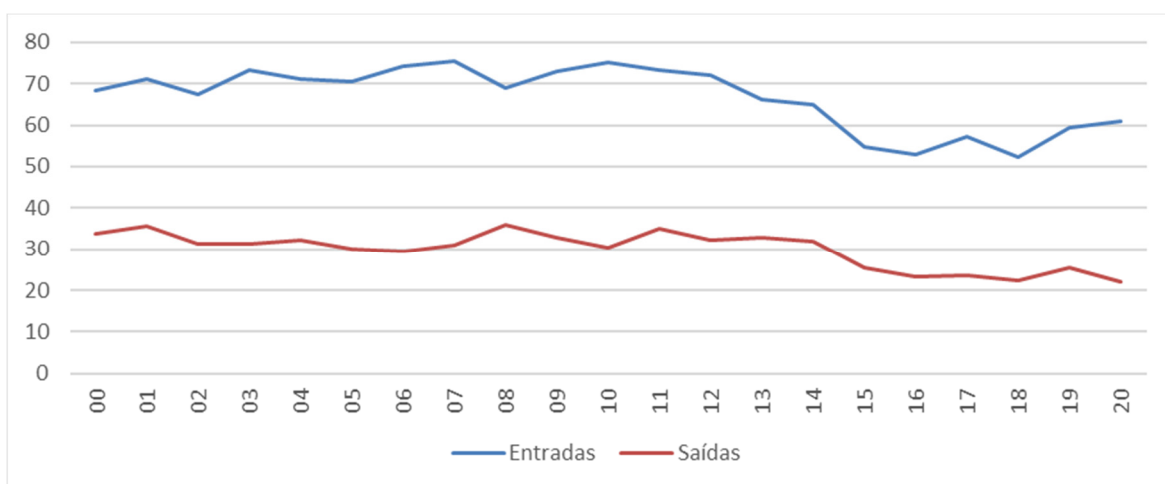


Figura 131. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

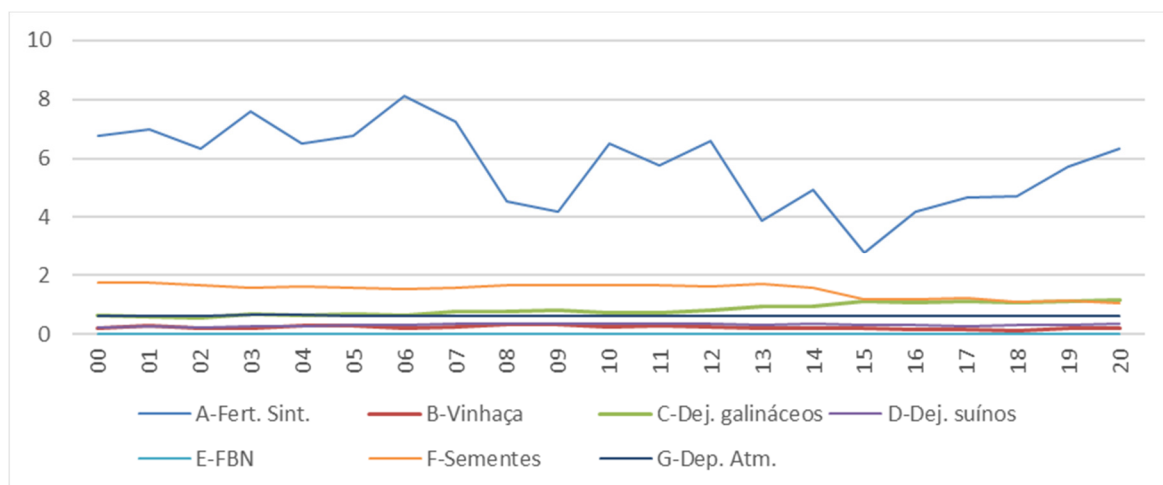


Figura 132. Entradas no balanço agropecuário de P de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

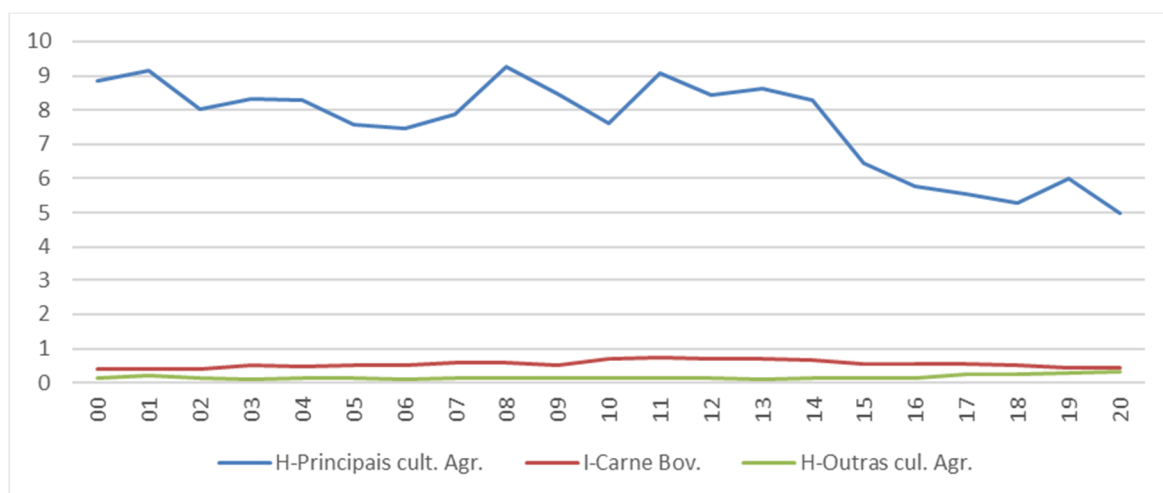


Figura 133. Saídas no balanço agropecuário de P de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

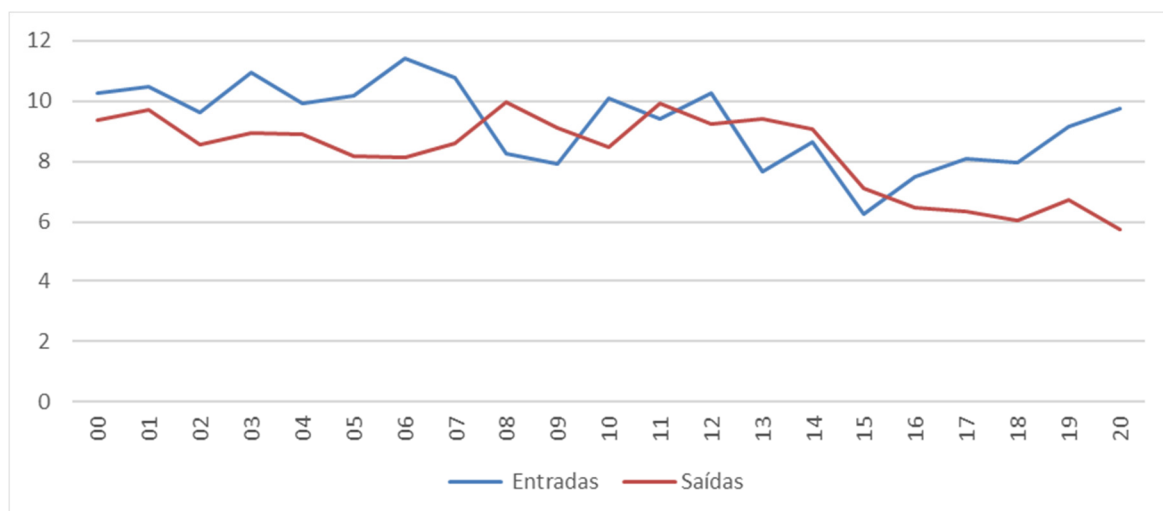


Figura 134. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

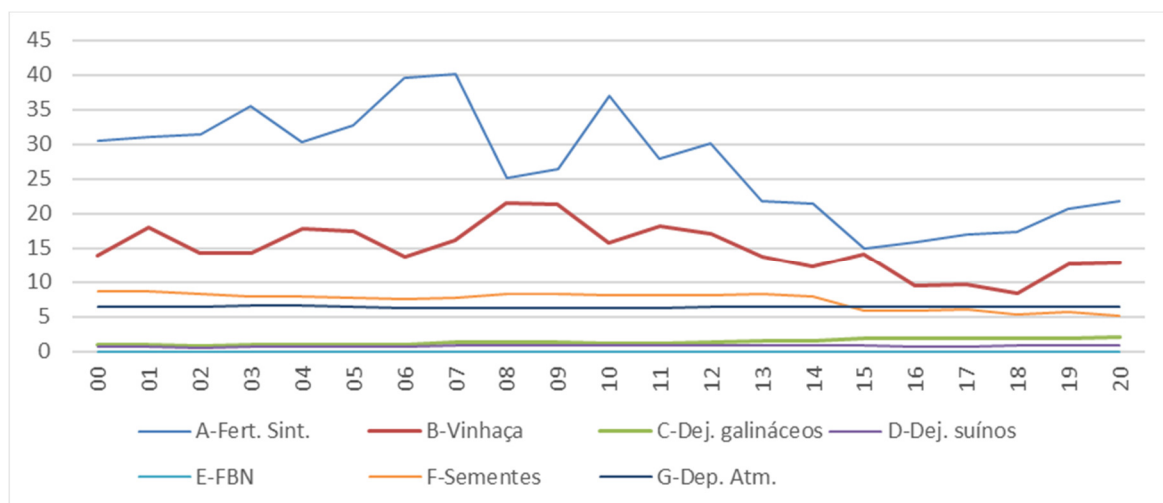


Figura 135. Entradas no balanço agropecuário de K de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

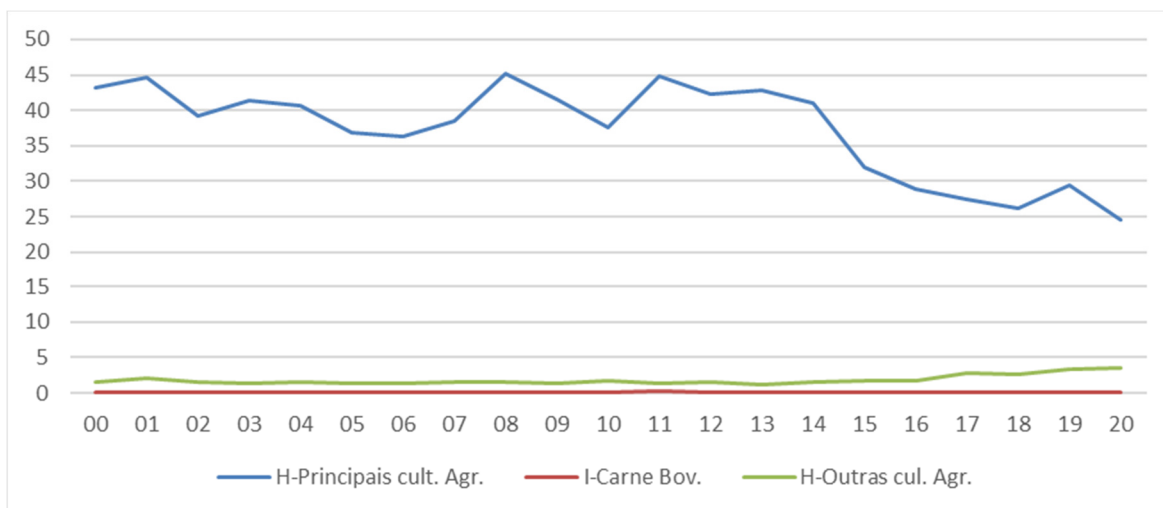


Figura 136. Saídas no balanço agropecuário de K de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

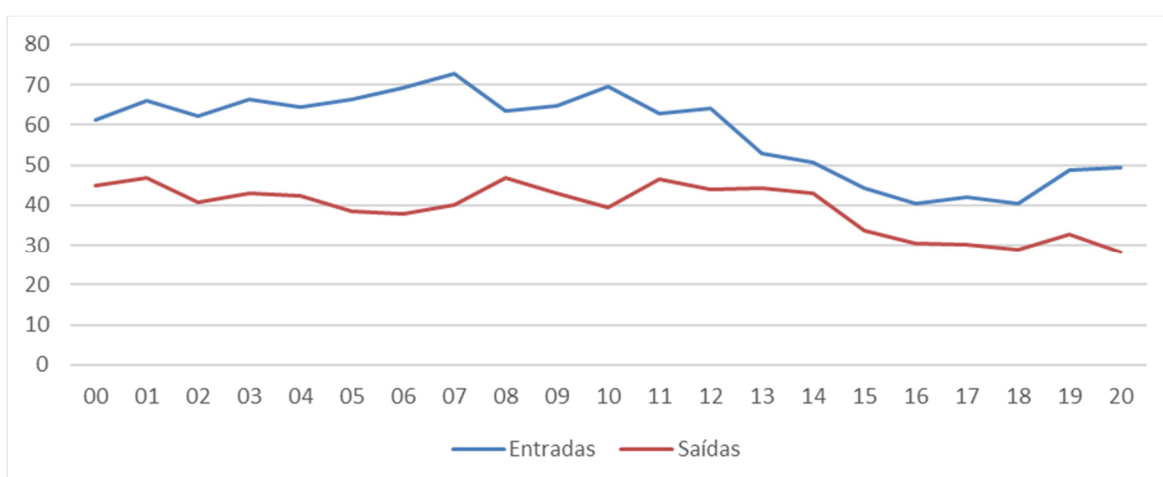


Figura 137. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Alagoas entre 2000 a 2020 (Gg).

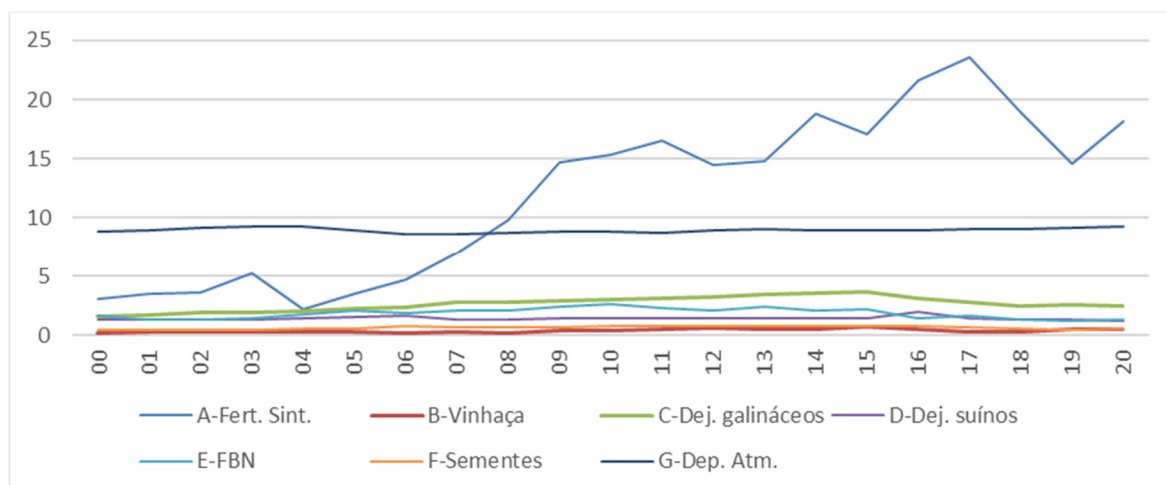


Figura 138. Entradas no balanço agropecuário de N de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

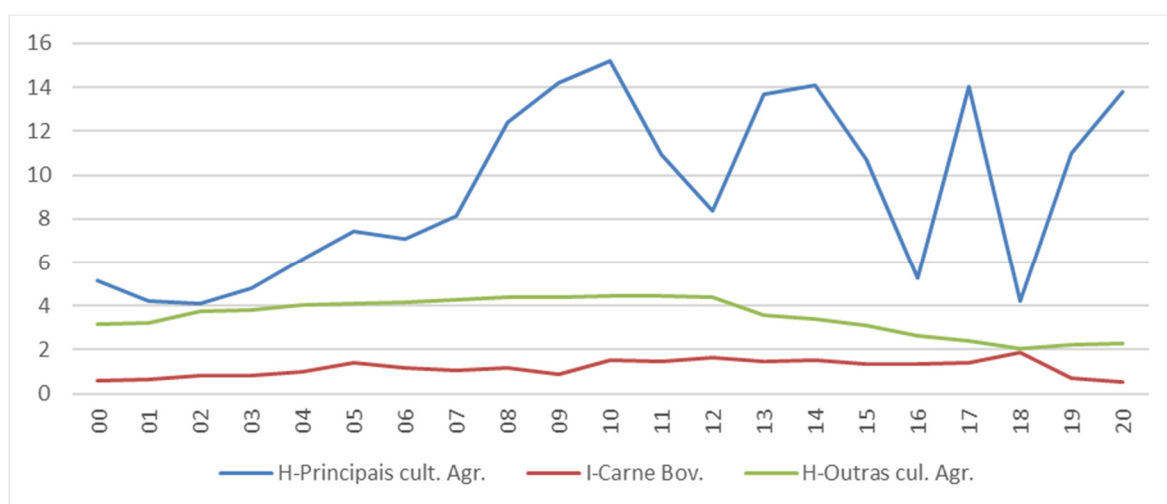


Figura 139. Saídas no balanço agropecuário de N de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

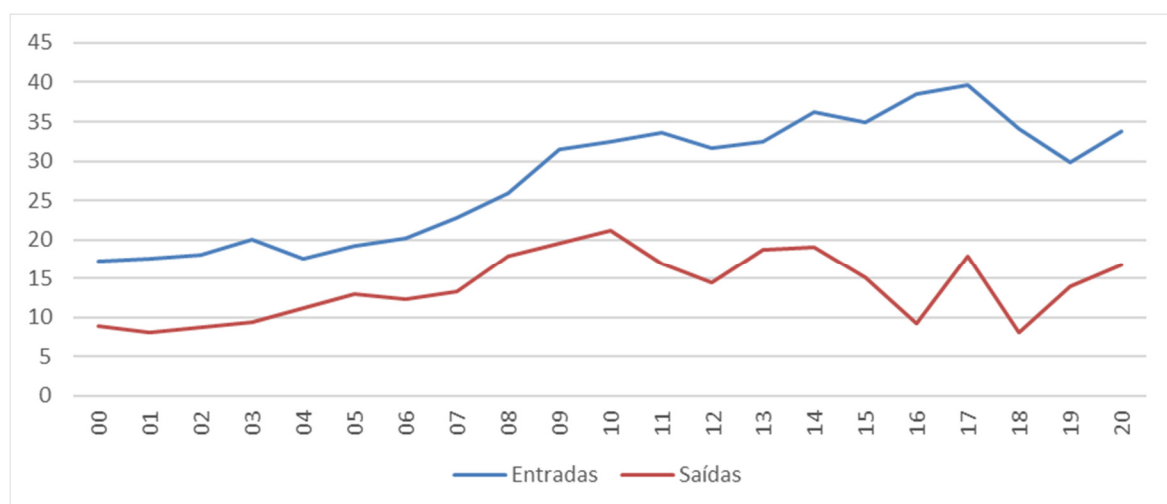


Figura 140. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

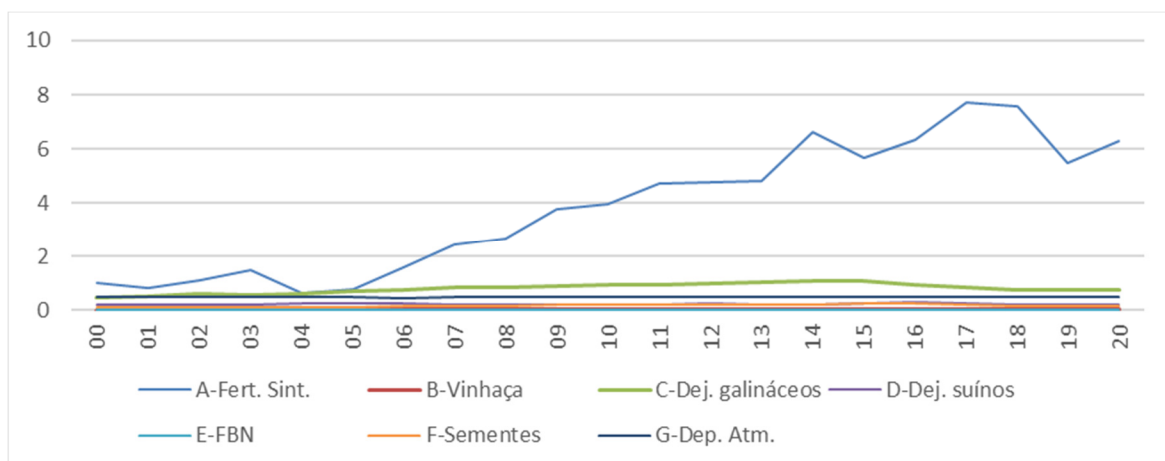


Figura 141. Entradas no balanço agropecuário de P de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

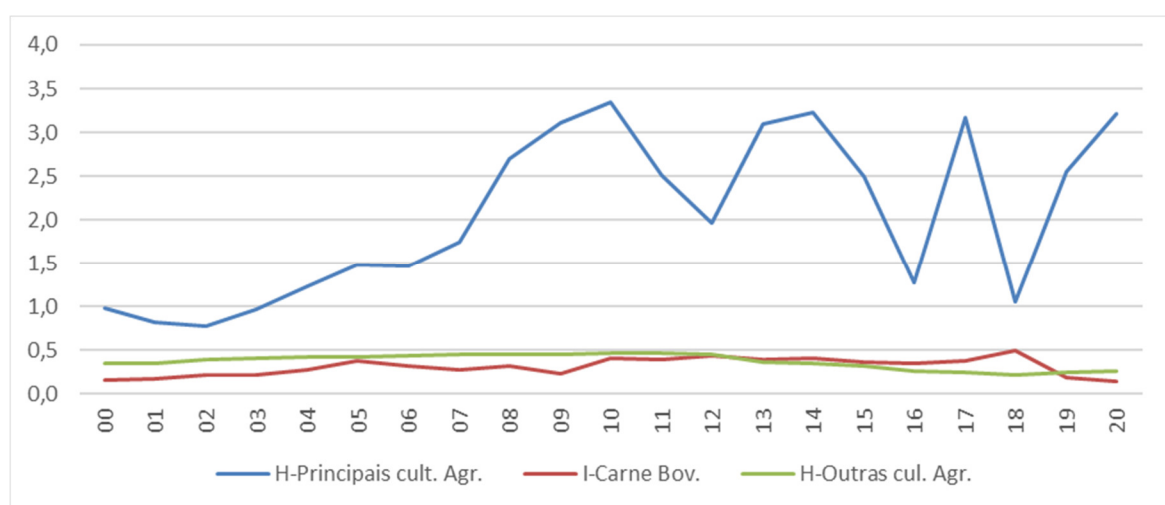


Figura 142. Saídas no balanço agropecuário de P de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

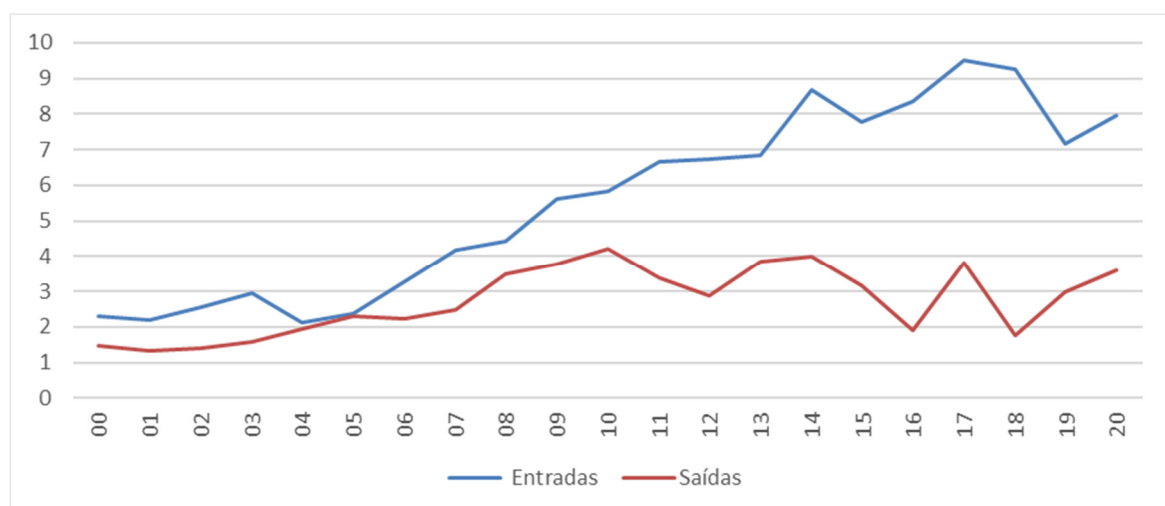


Figura 143. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

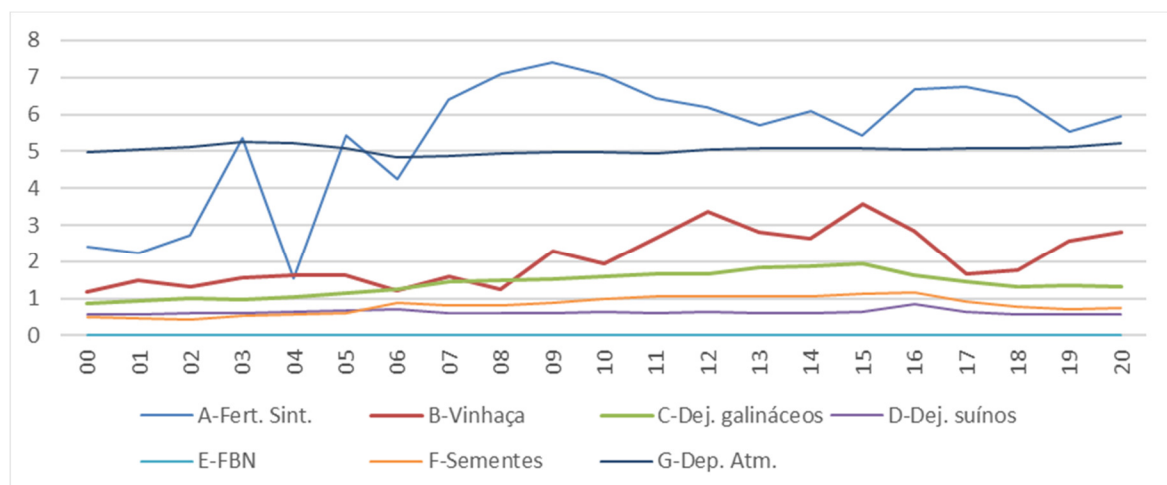


Figura 144. Entradas no balanço agropecuário de K de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

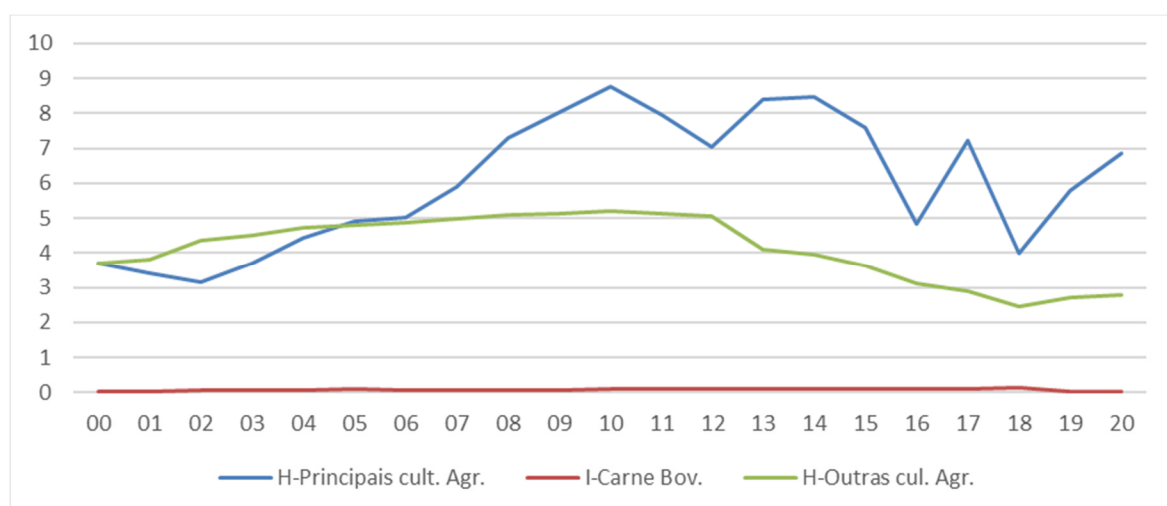


Figura 145. Saídas no balanço agropecuário de K de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

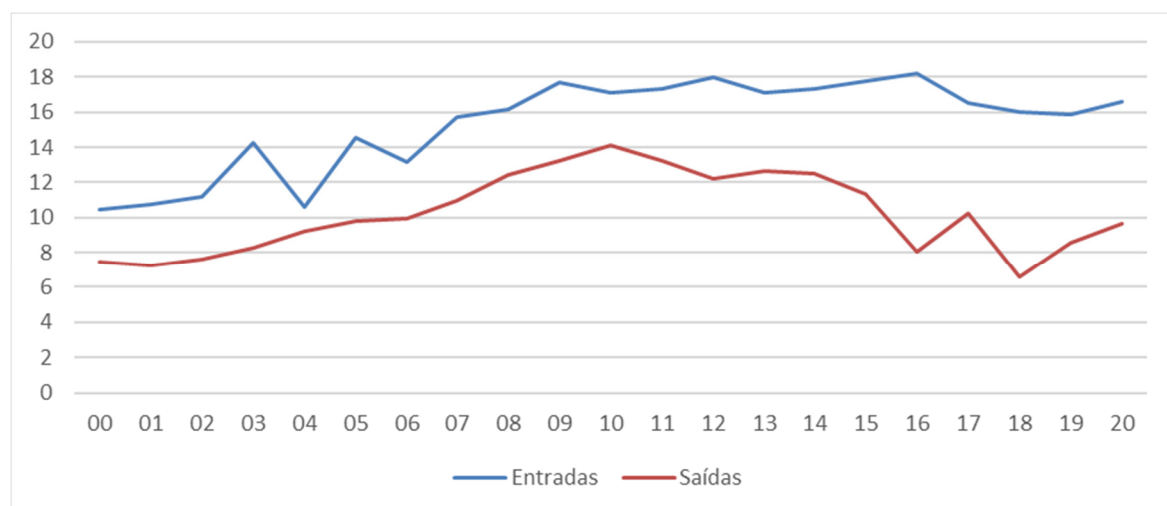


Figura 146. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Sergipe entre 2000 a 2020 (Gg).

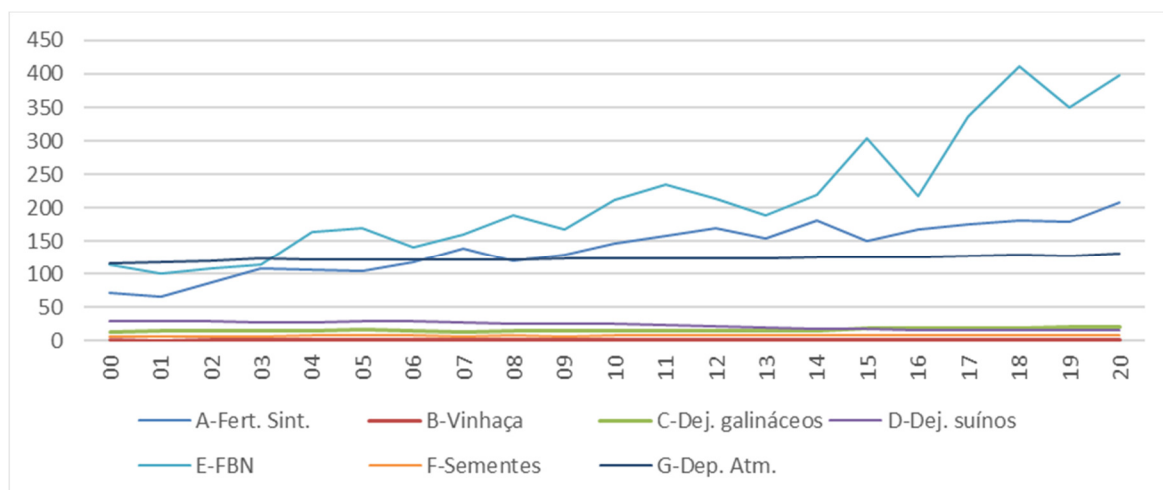


Figura 147. Entradas no balanço agropecuário de N da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

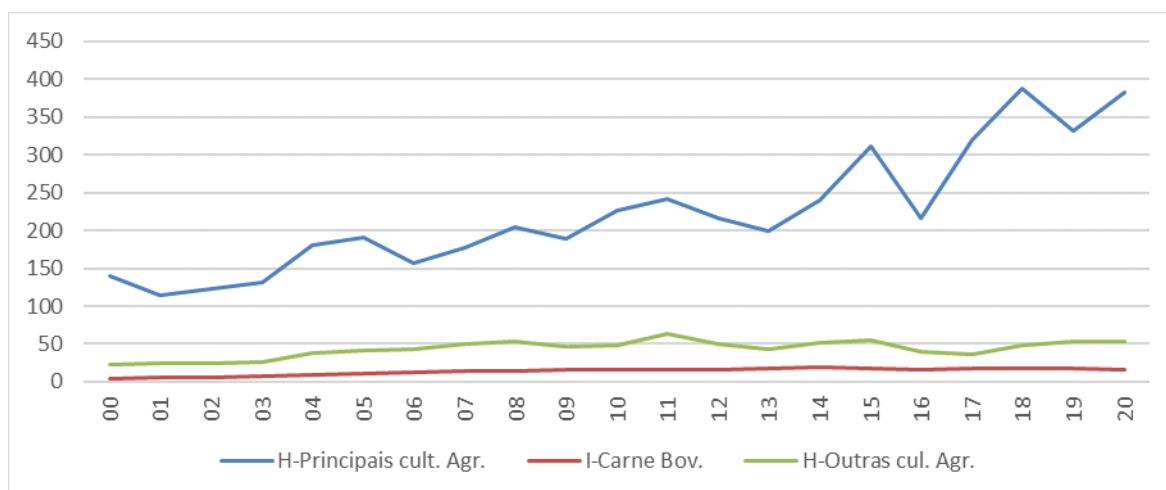


Figura 148. Saídas no balanço agropecuário de N da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

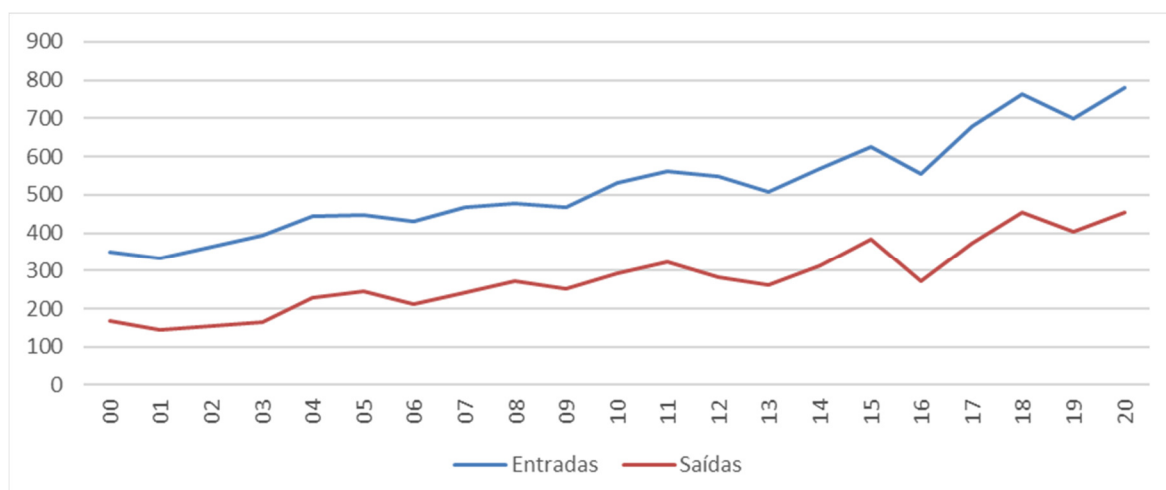


Figura 149. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

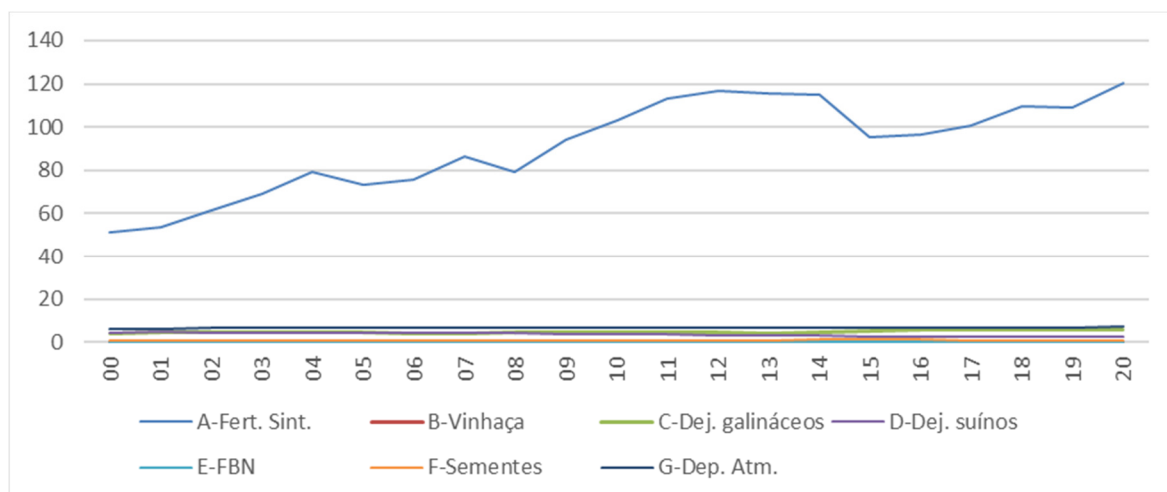


Figura 150. Entradas no balanço agropecuário de P da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

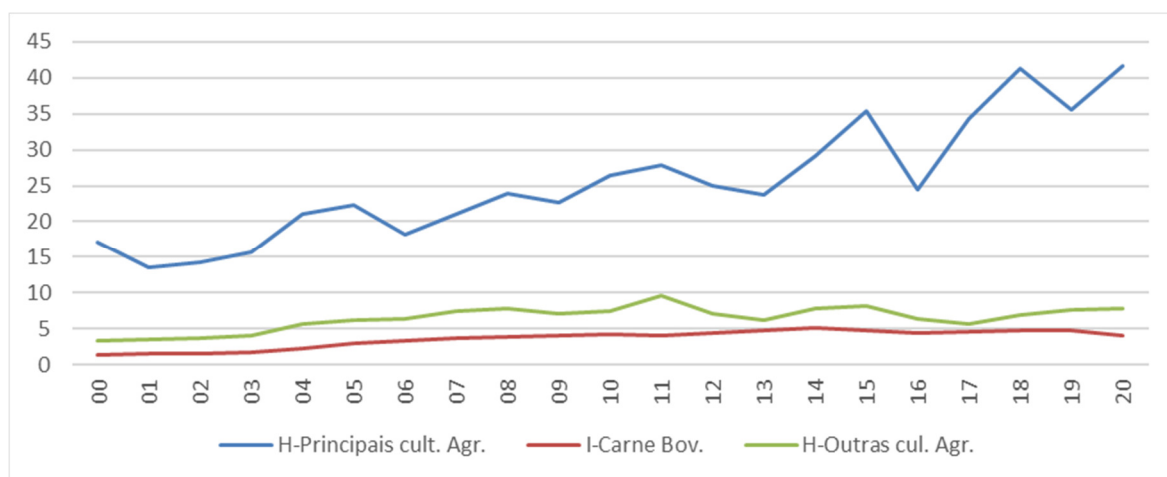


Figura 151. Saídas no balanço agropecuário de P da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

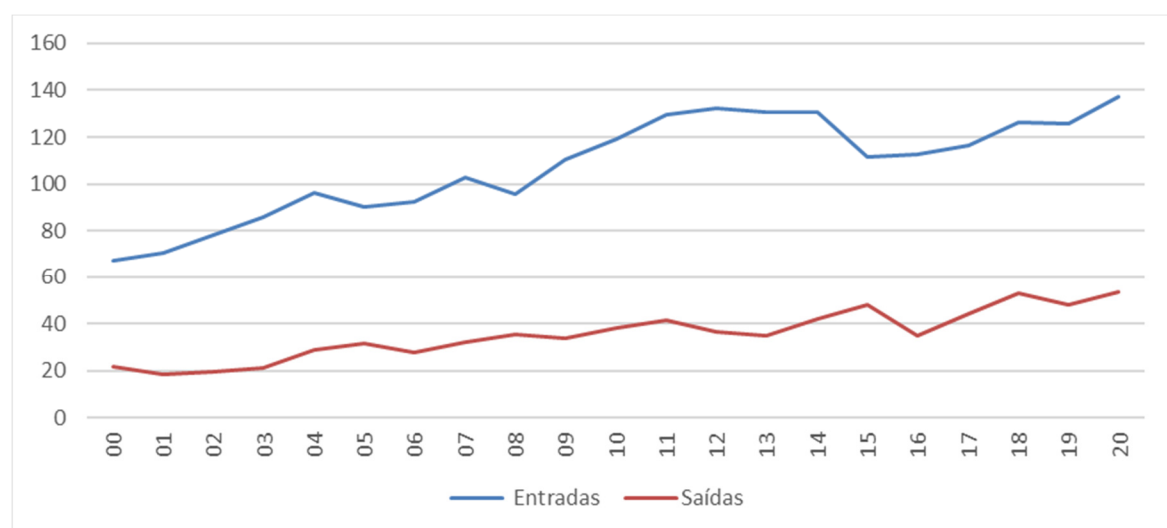


Figura 152. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

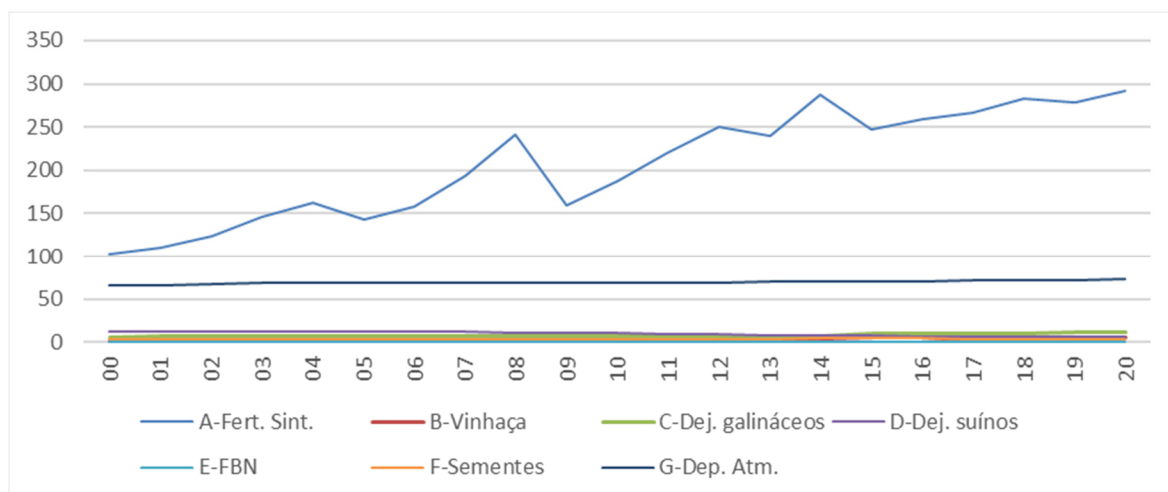


Figura 153. Entradas no balanço agropecuário de K da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

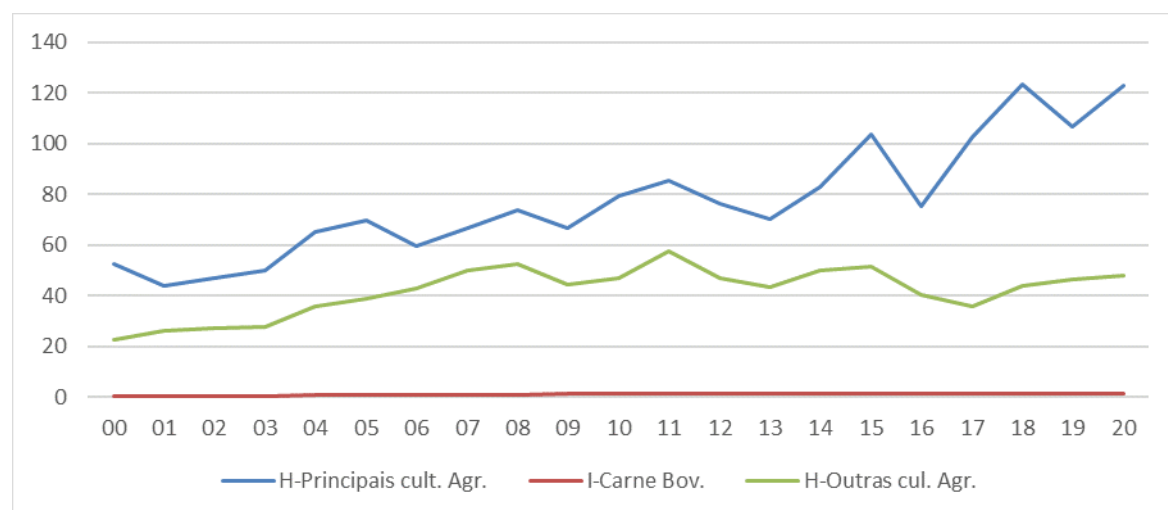


Figura 154. Saídas no balanço agropecuário de K da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

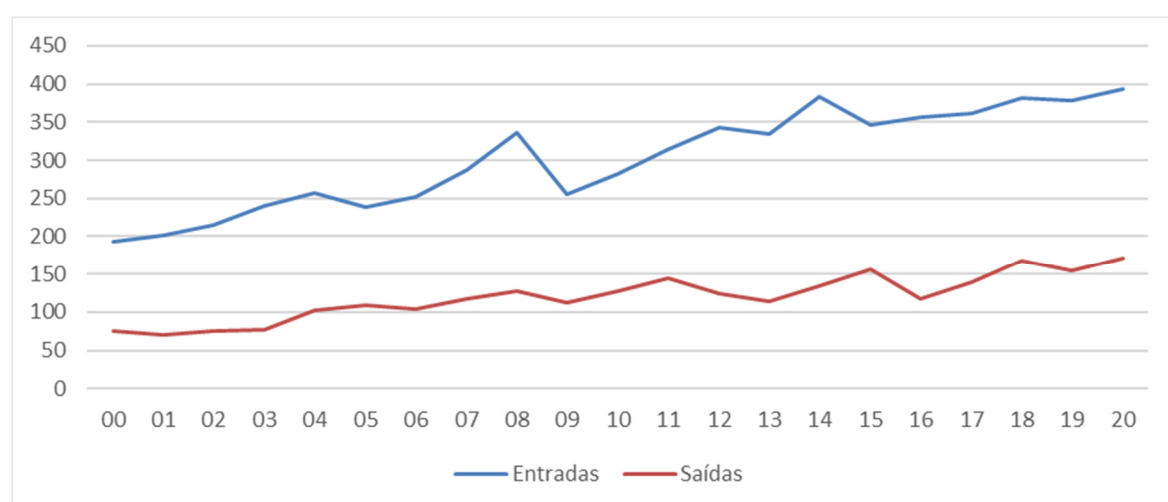


Figura 155. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K da Bahia entre 2000 a 2020 (Gg).

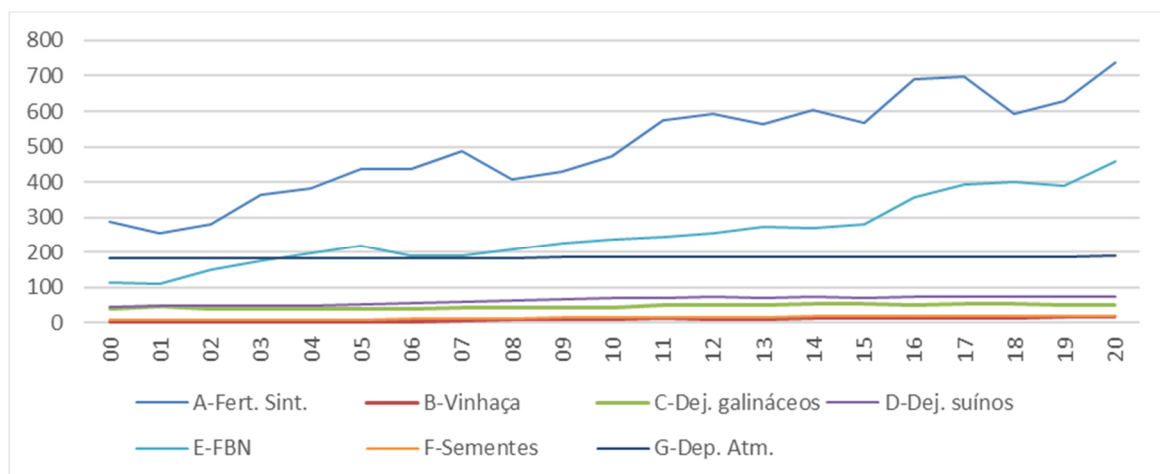


Figura 156. Entradas no balanço agropecuário de N de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

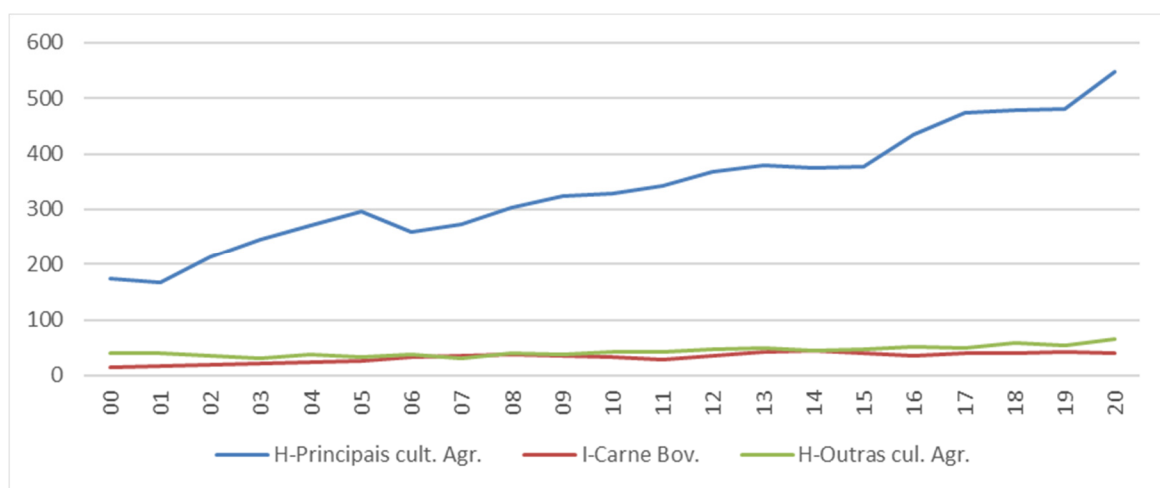


Figura 157. Saídas no balanço agropecuário de N de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

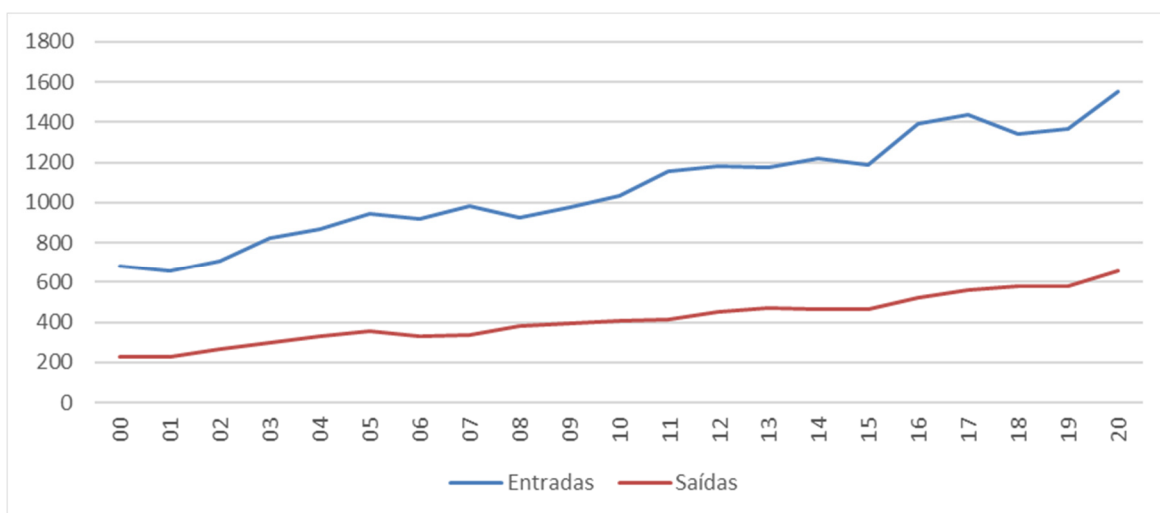


Figura 158. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

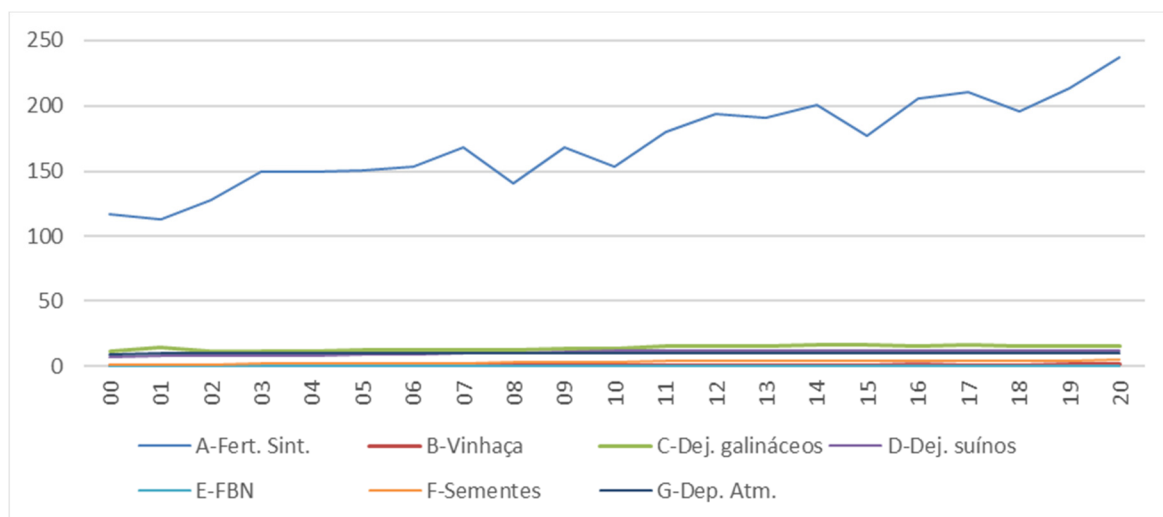


Figura 159. Entradas no balanço agropecuário de P de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

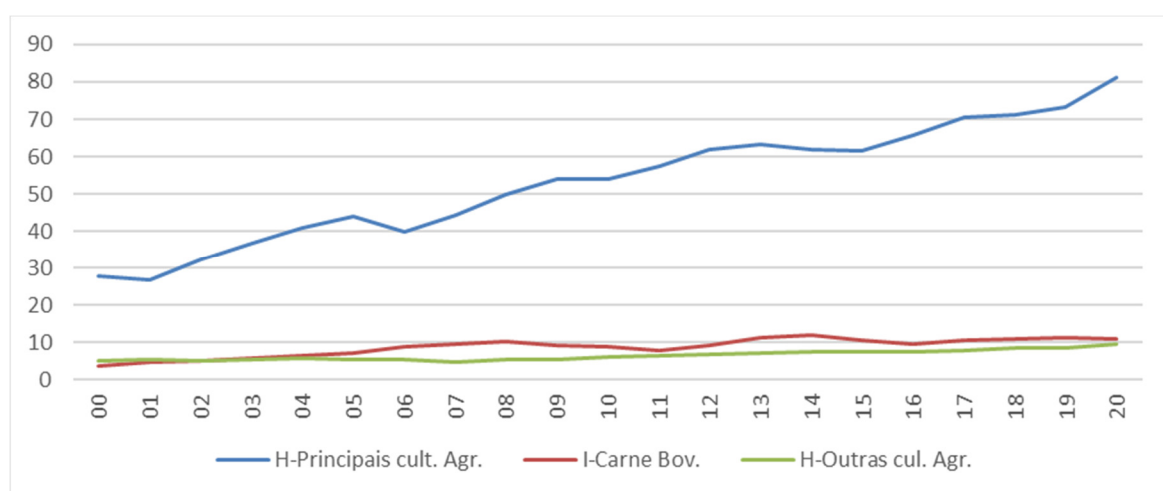


Figura 160. Saídas no balanço agropecuário de P de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

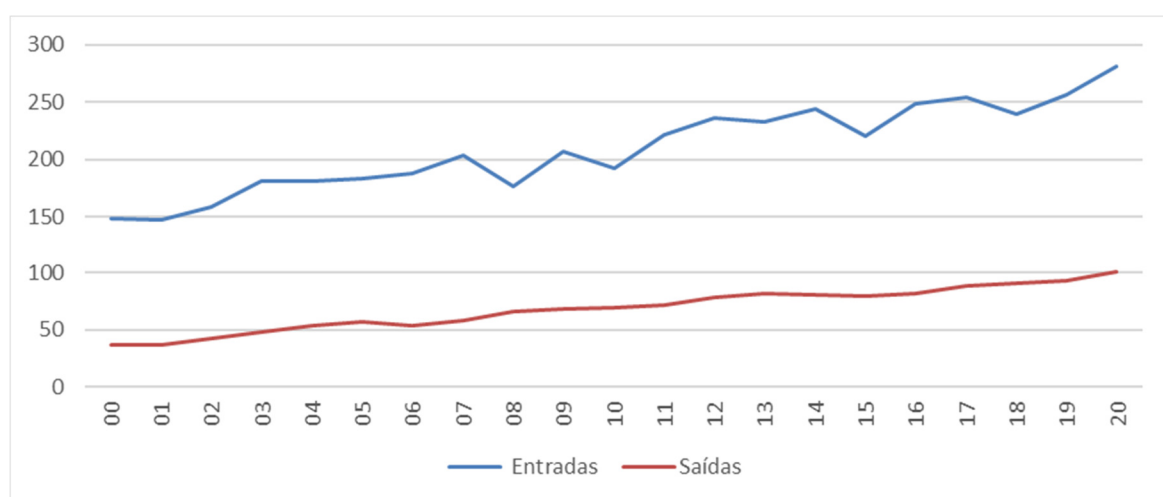


Figura 161. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

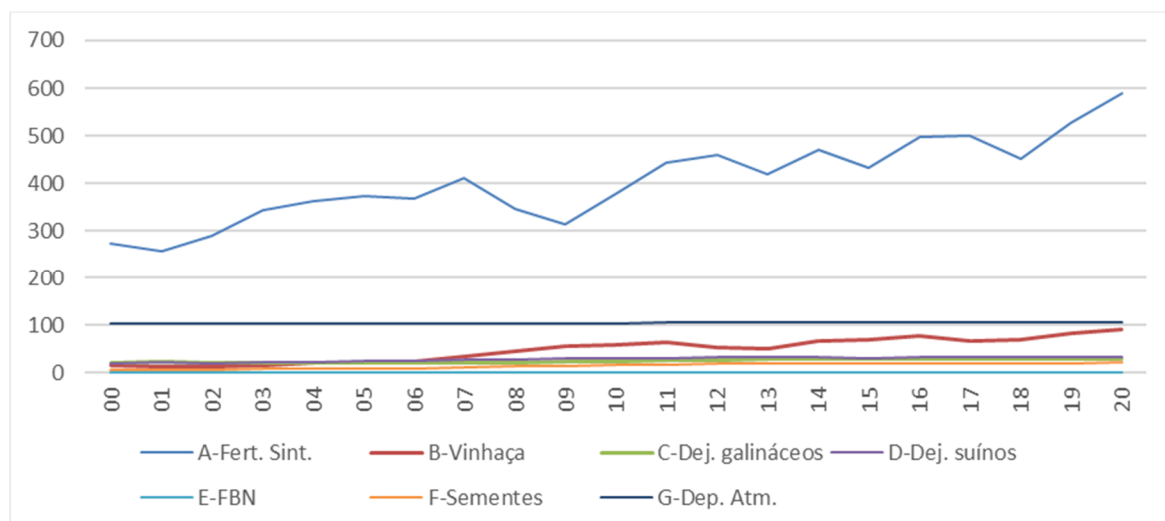


Figura 162. Entradas no balanço agropecuário de K de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

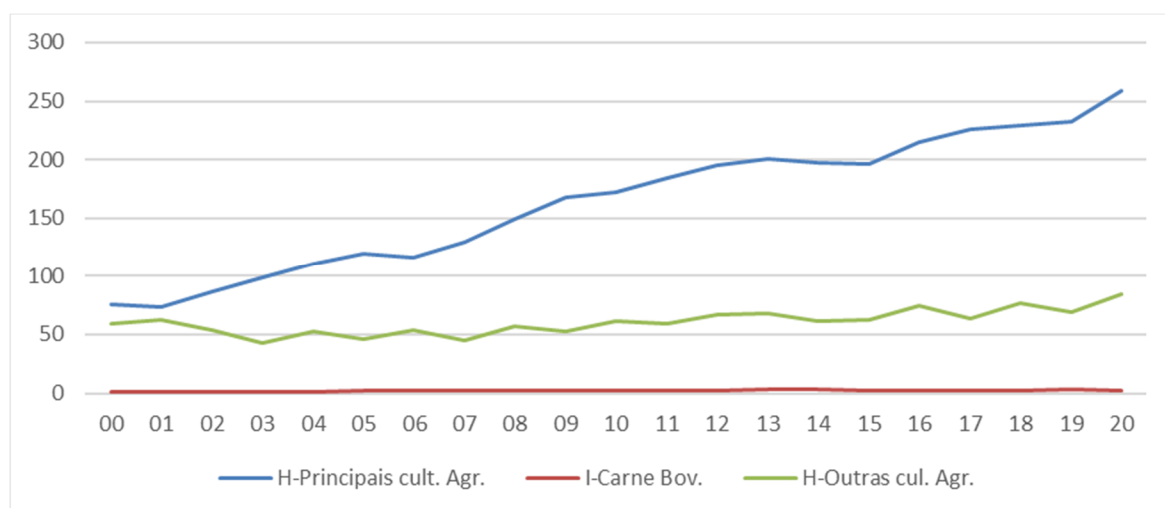


Figura 163. Saídas no balanço agropecuário de K de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

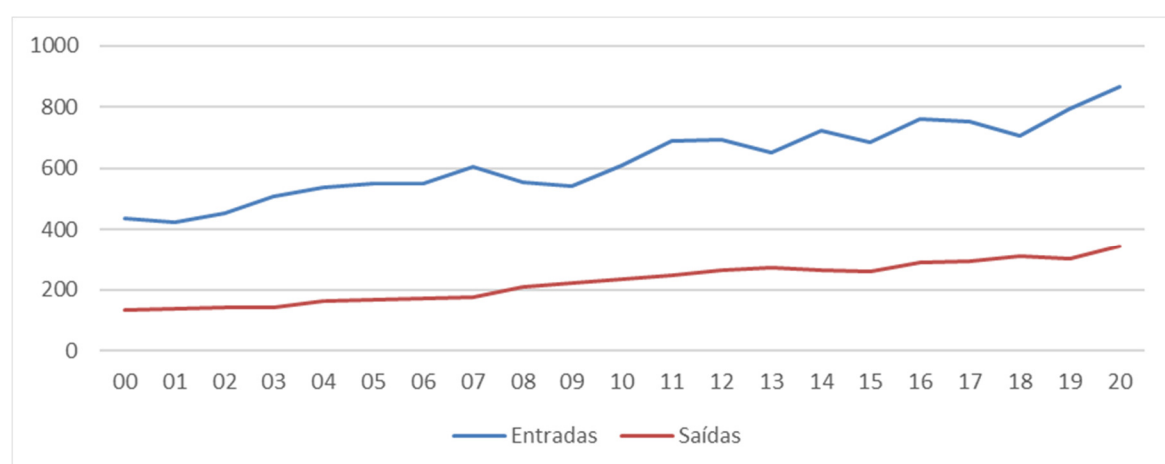


Figura 164. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Minas Gerais entre 2000 a 2020 (Gg).

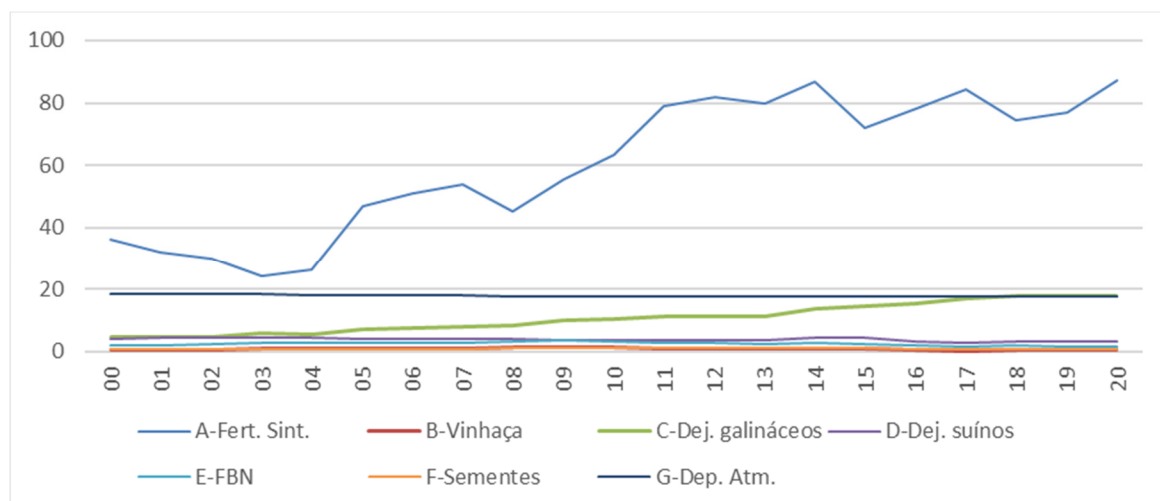


Figura 165. Entradas no balanço agropecuário de N do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

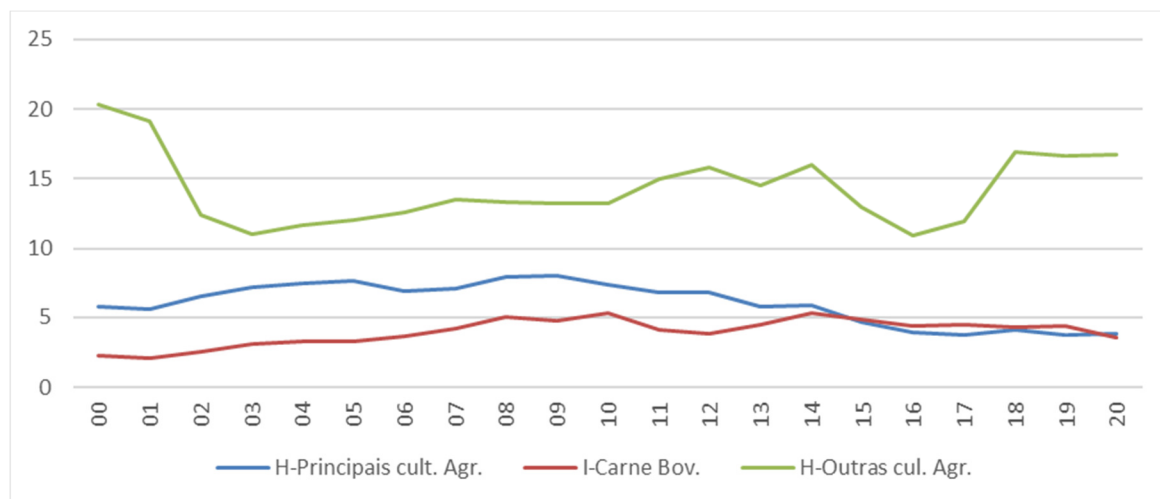


Figura 166. Saídas no balanço agropecuário de N do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

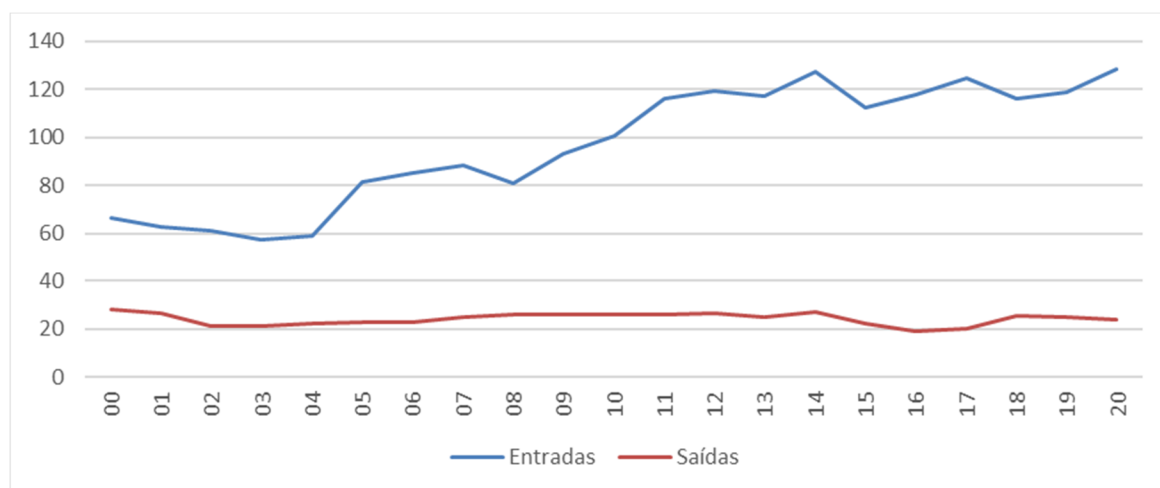


Figura 167. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

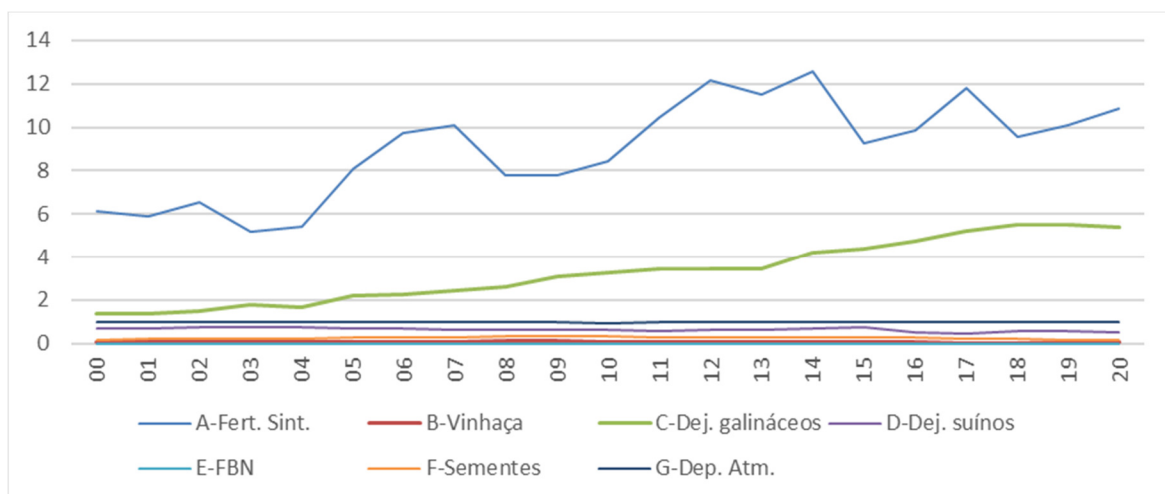


Figura 168. Entradas no balanço agropecuário de P do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

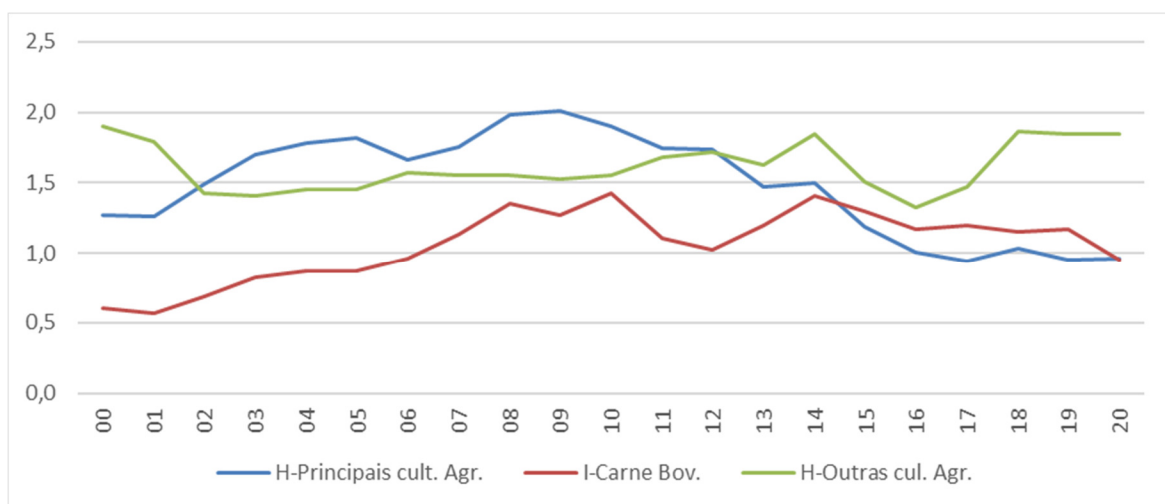


Figura 169. Saídas no balanço agropecuário de P do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

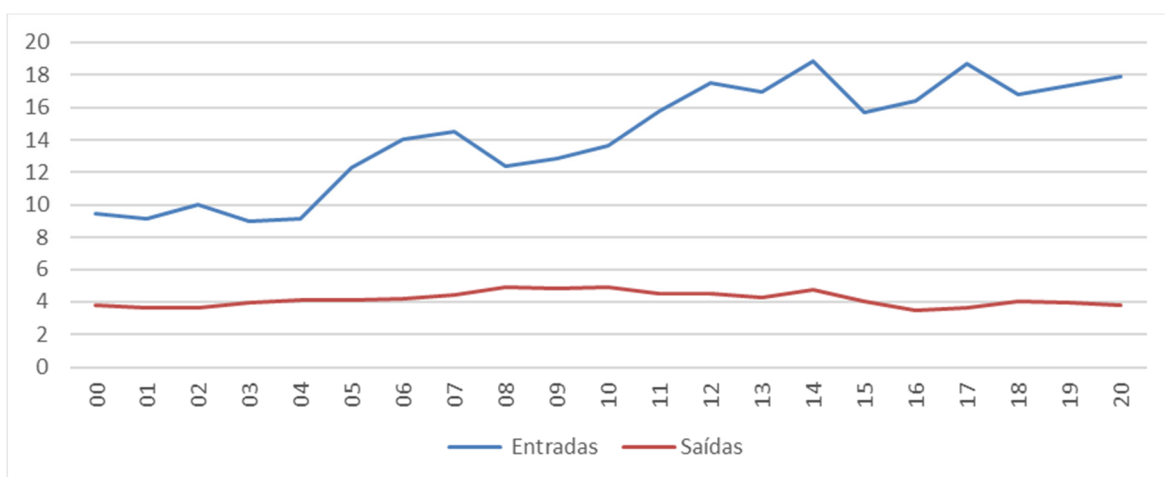


Figura 170. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

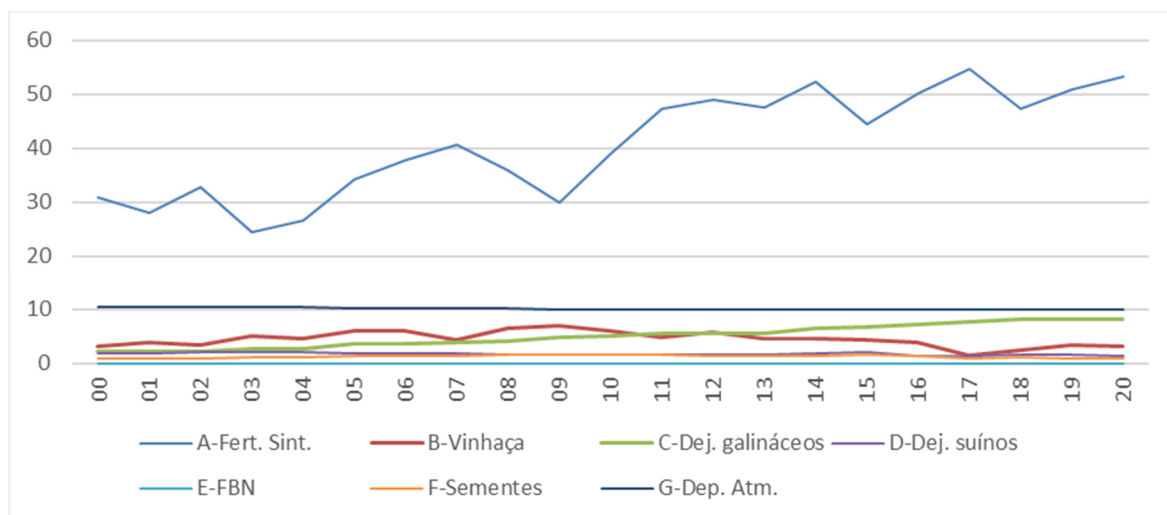


Figura 171. Entradas no balanço agropecuário de K do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

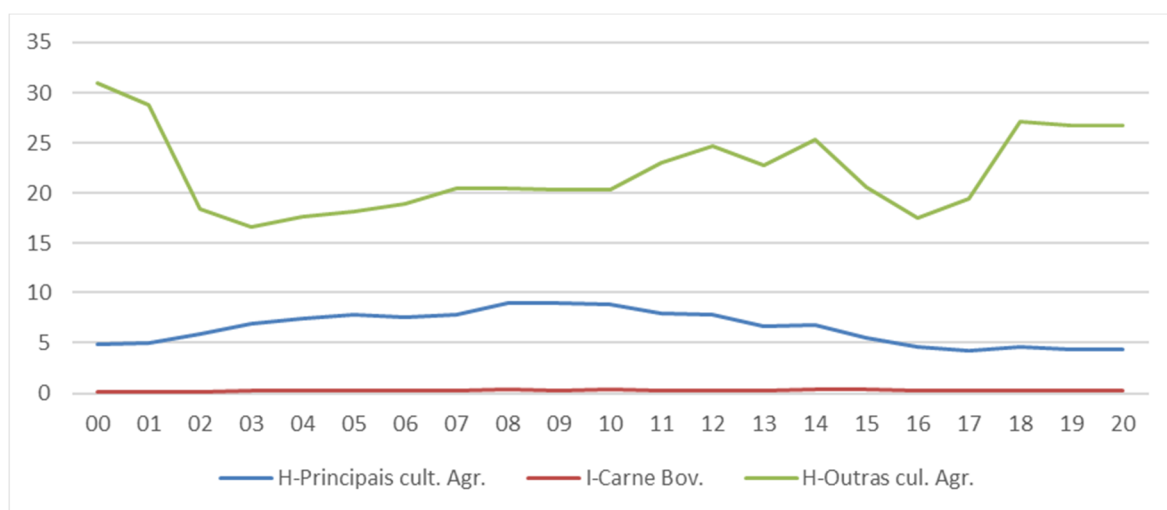


Figura 172. Saídas no balanço agropecuário de K do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

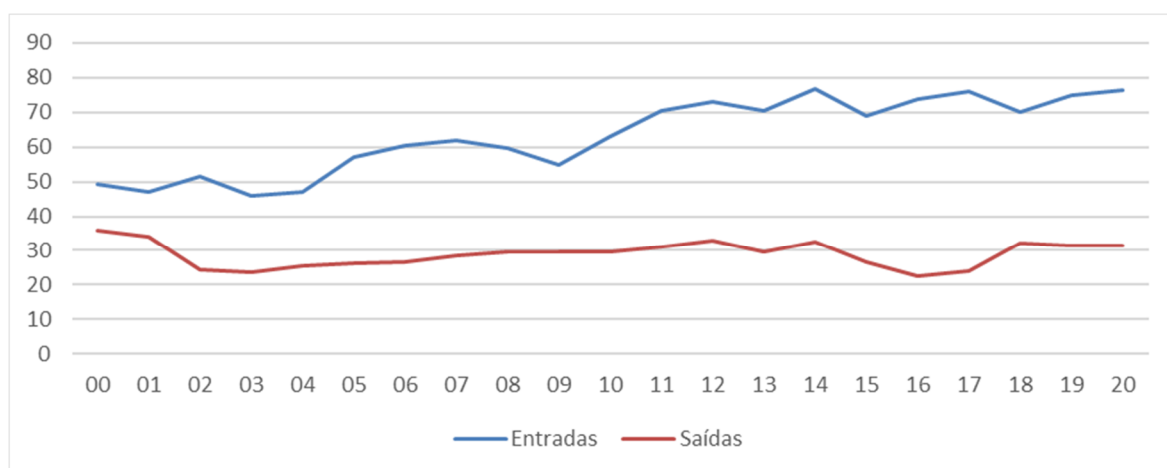


Figura 173. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Espírito Santo entre 2000 a 2020 (Gg).

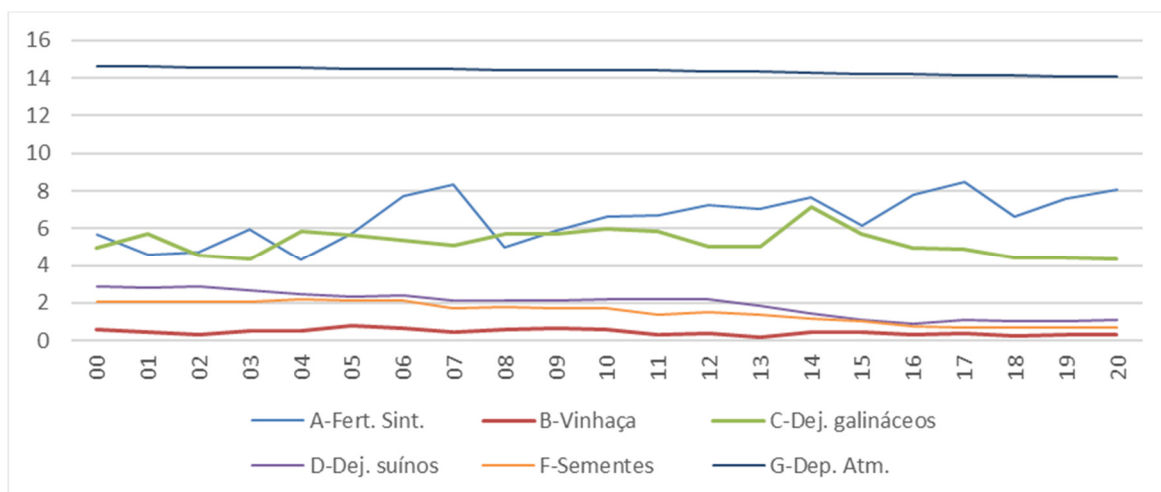


Figura 174. Entradas no balanço agropecuário de N do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

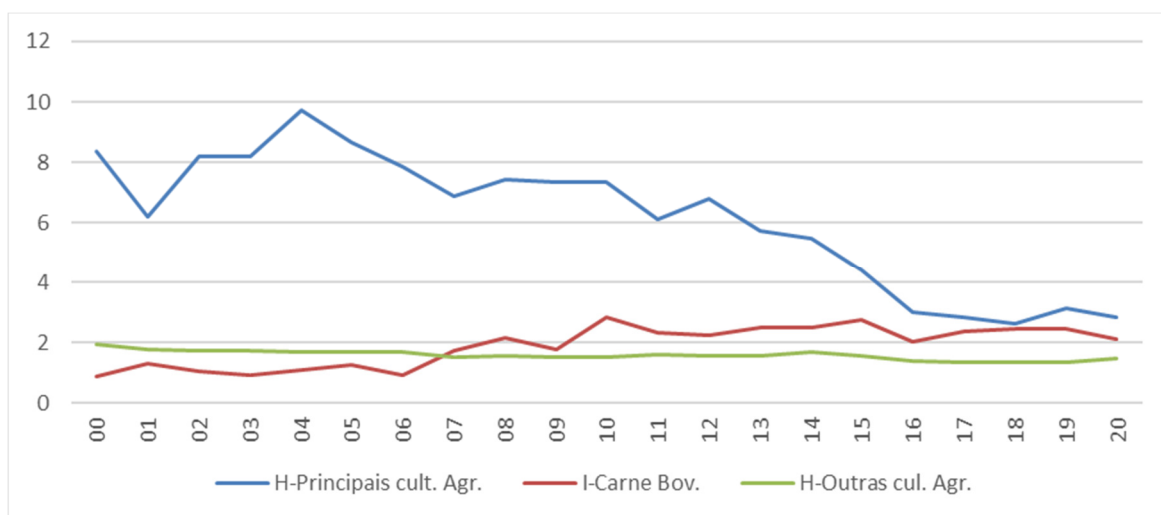


Figura 175. Saídas no balanço agropecuário de N do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

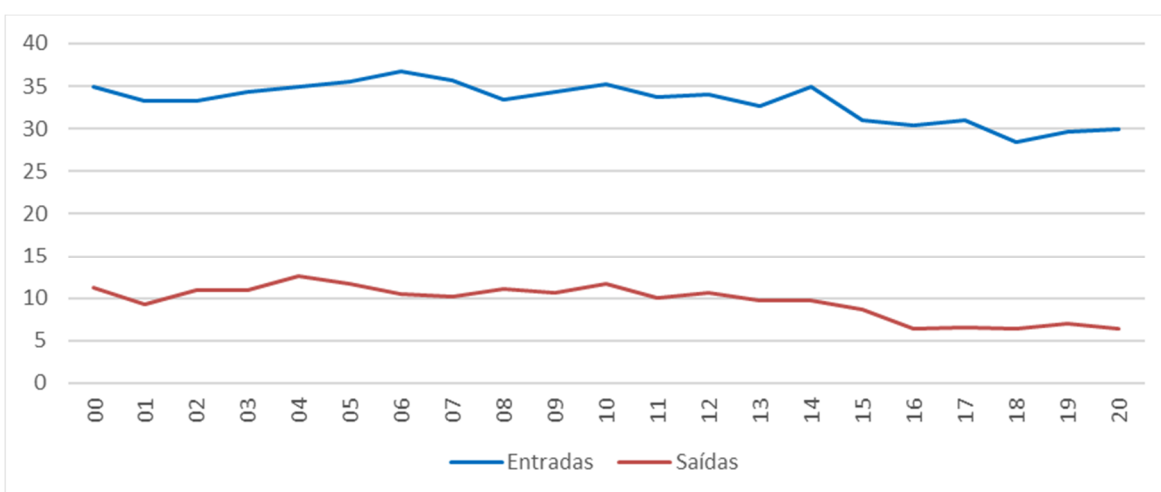


Figura 176. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

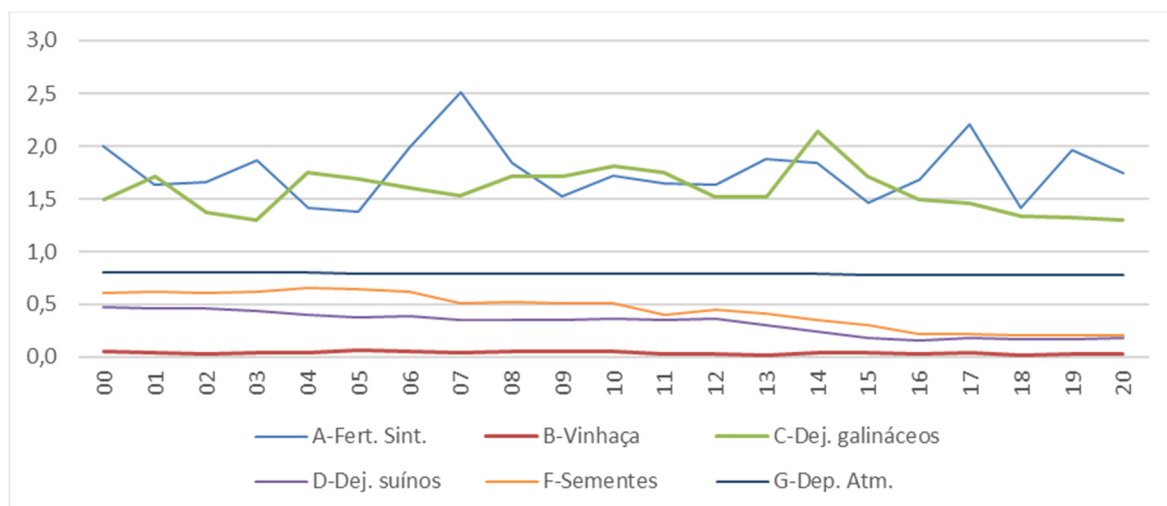


Figura 177. Entradas no balanço agropecuário de P do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

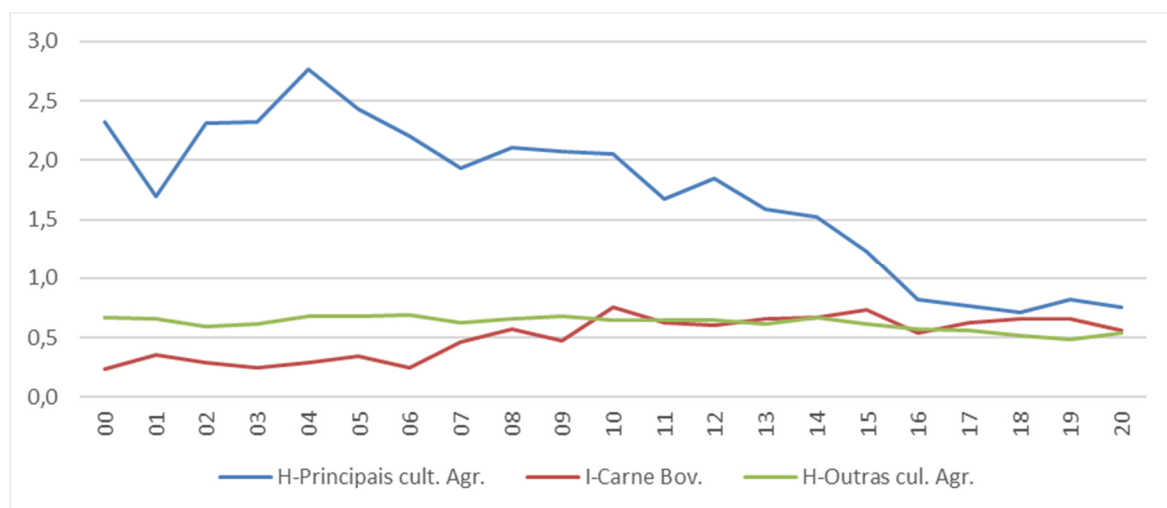


Figura 178. Saídas no balanço agropecuário de P do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

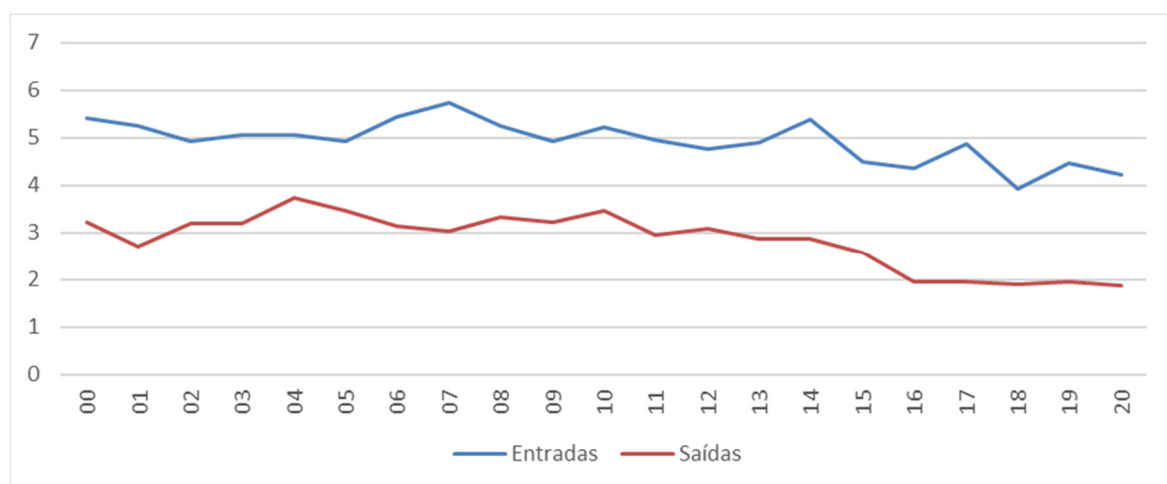


Figura 179. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

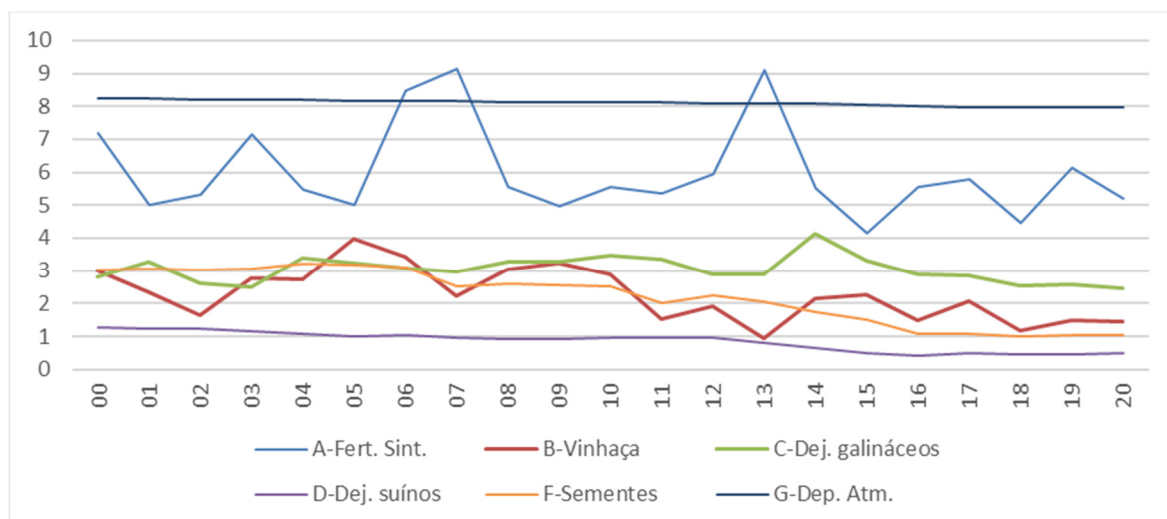


Figura 180. Entradas no balanço agropecuário de K do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

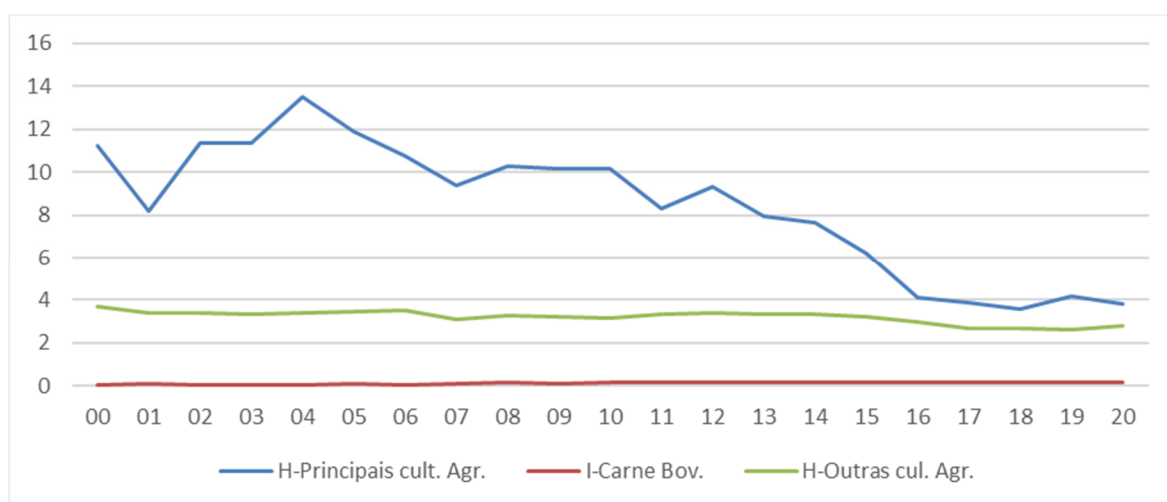


Figura 181. Saídas no balanço agropecuário de K do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

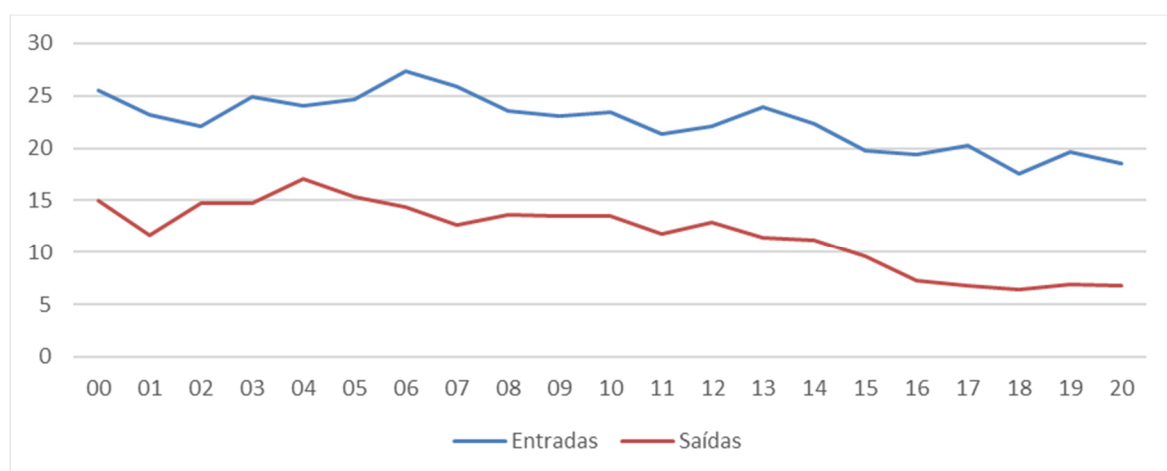


Figura 182. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Rio de Janeiro entre 2000 a 2020 (Gg).

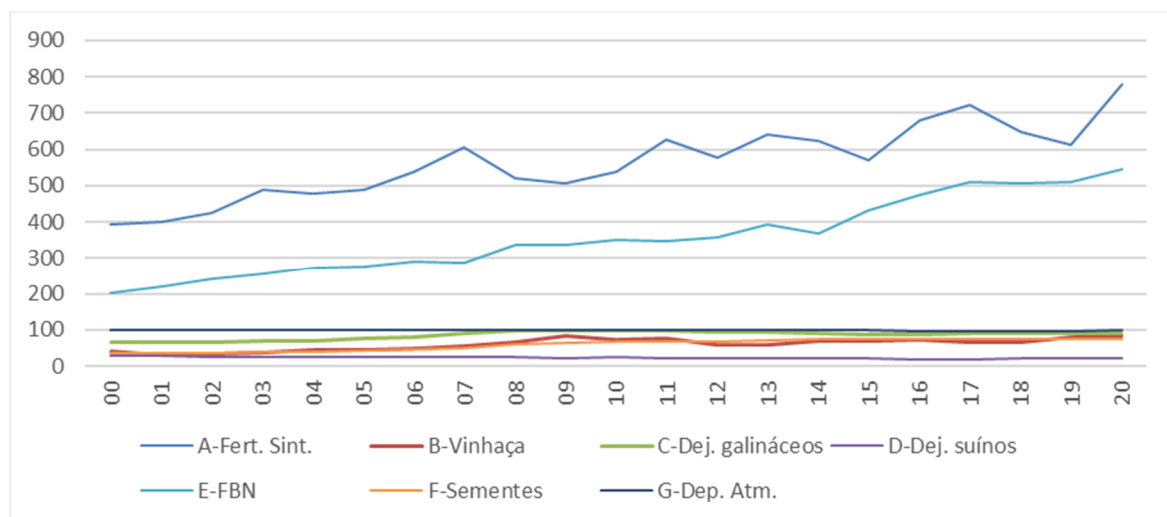


Figura 183. Entradas no balanço agropecuário de N de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

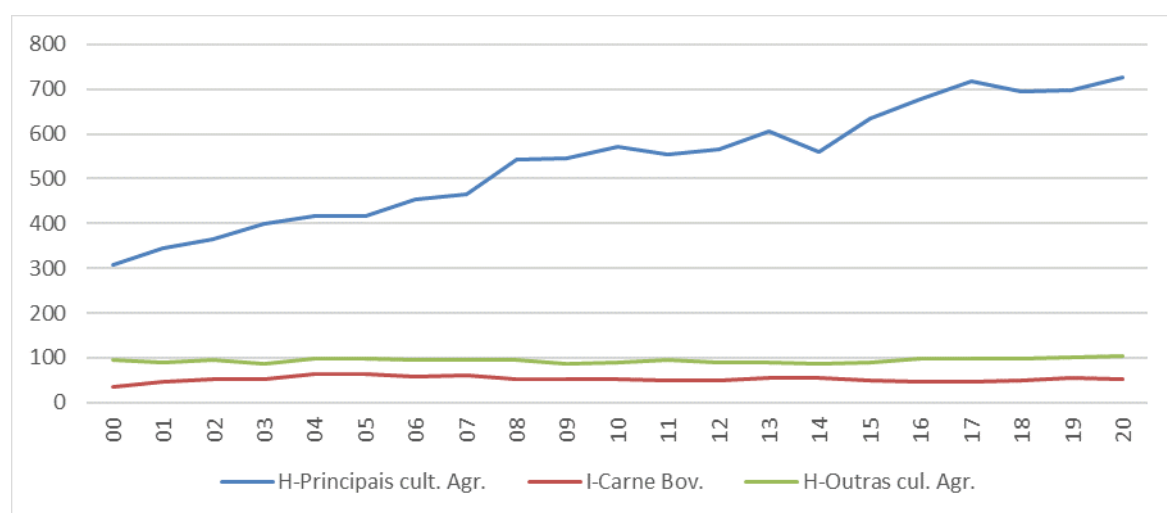


Figura 184. Saídas no balanço agropecuário de N de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

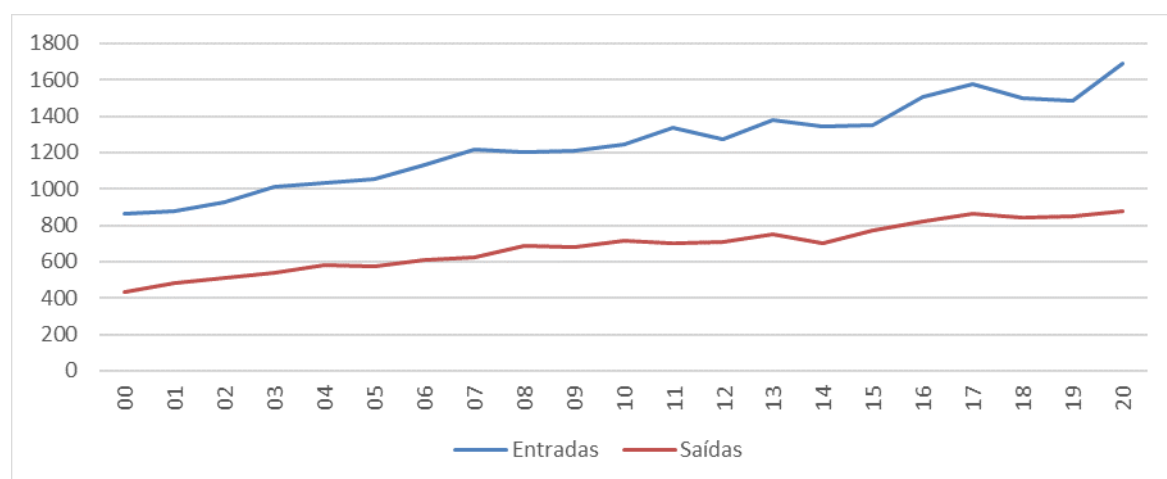


Figura 185. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

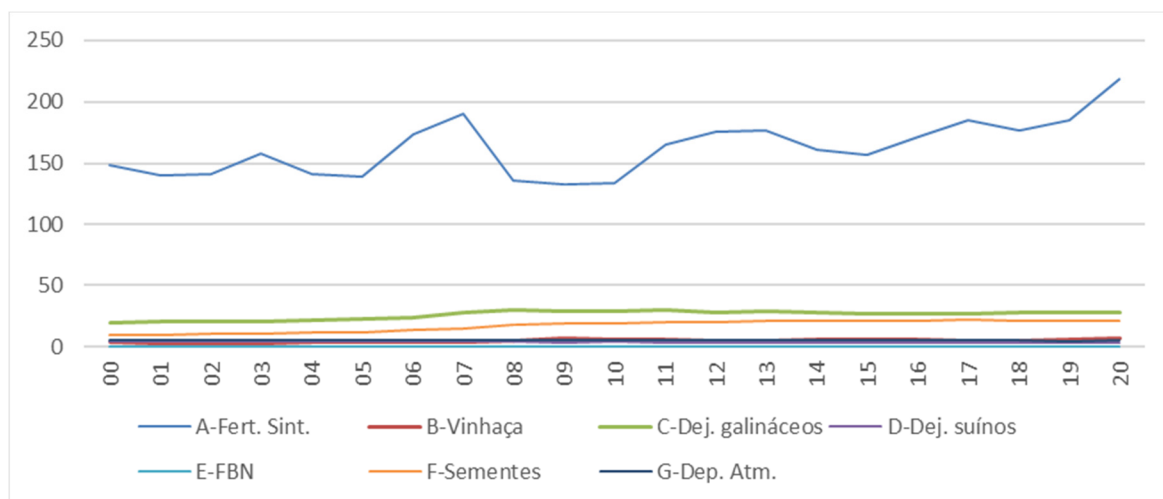


Figura 186. Entradas no balanço agropecuário de P de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

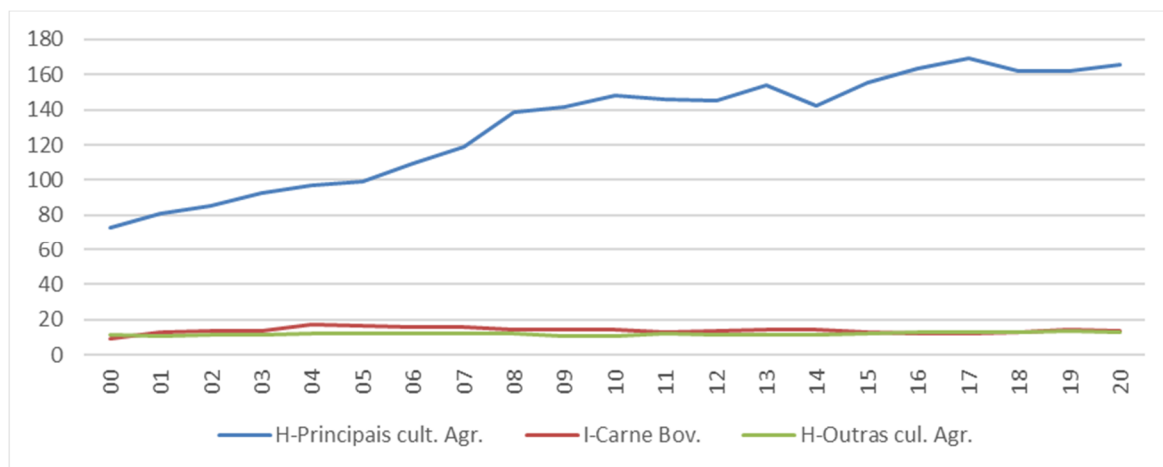


Figura 187. Saídas no balanço agropecuário de P de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

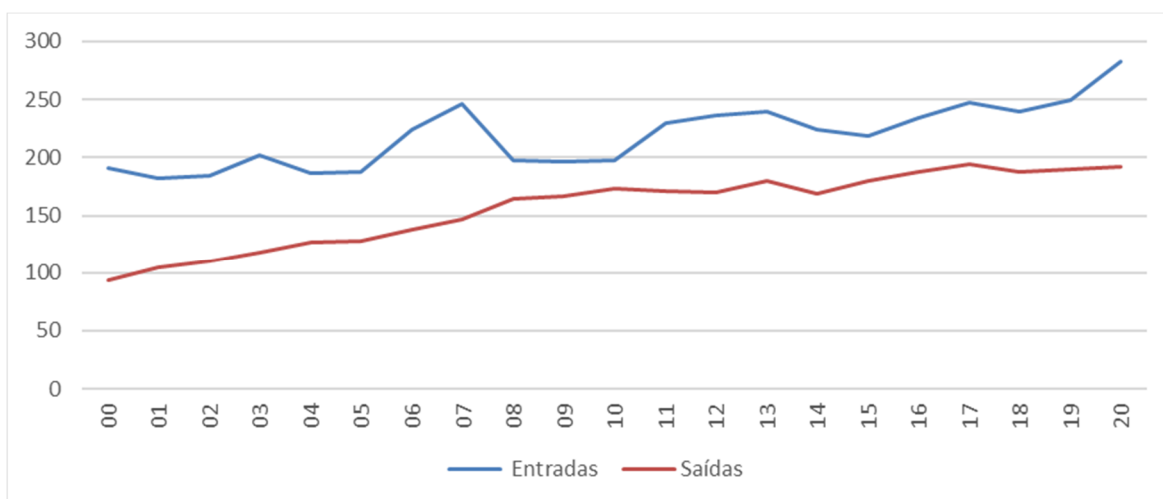


Figura 188. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

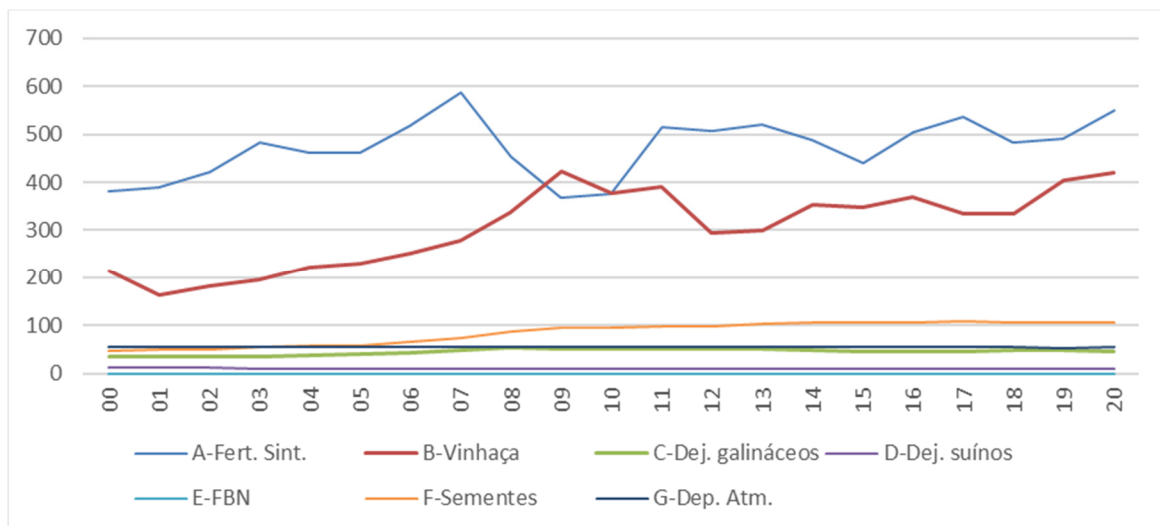


Figura 189. Entradas no balanço agropecuário de K de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

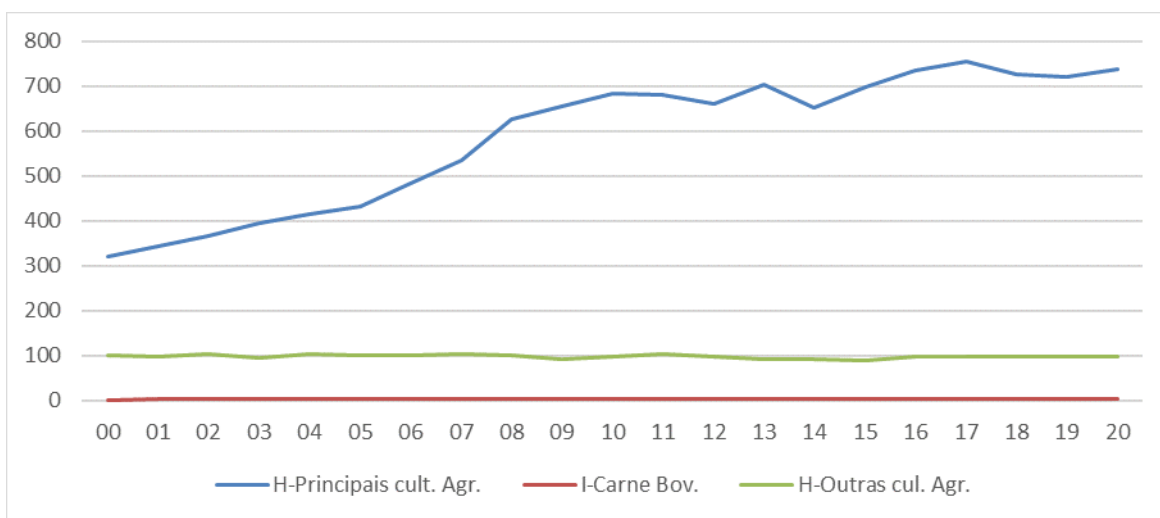


Figura 190. Saídas no balanço agropecuário de K de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

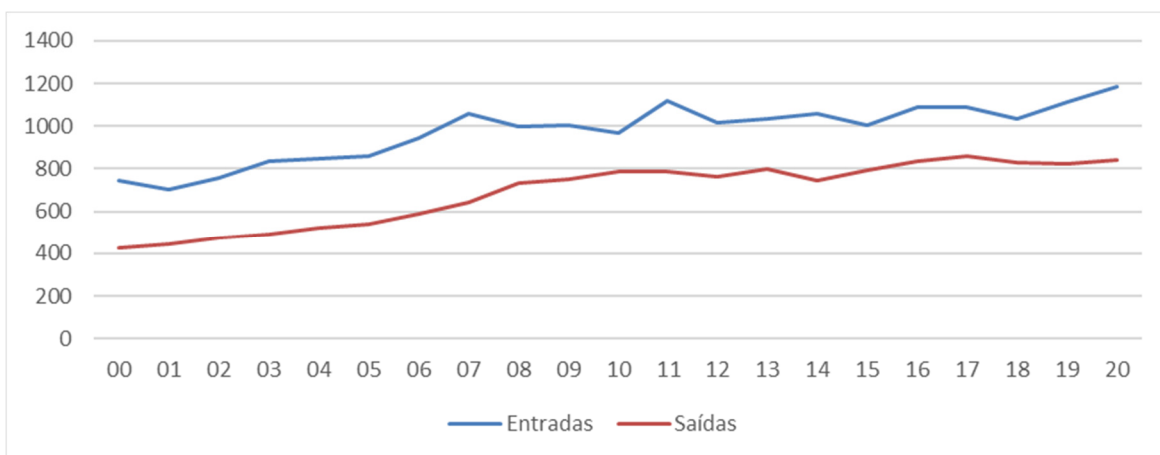


Figura 191. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de São Paulo entre 2000 a 2020 (Gg).

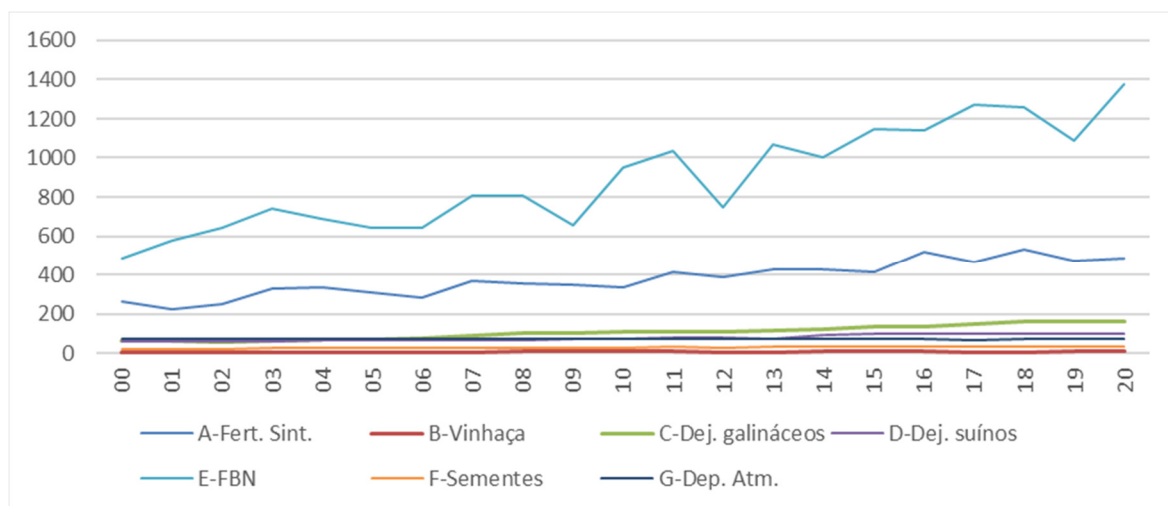


Figura 192. Entradas no balanço agropecuário de N do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

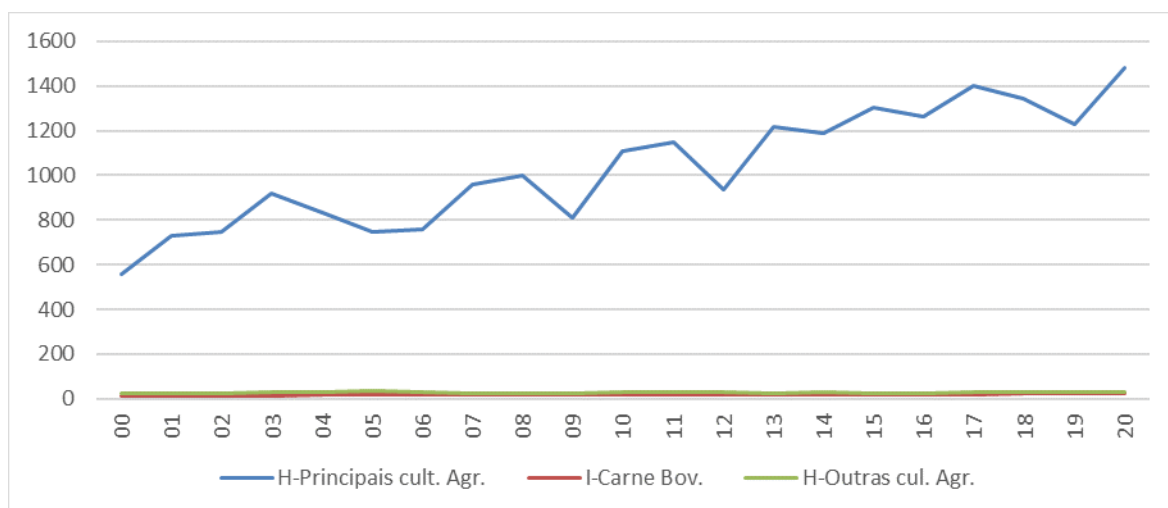


Figura 193. Saídas no balanço agropecuário de N do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

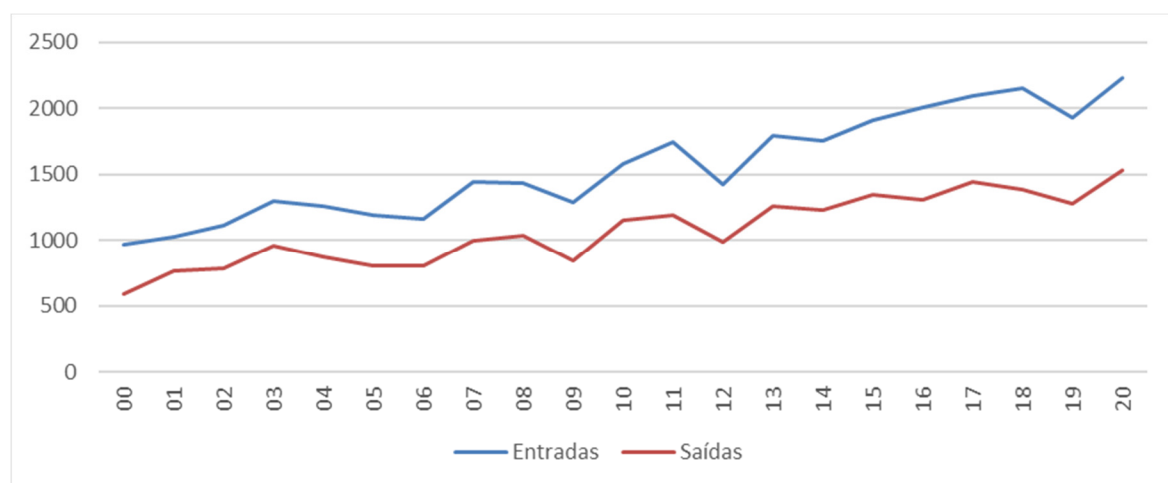


Figura 194. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

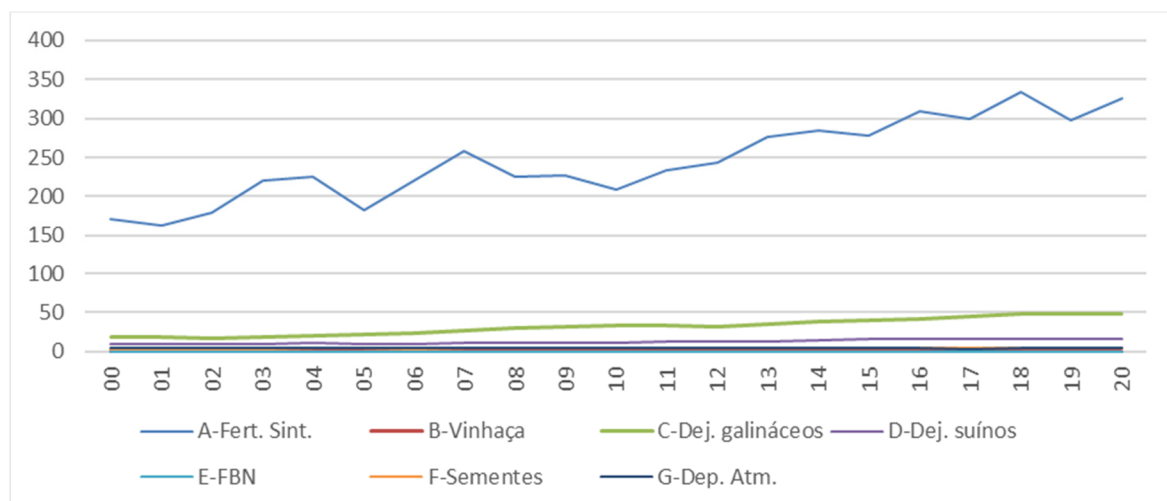


Figura 195. Entradas no balanço agropecuário de P do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

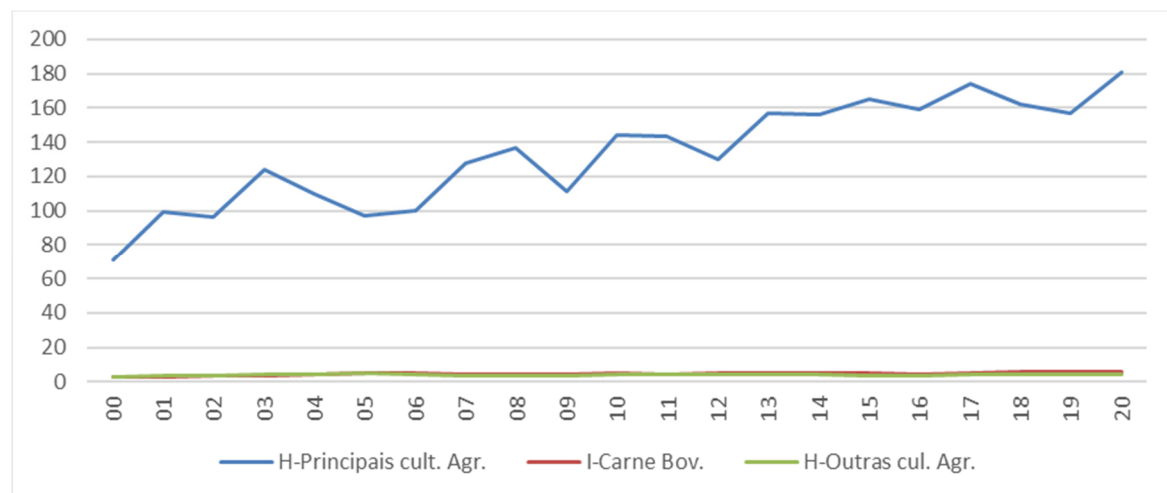


Figura 196. Saídas no balanço agropecuário de P do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

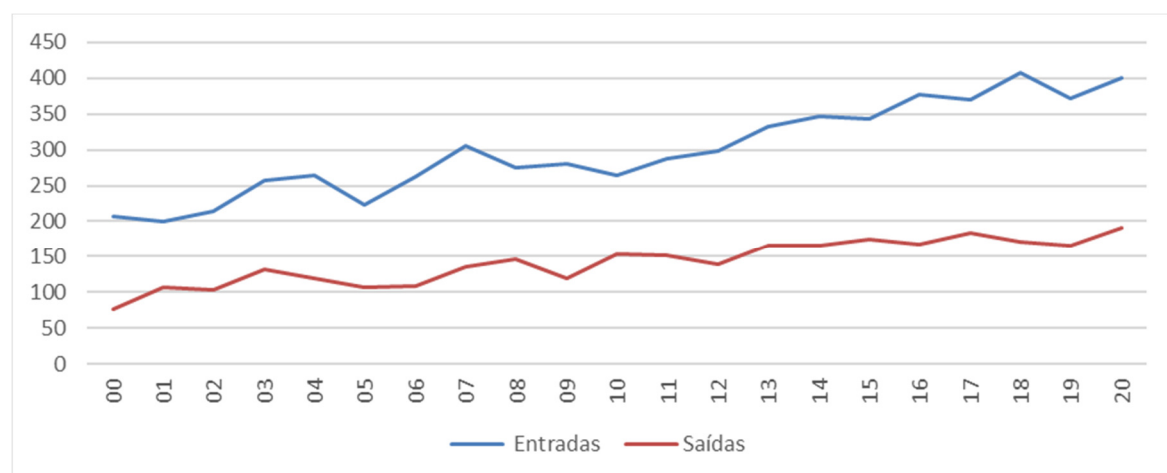


Figura 197. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

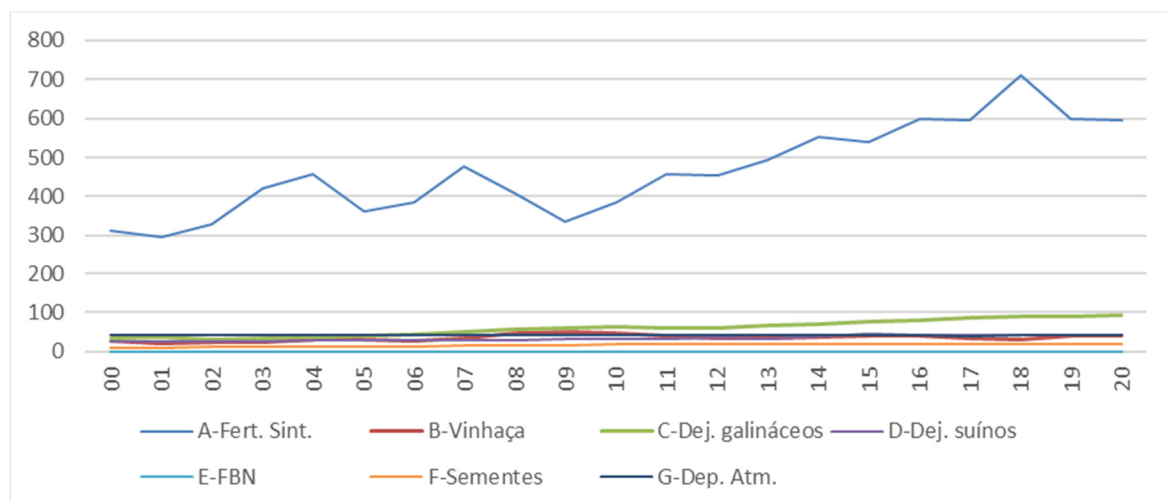


Figura 198. Entradas no balanço agropecuário de K do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

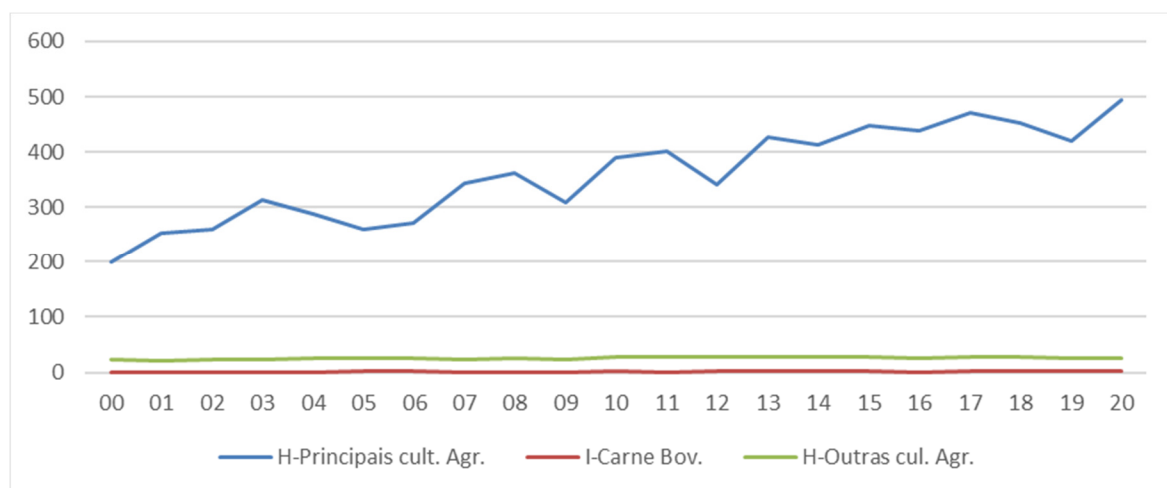


Figura 199. Saídas no balanço agropecuário de K do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

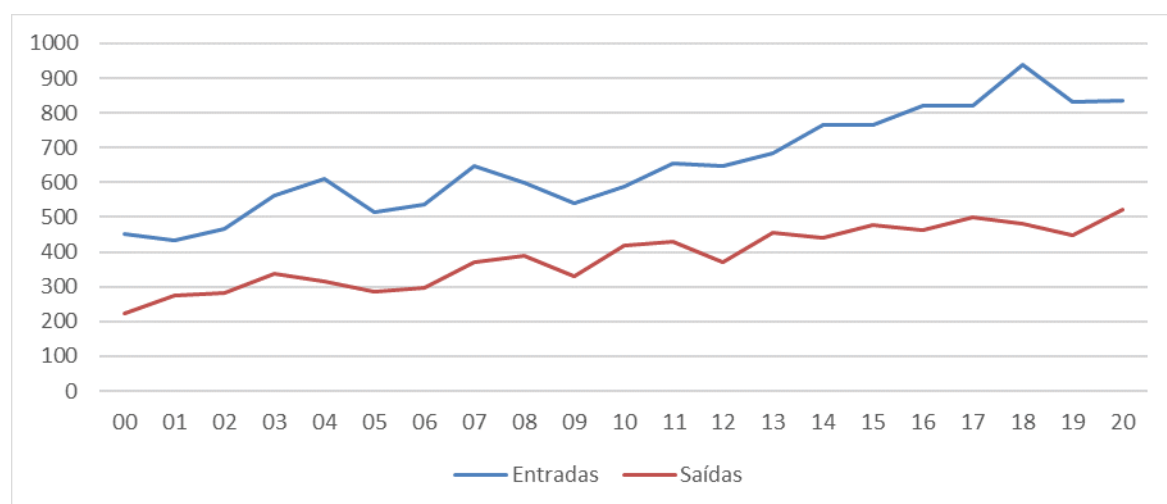


Figura 200. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Paraná entre 2000 a 2020 (Gg).

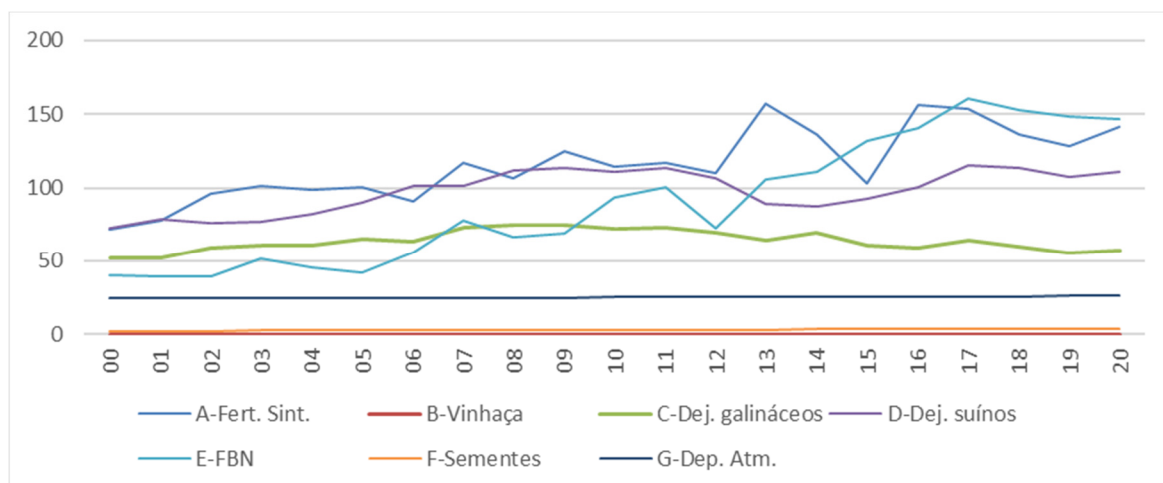


Figura 201. Entradas no balanço agropecuário de N de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

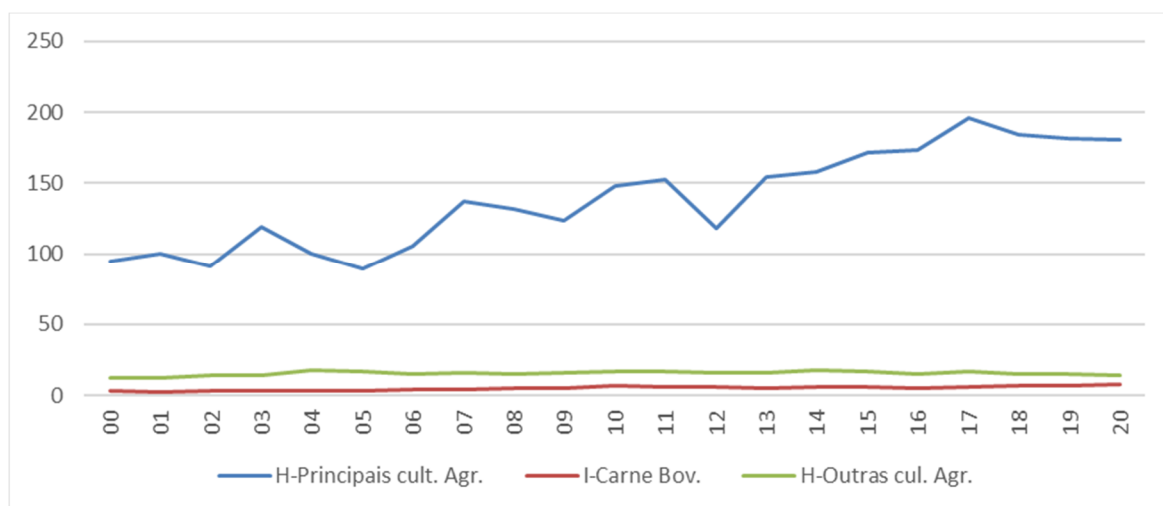


Figura 202. Saídas no balanço agropecuário de N de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

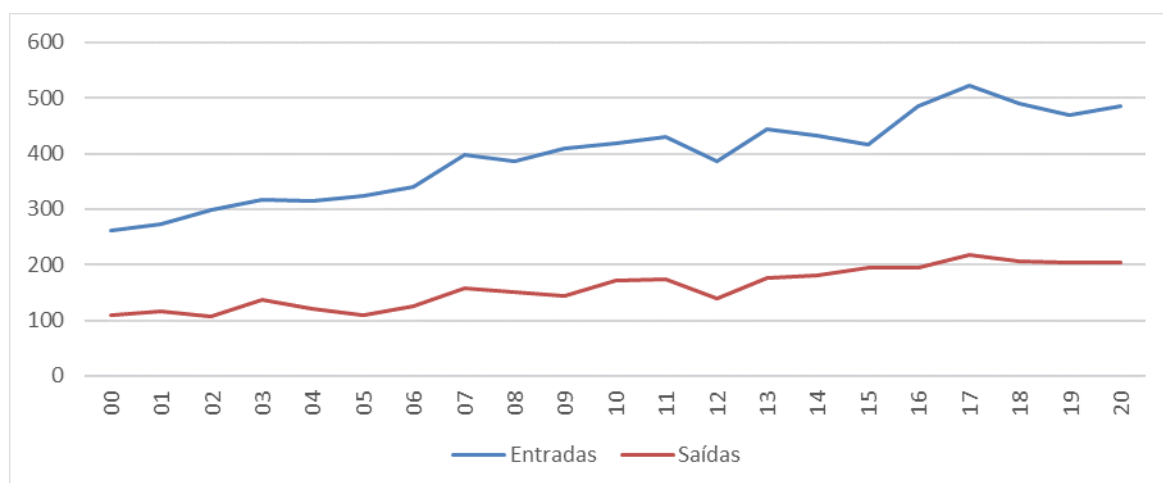


Figura 203. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

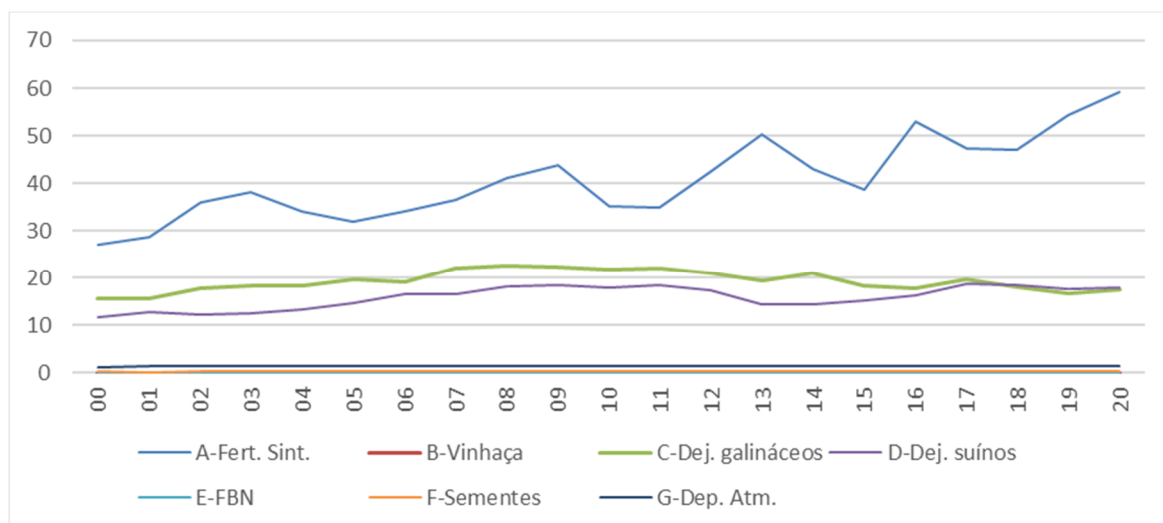


Figura 204. Entradas no balanço agropecuário de P de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

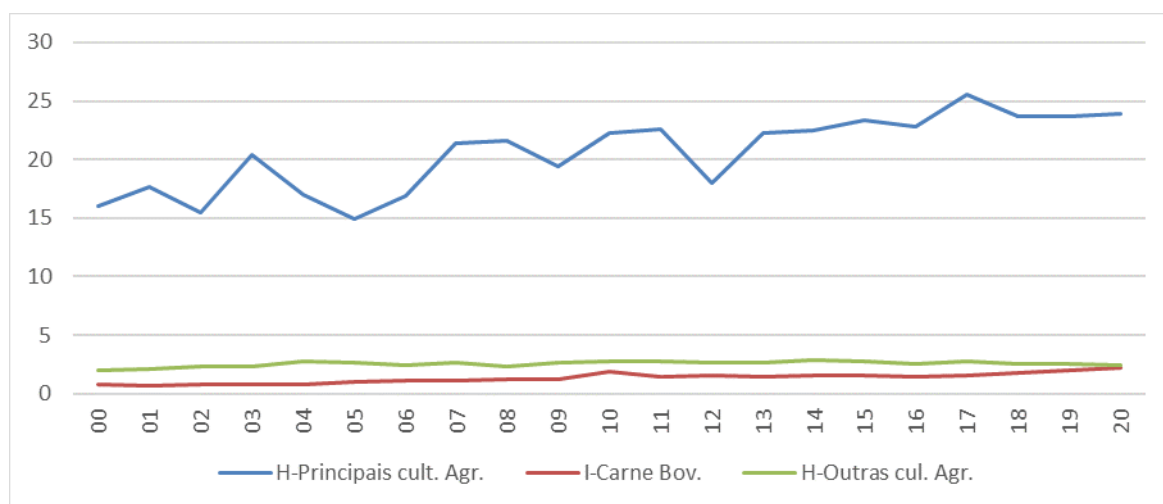


Figura 205. Saídas no balanço agropecuário de P de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

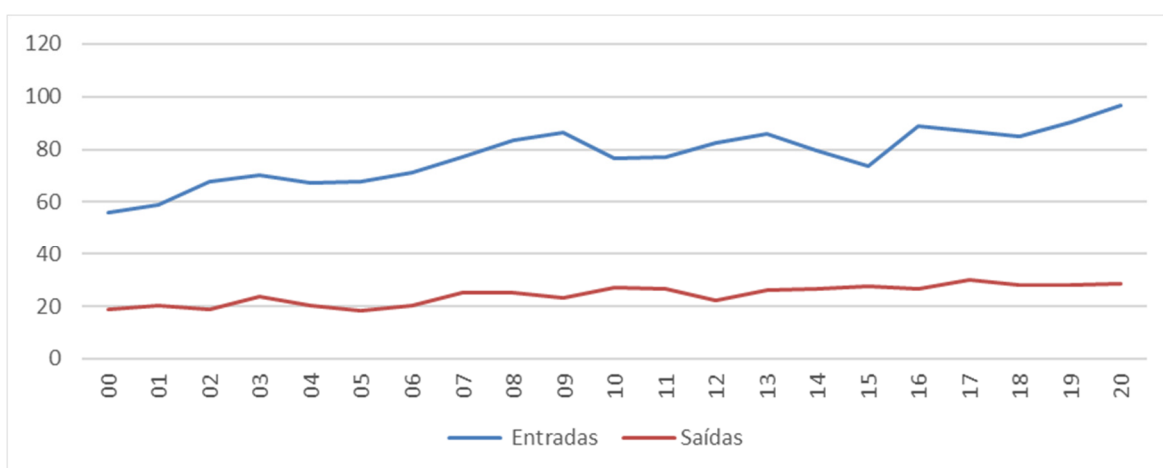


Figura 206. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

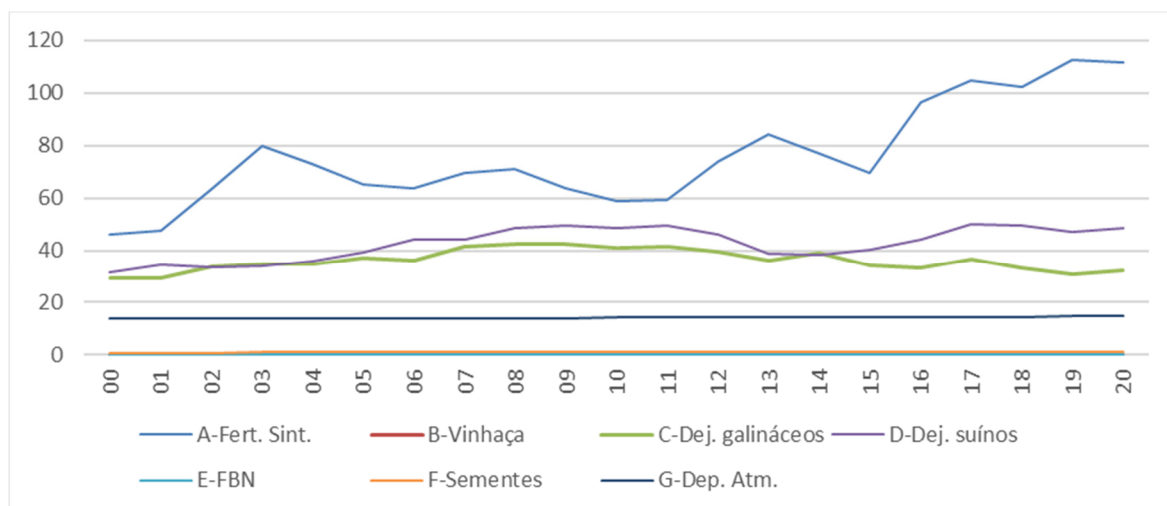


Figura 207. Entradas no balanço agropecuário de K de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

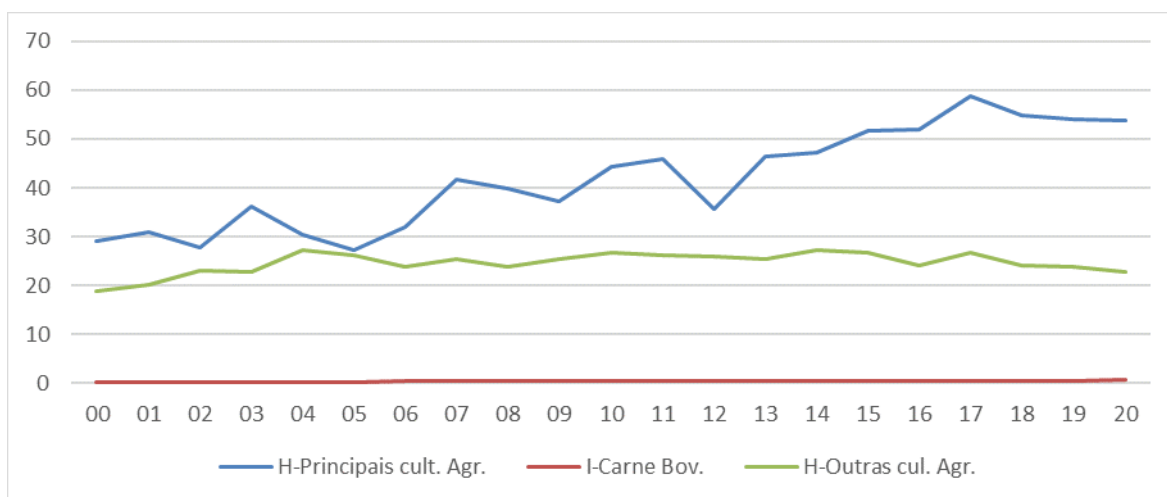


Figura 208. Saídas no balanço agropecuário de K de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

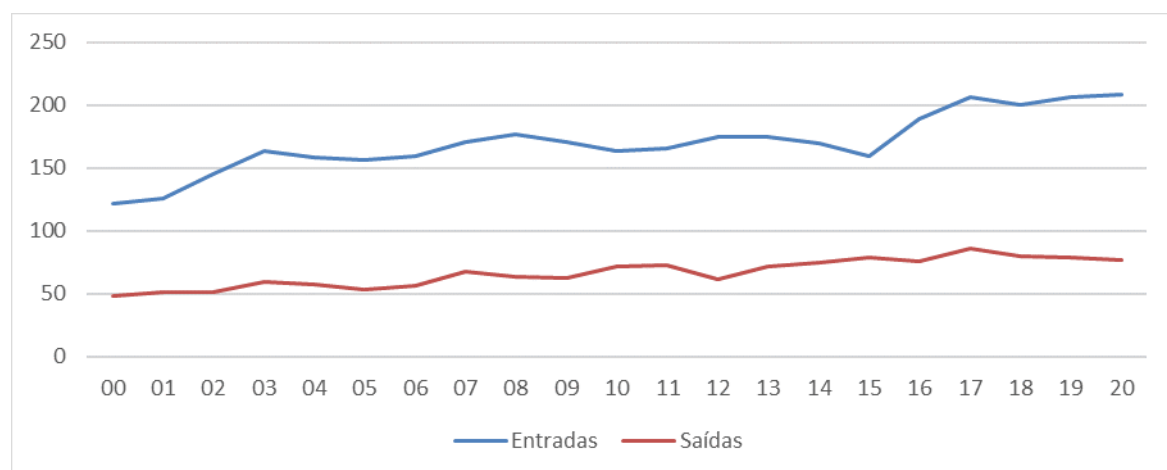


Figura 209. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Santa Catarina entre 2000 a 2020 (Gg).

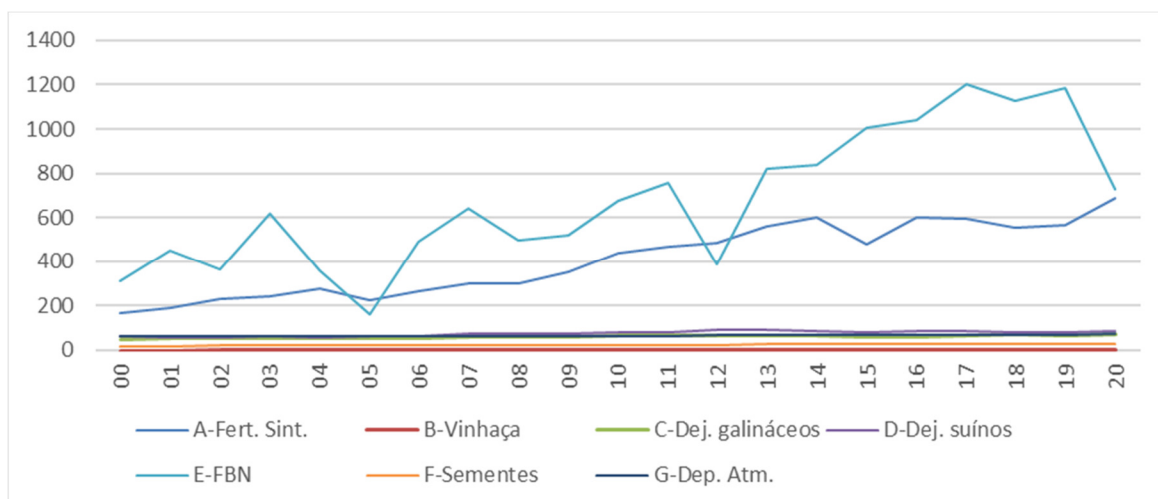


Figura 210. Entradas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

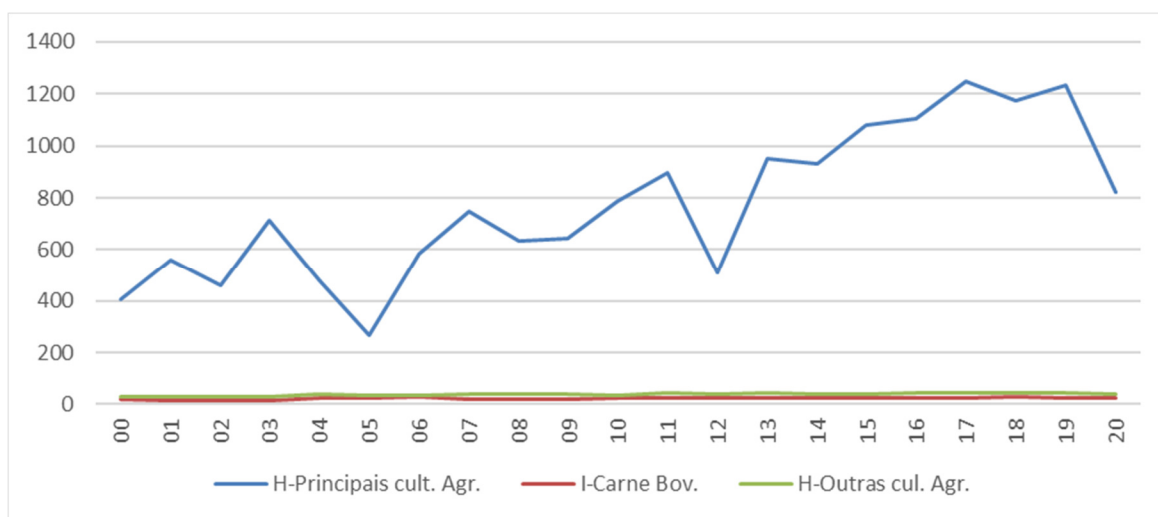


Figura 211. Saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

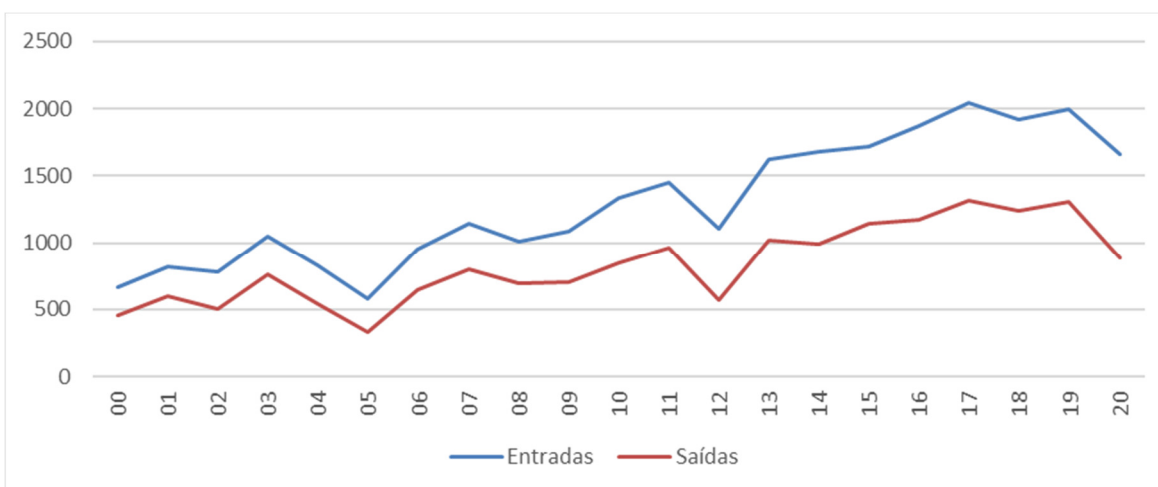


Figura 212. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

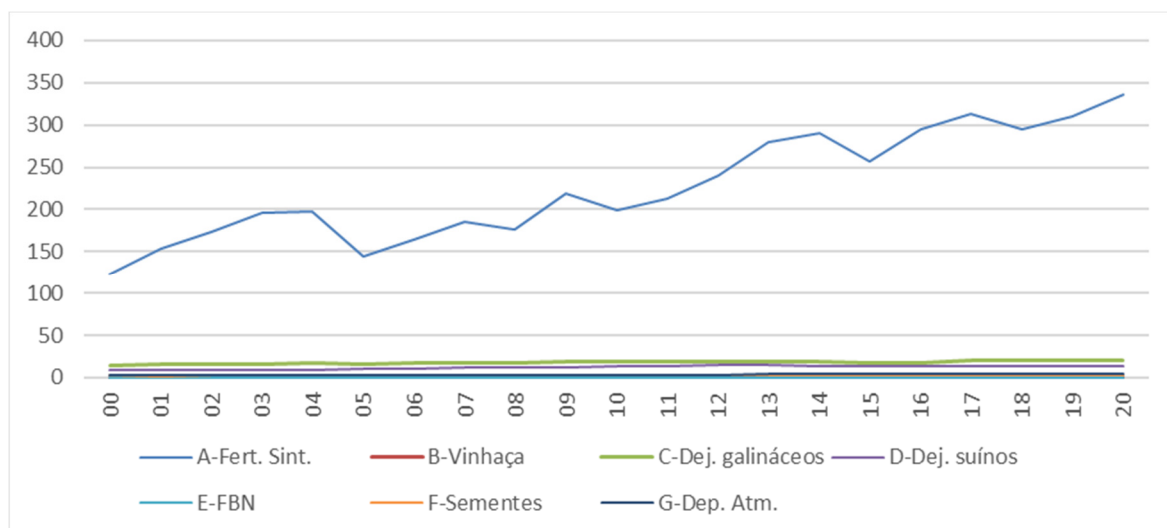


Figura 213. Entradas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

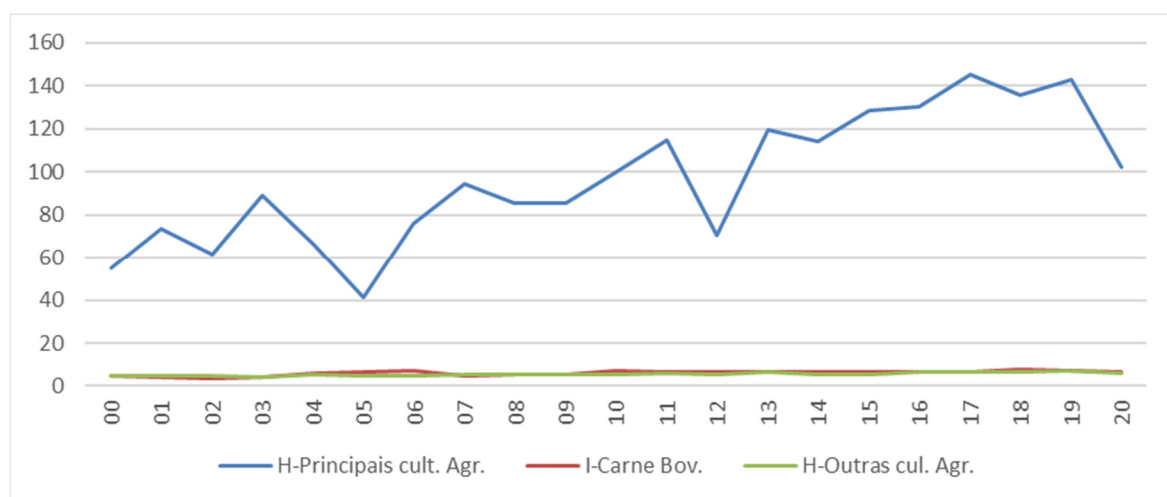


Figura 214. Saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

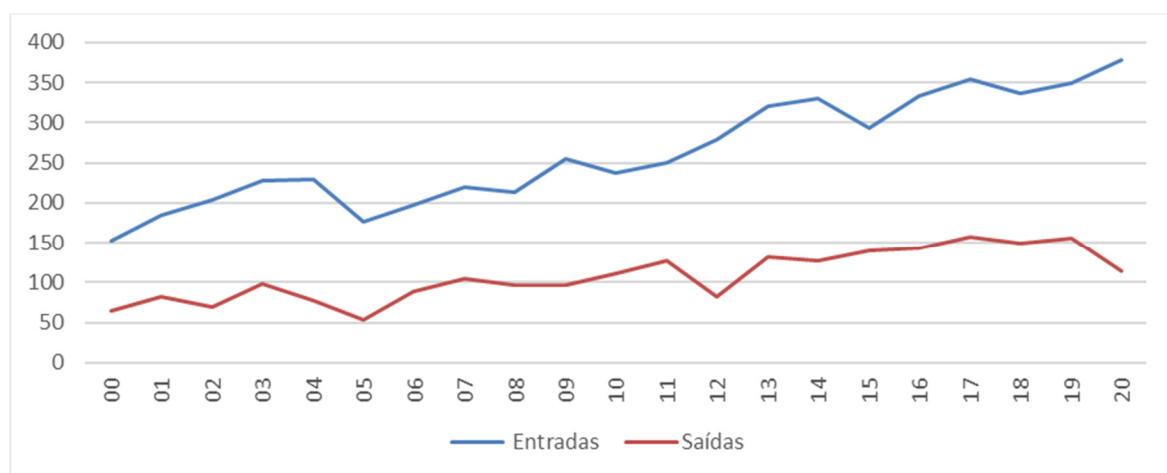


Figura 215. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

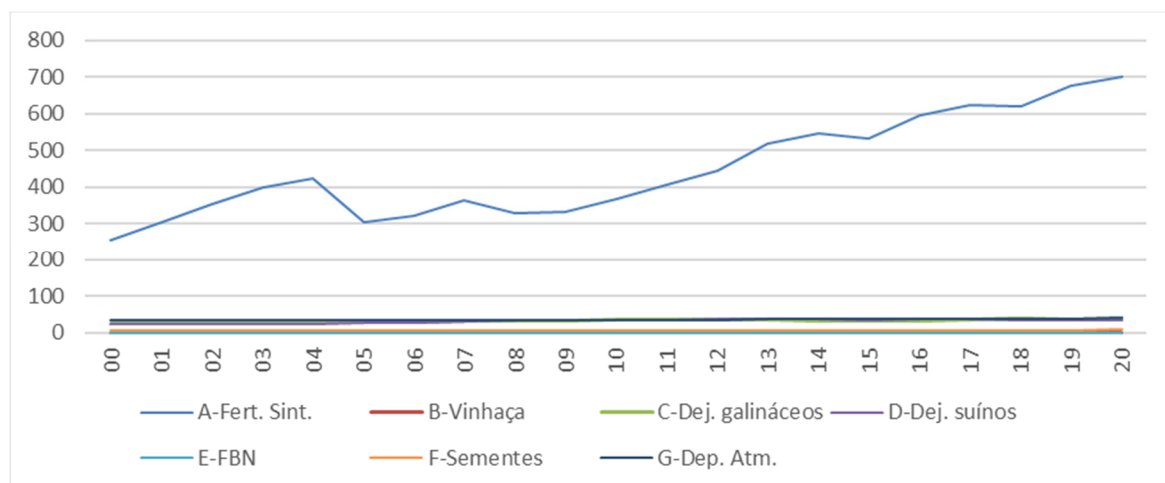


Figura 216. Entradas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

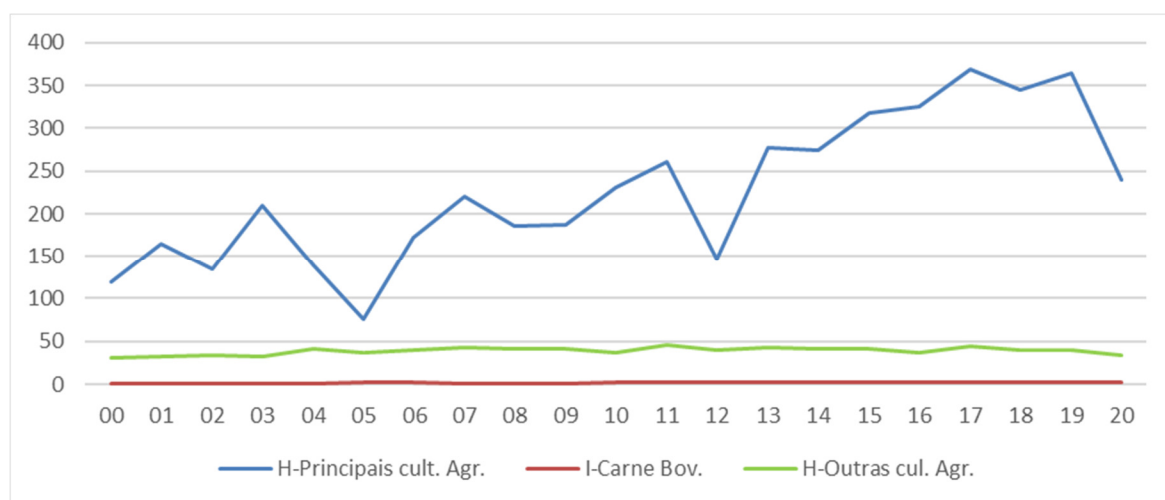


Figura 217. Saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

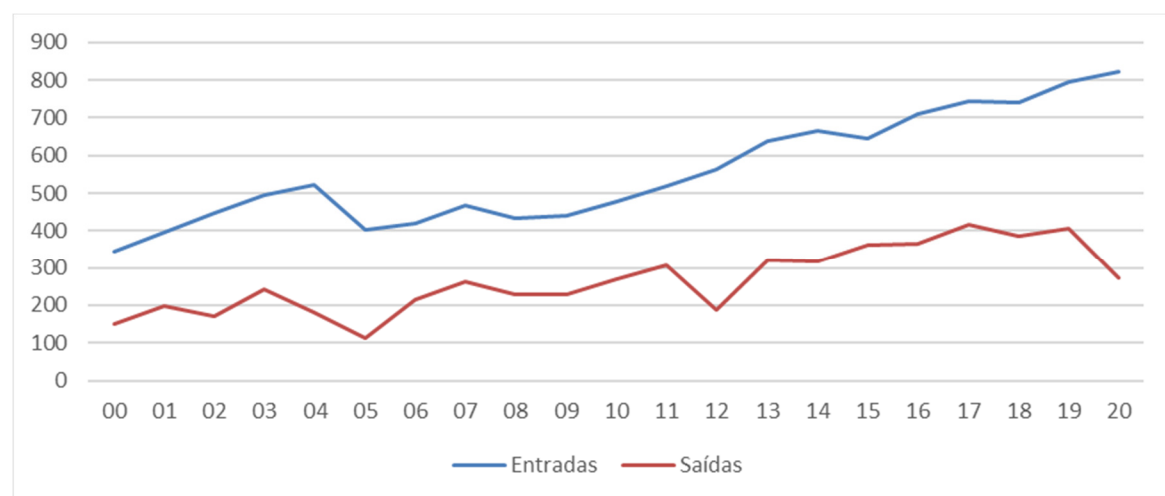


Figura 218. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Rio Grande do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

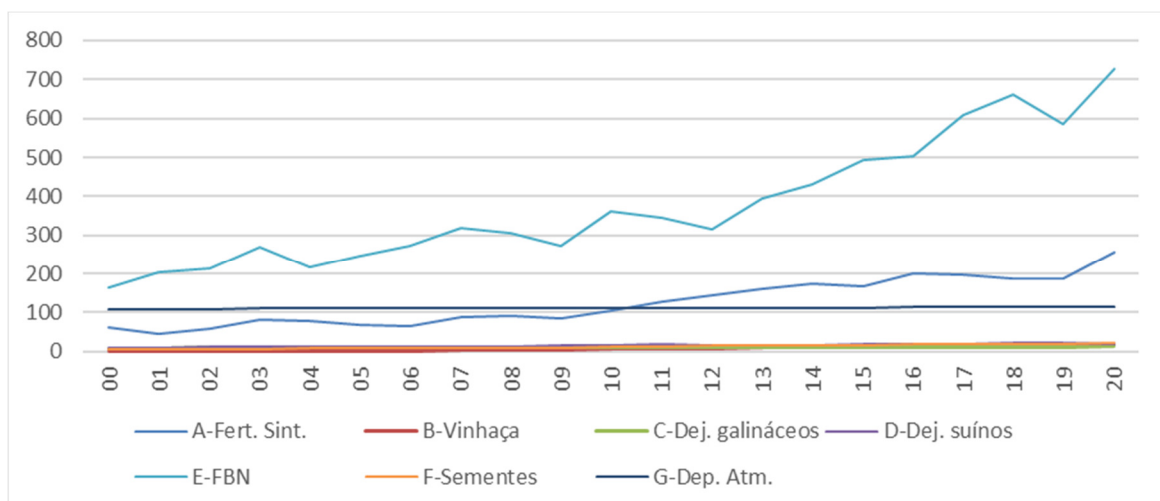


Figura 219. Entradas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

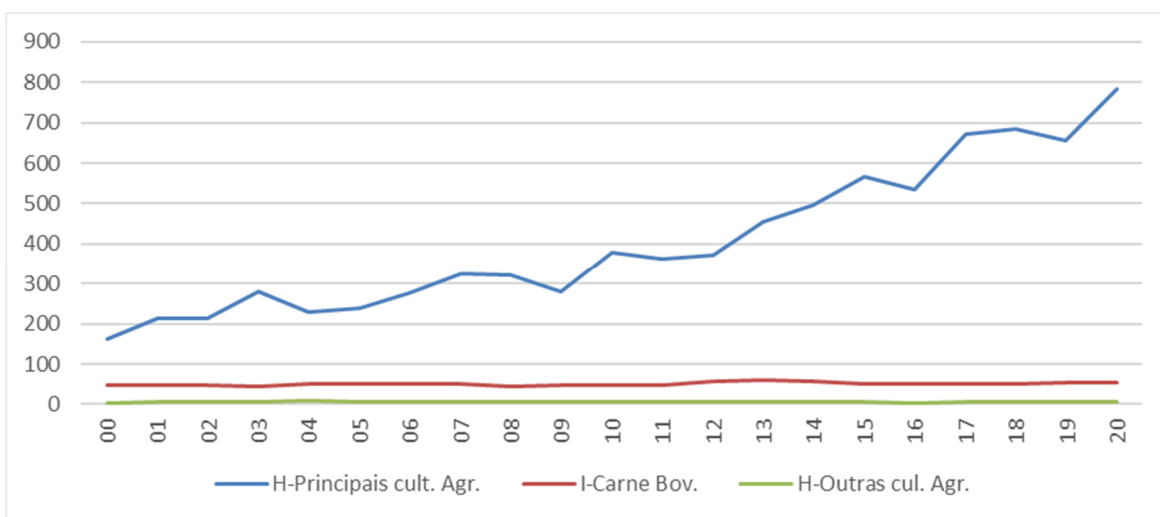


Figura 220. Saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

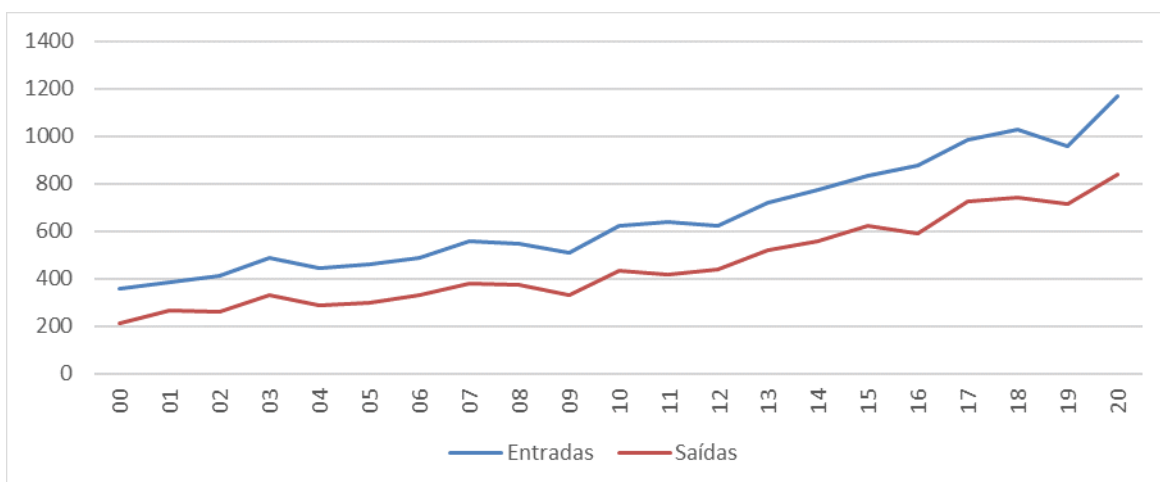


Figura 221. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

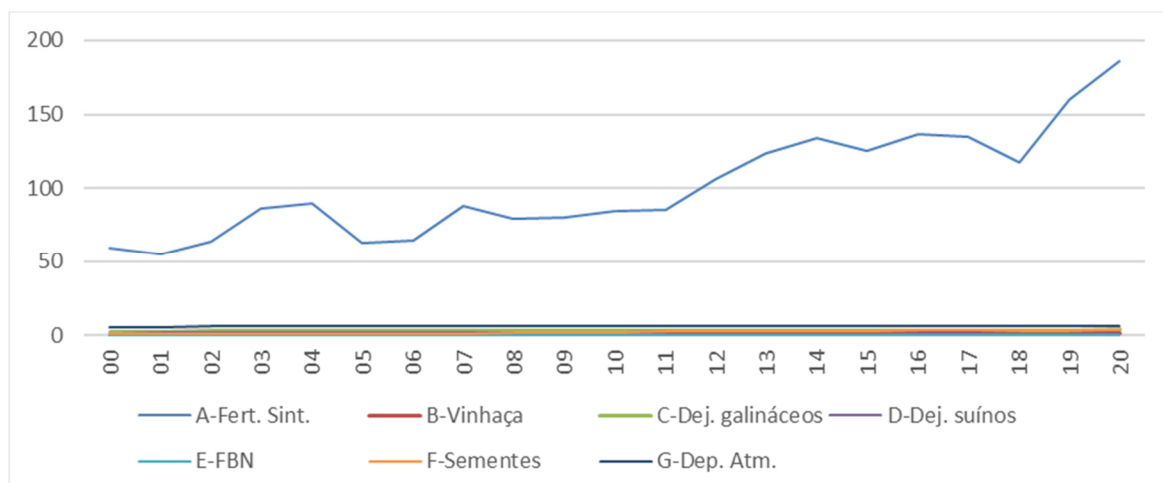


Figura 222. Entradas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

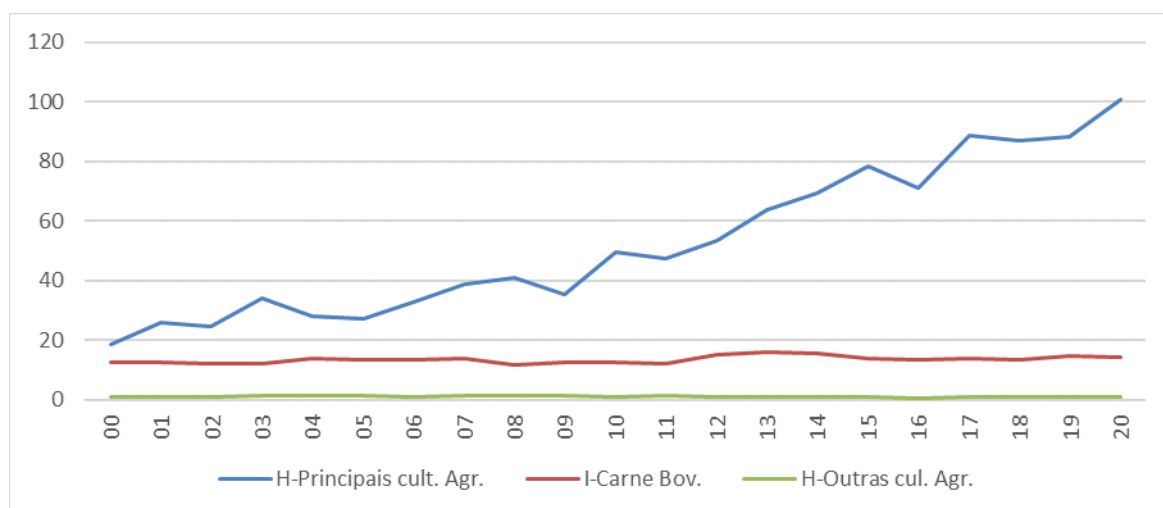


Figura 223. Saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

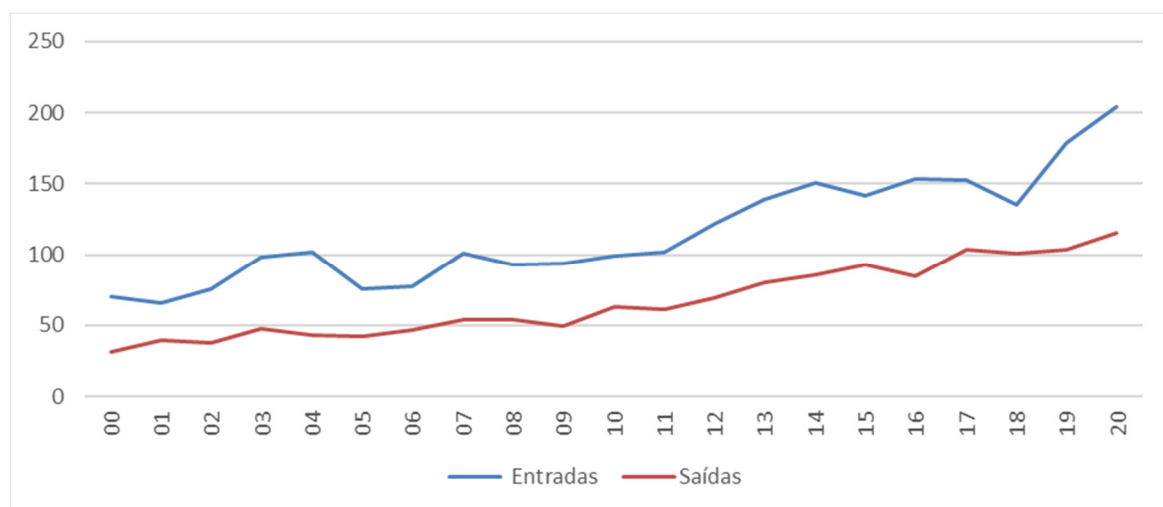


Figura 224. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

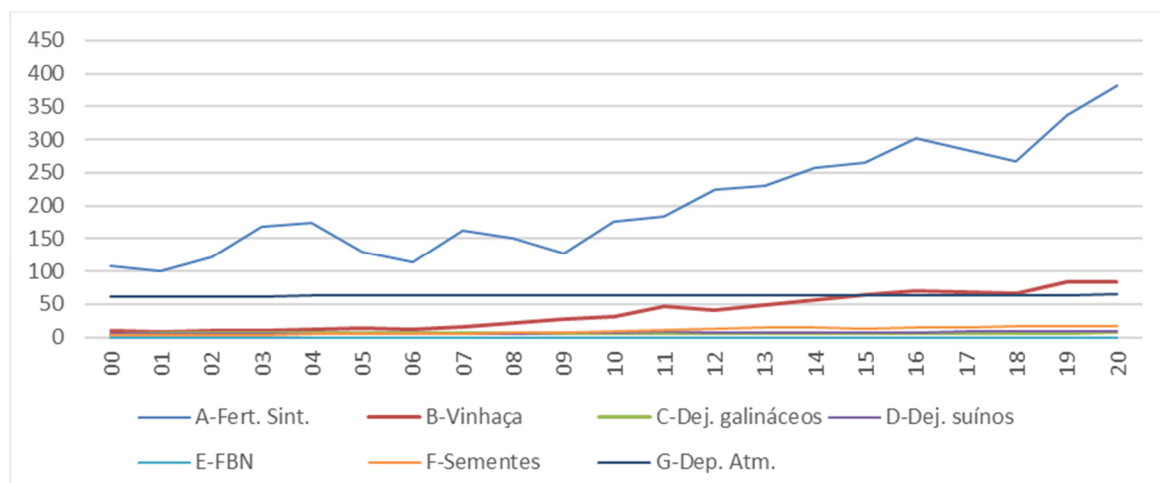


Figura 225. Entradas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

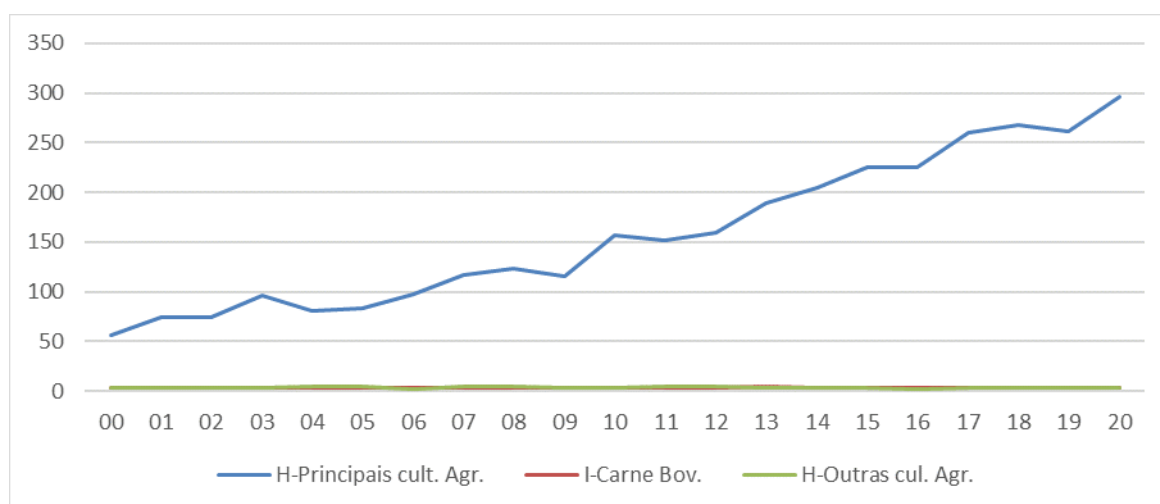


Figura 226. Saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

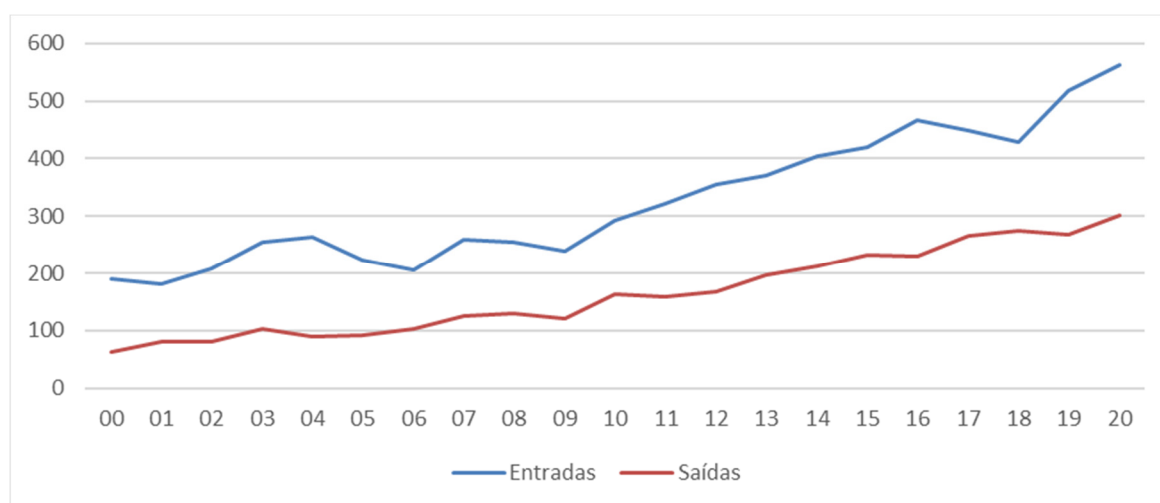


Figura 227. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso do Sul entre 2000 a 2020 (Gg).

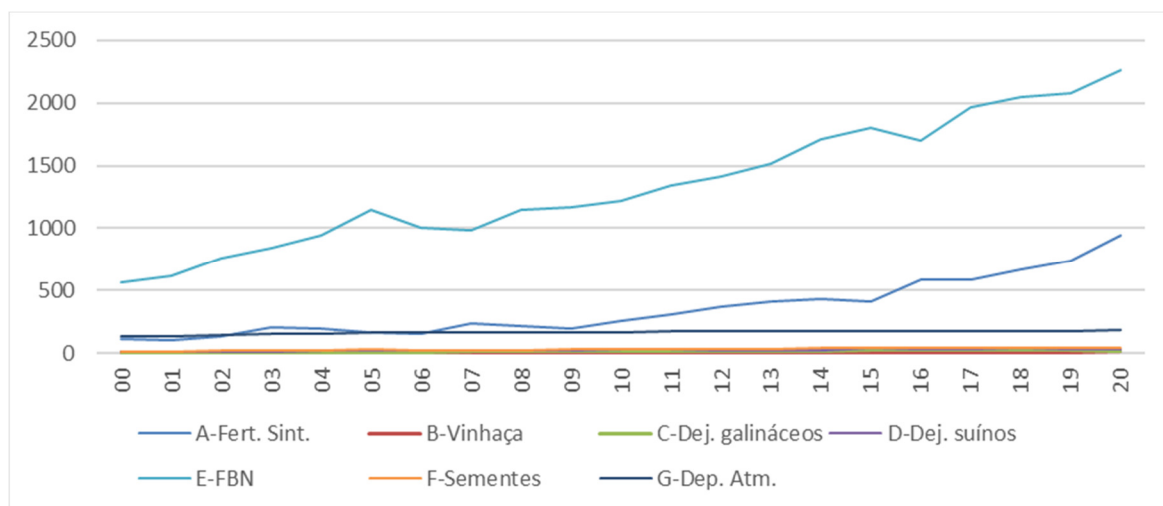


Figura 228. Entradas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

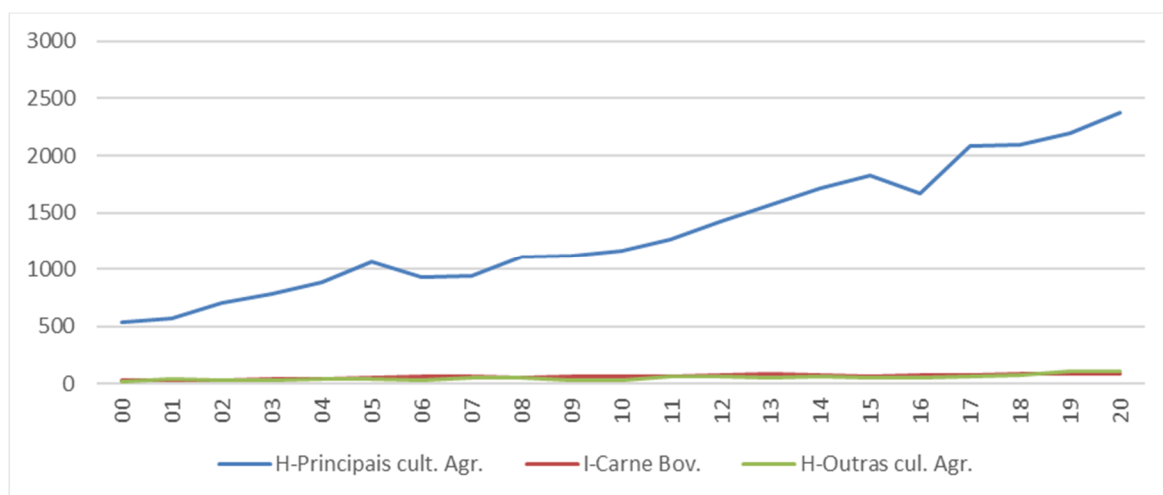


Figura 229. Saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

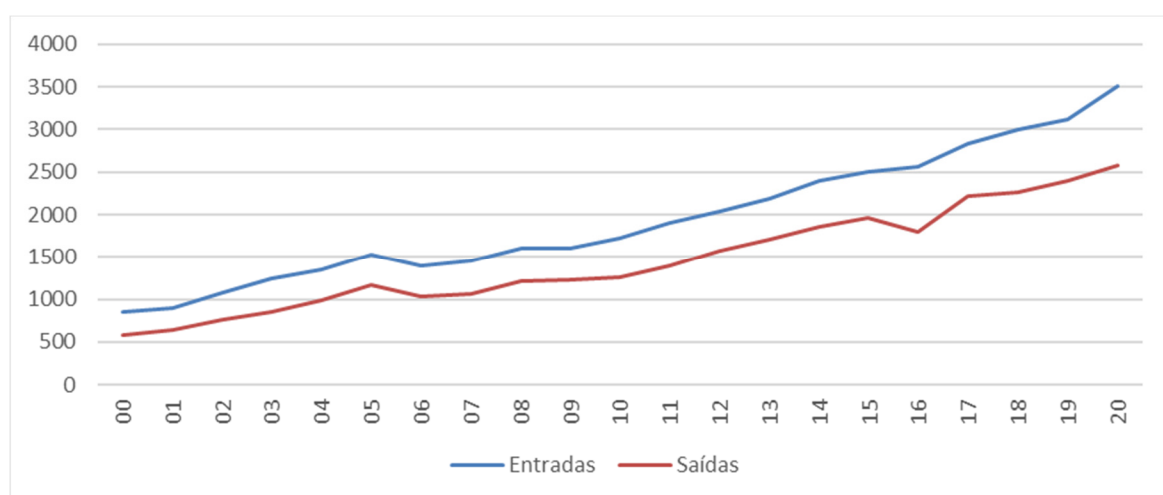


Figura 230. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

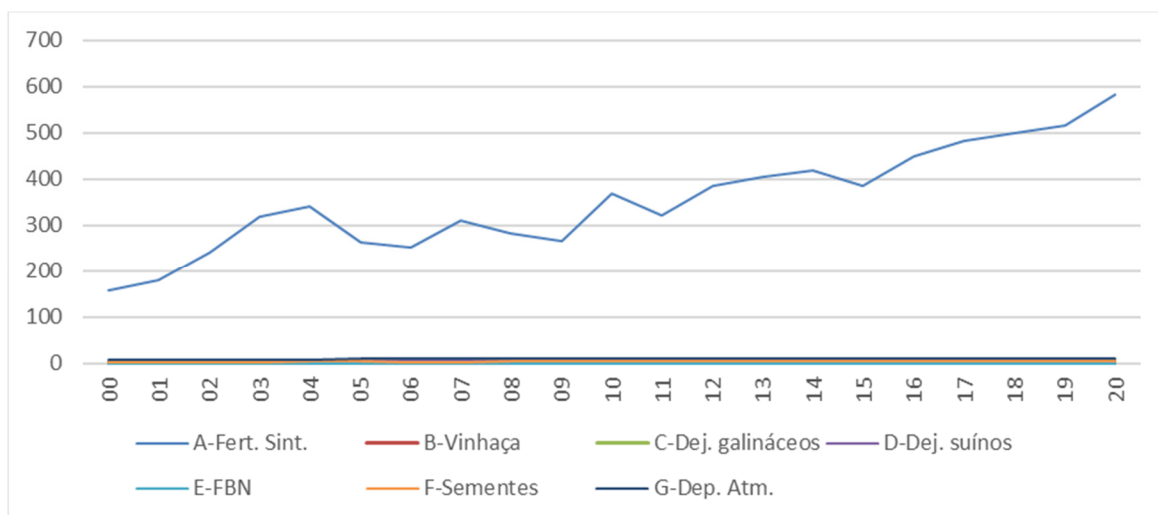


Figura 231. Entradas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

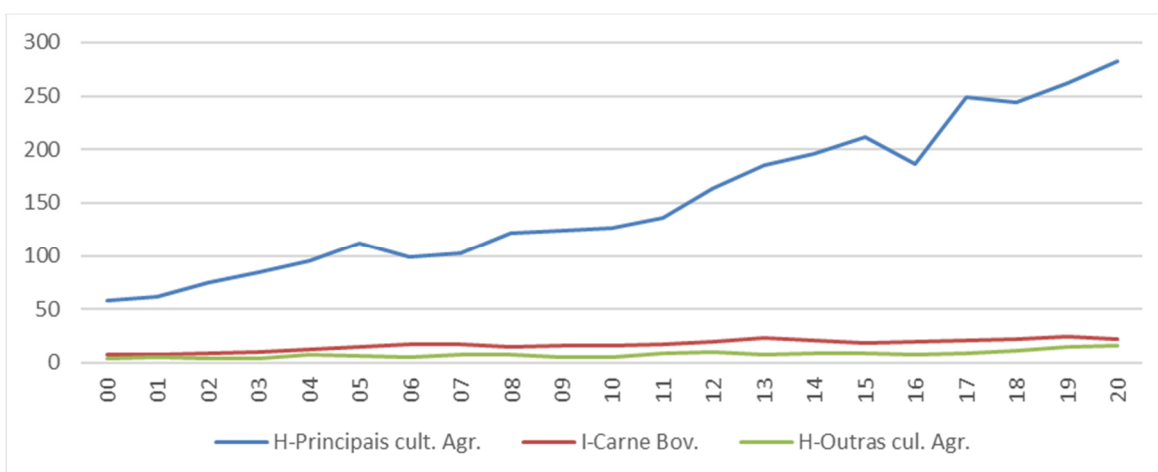


Figura 232. Saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

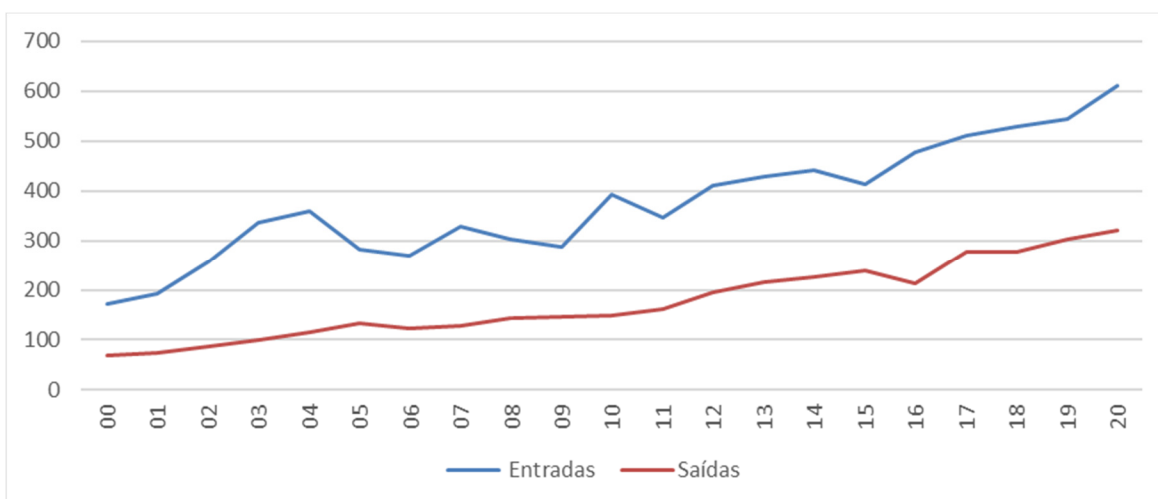


Figura 233. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

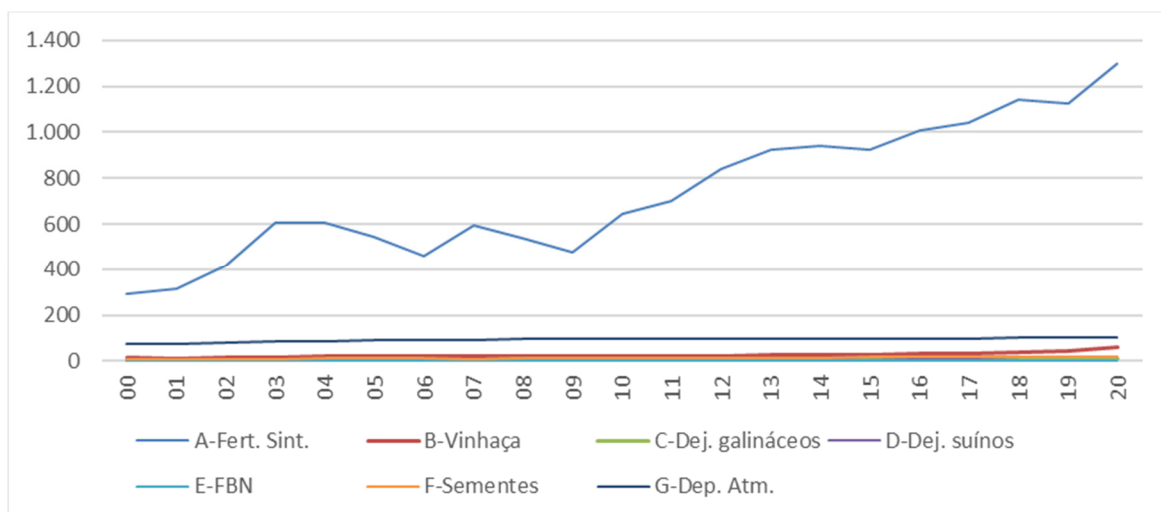


Figura 234. Entradas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

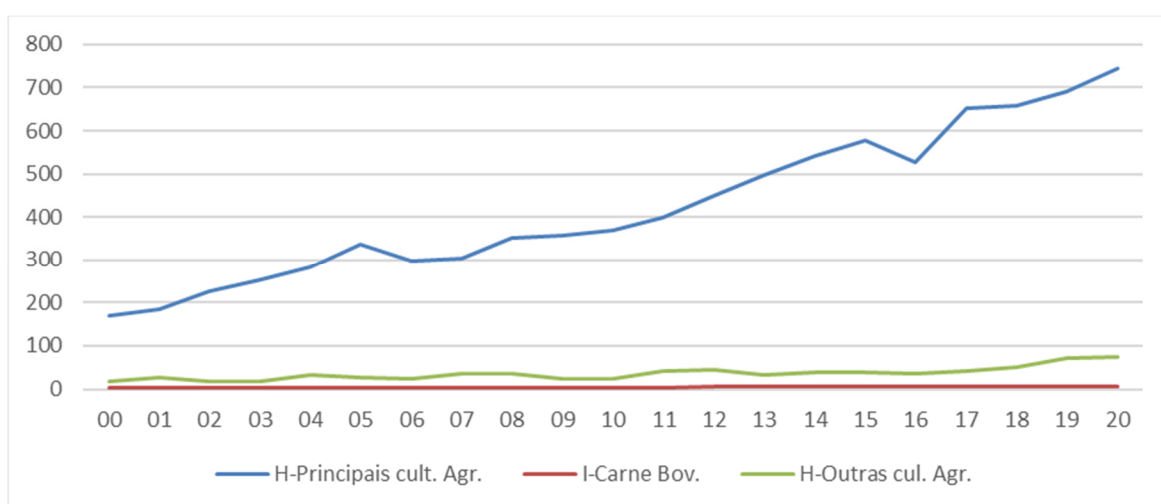


Figura 235. Saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

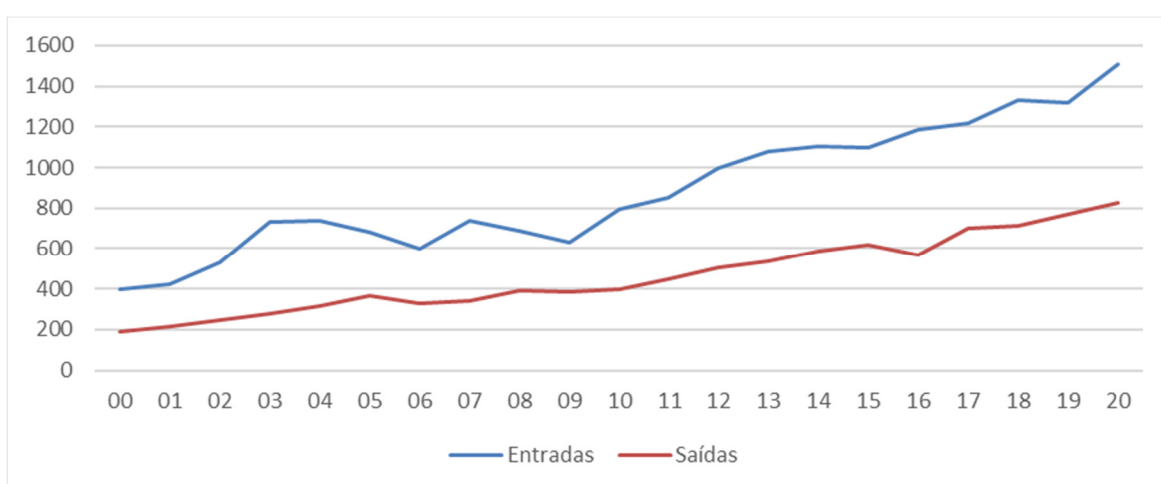


Figura 236. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Mato Grosso entre 2000 a 2020 (Gg).

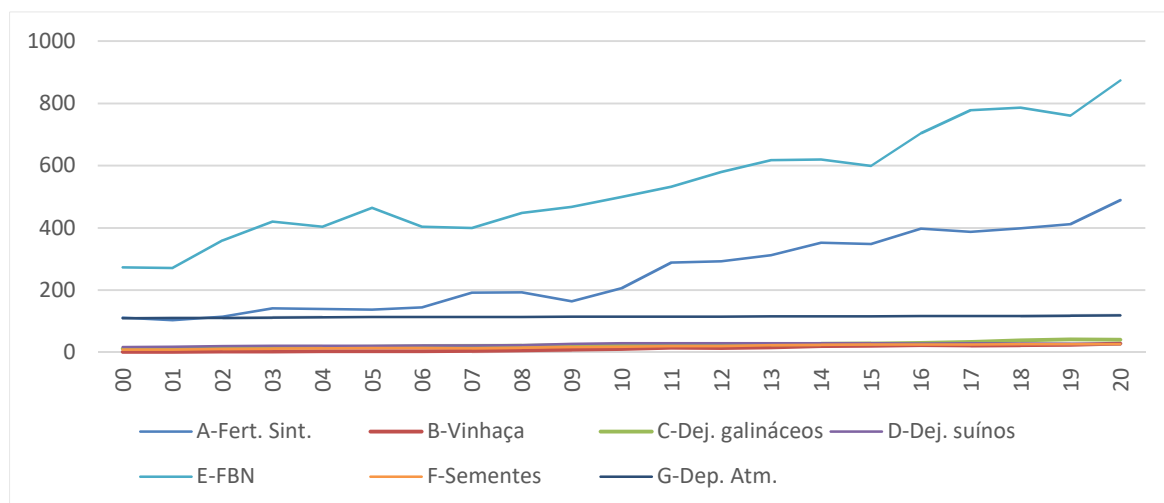


Figura 237. Entradas no balanço agropecuário de N de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

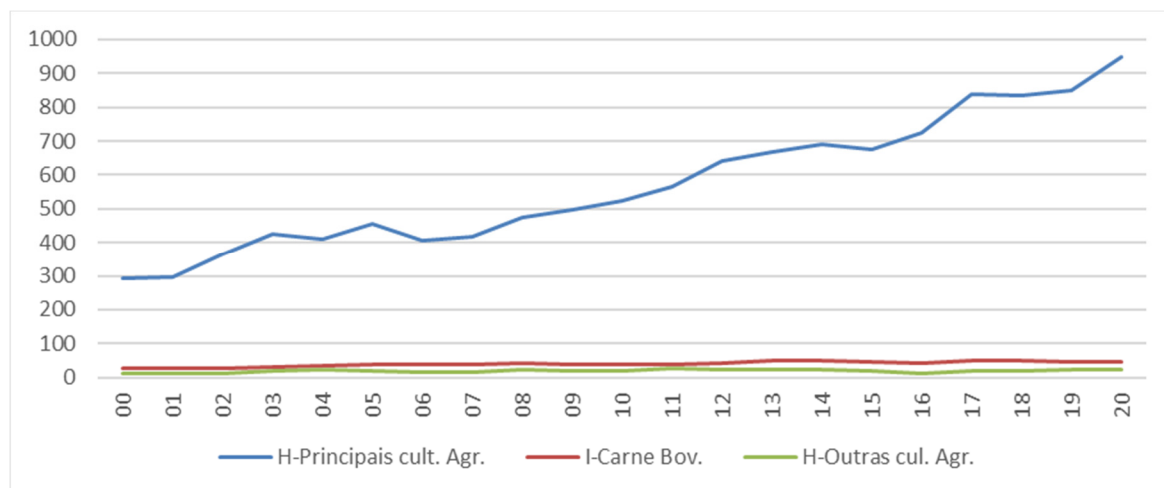


Figura 238. Saídas no balanço agropecuário de N de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

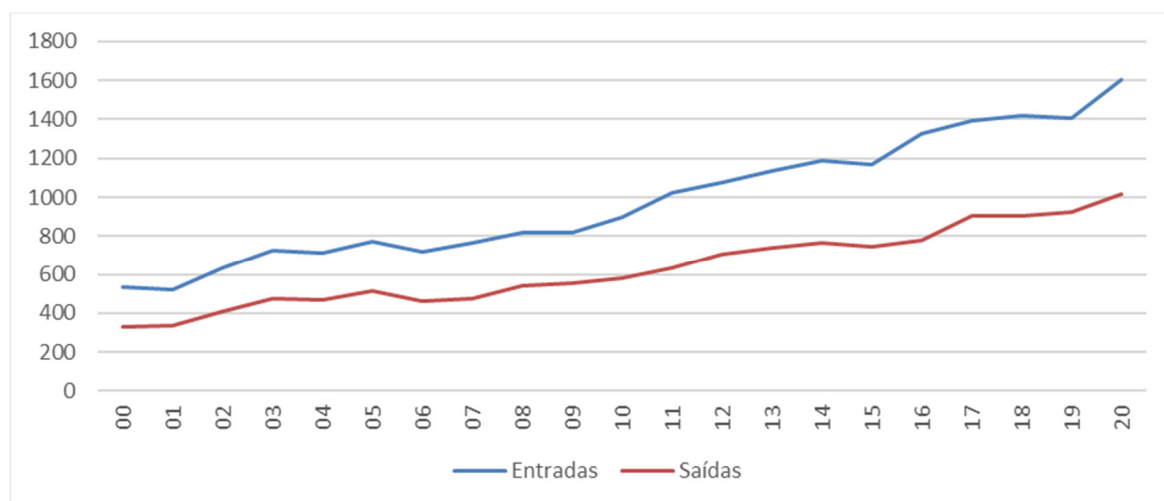


Figura 239. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).



Figura 240. Entradas no balanço agropecuário de P de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

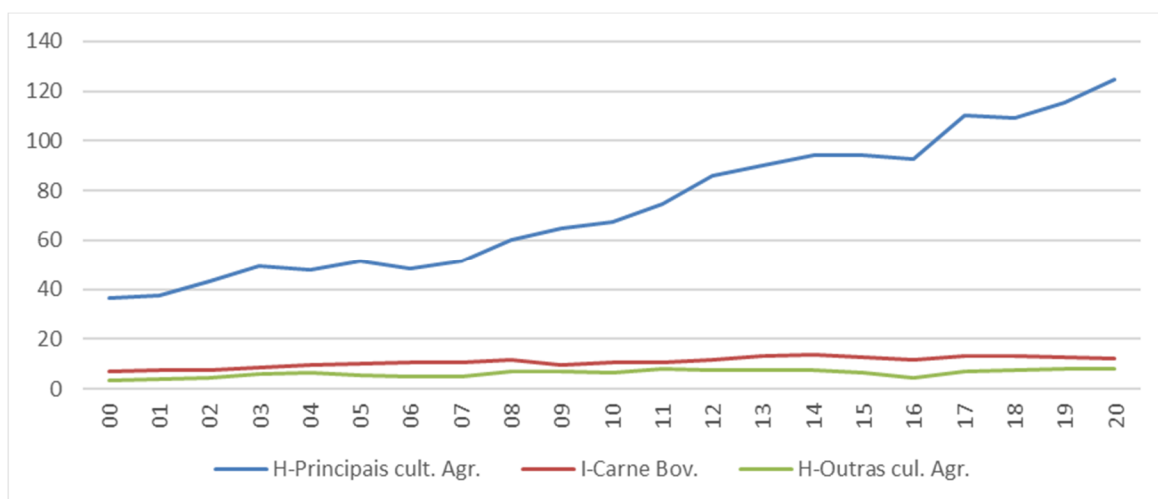


Figura 241. Saídas no balanço agropecuário de P de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

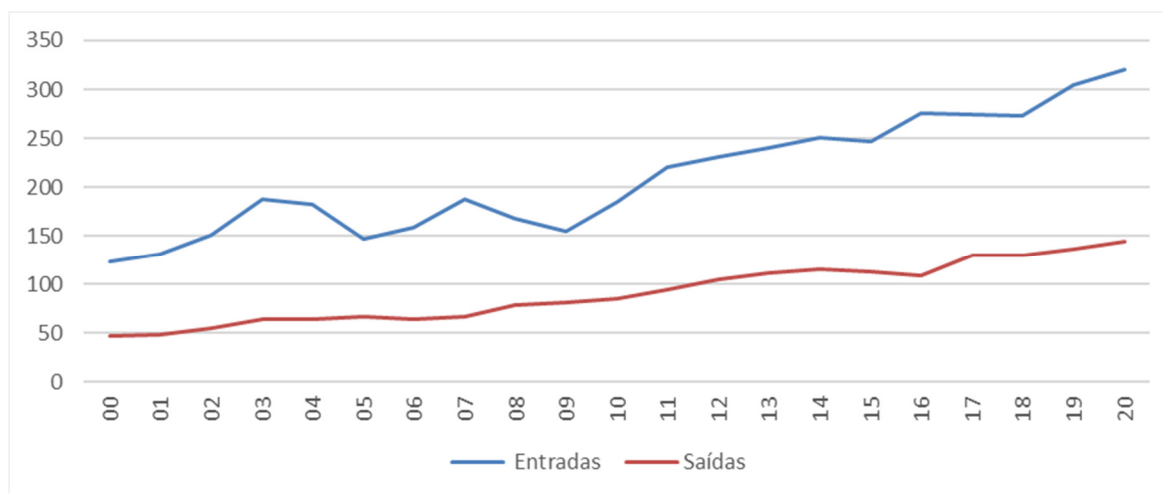


Figura 242. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

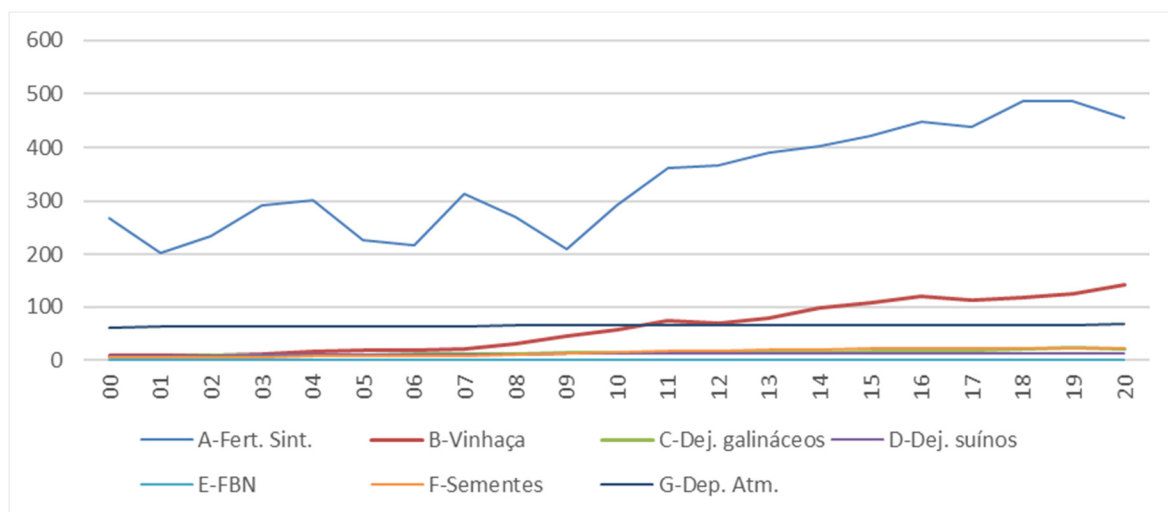


Figura 243. Entradas no balanço agropecuário de K de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

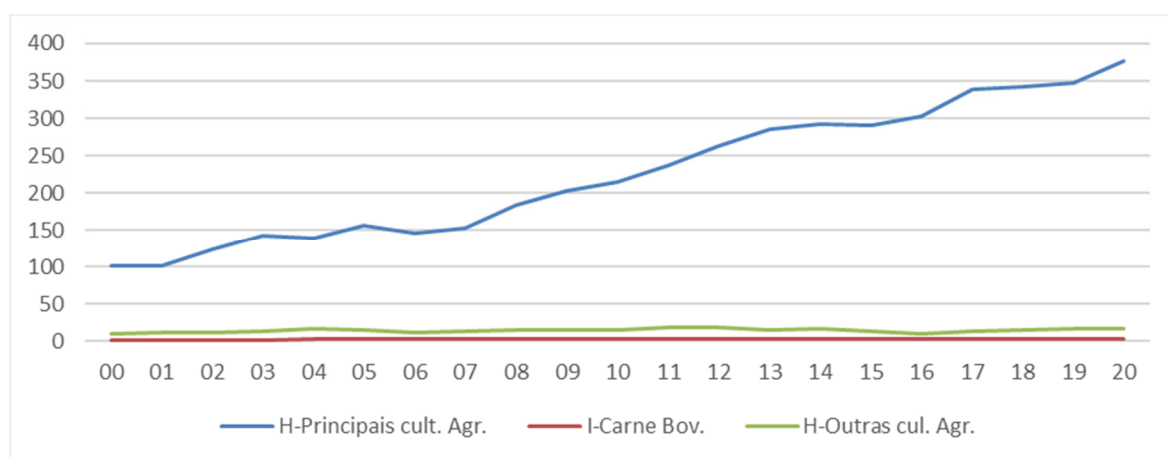


Figura 244. Saídas no balanço agropecuário de K de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

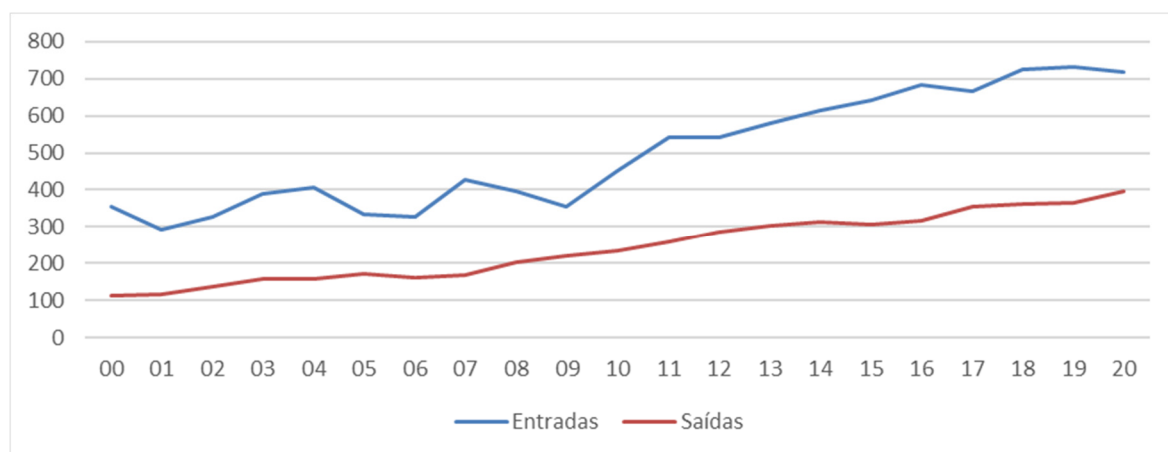


Figura 245. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K de Goiás entre 2000 a 2020 (Gg).

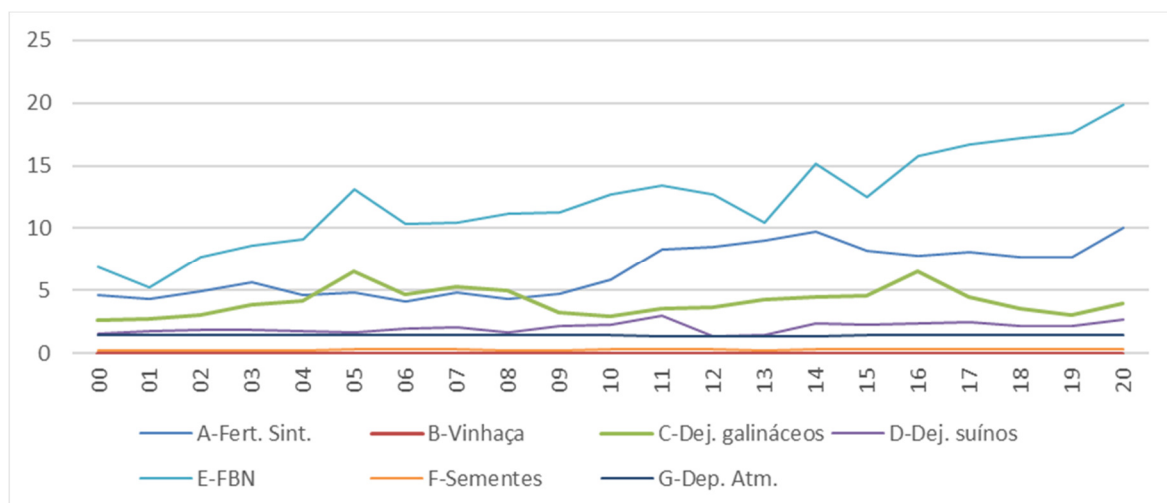


Figura 246. Entradas no balanço agropecuário de N do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

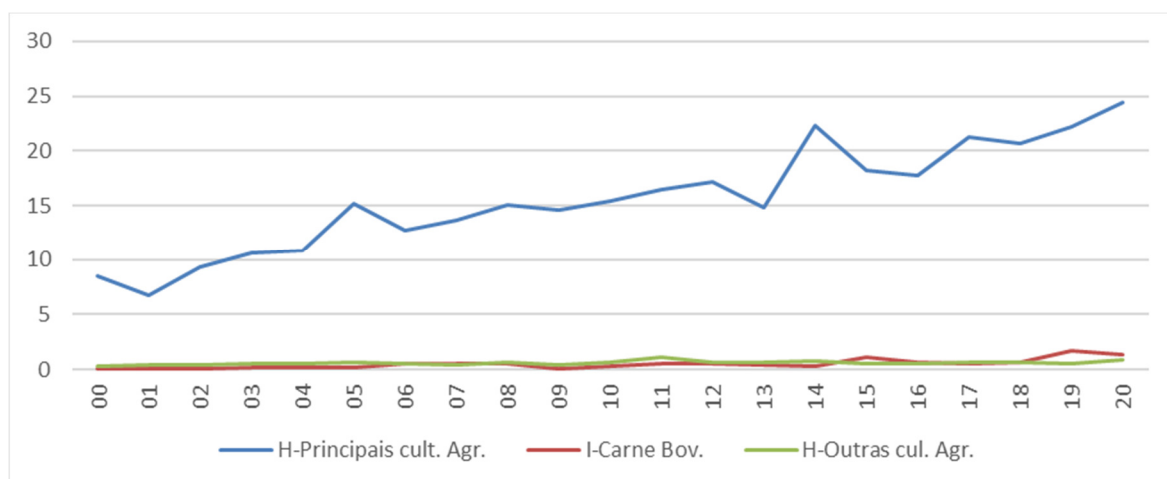


Figura 247. Saídas no balanço agropecuário de N do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

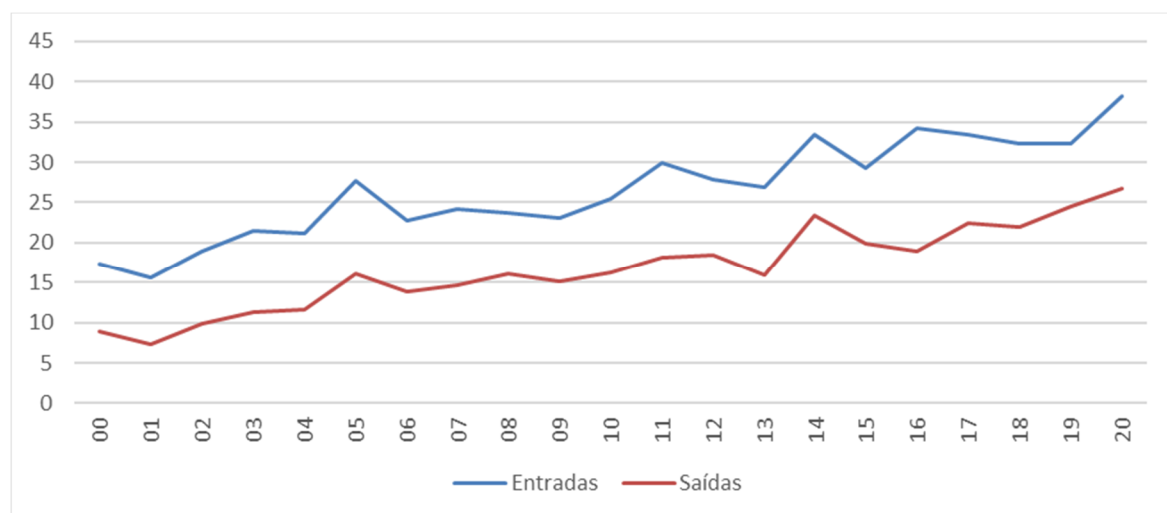


Figura 248. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de N do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

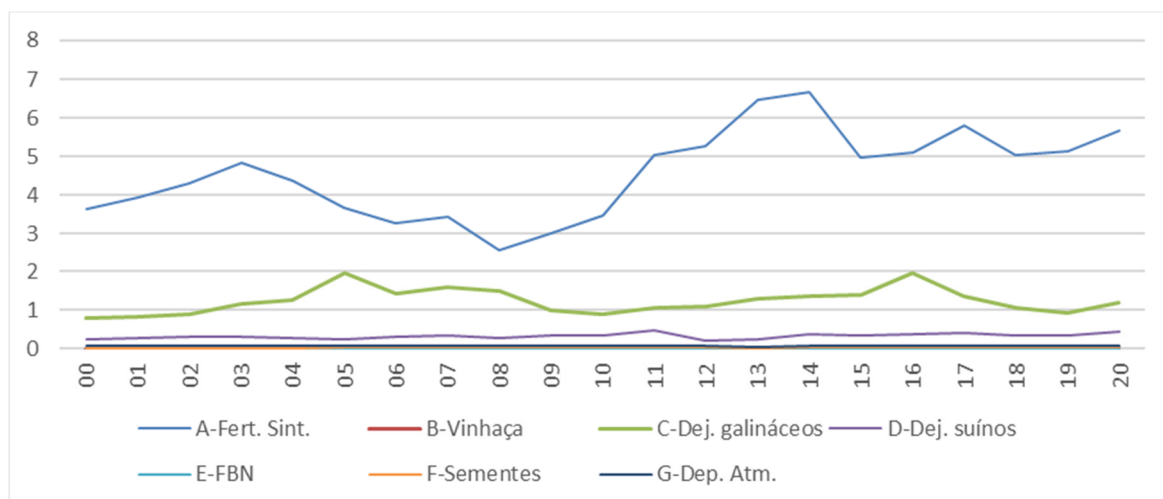


Figura 249. Entradas no balanço agropecuário de P do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

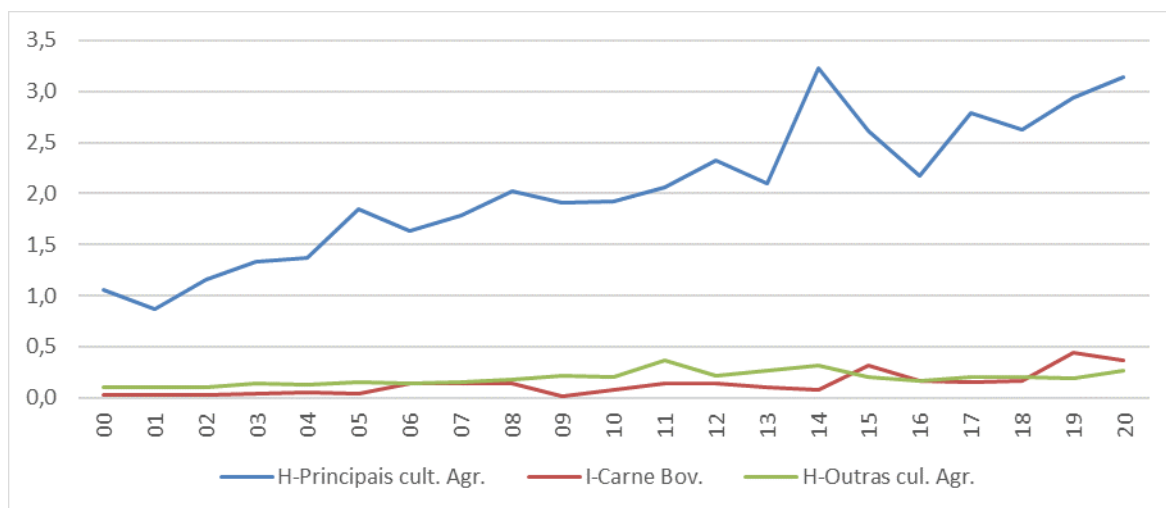


Figura 250. Saídas no balanço agropecuário de P do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

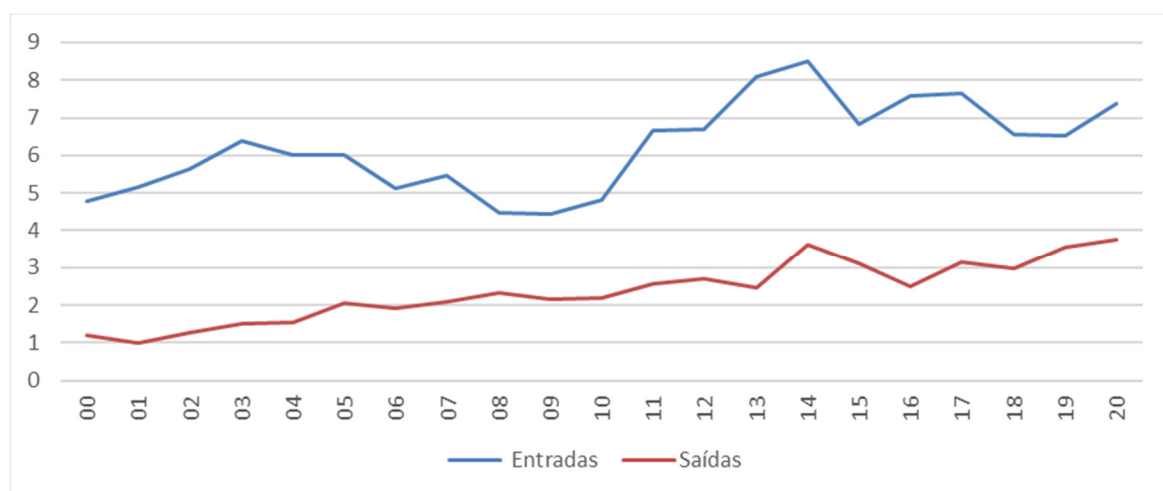


Figura 251. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de P do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

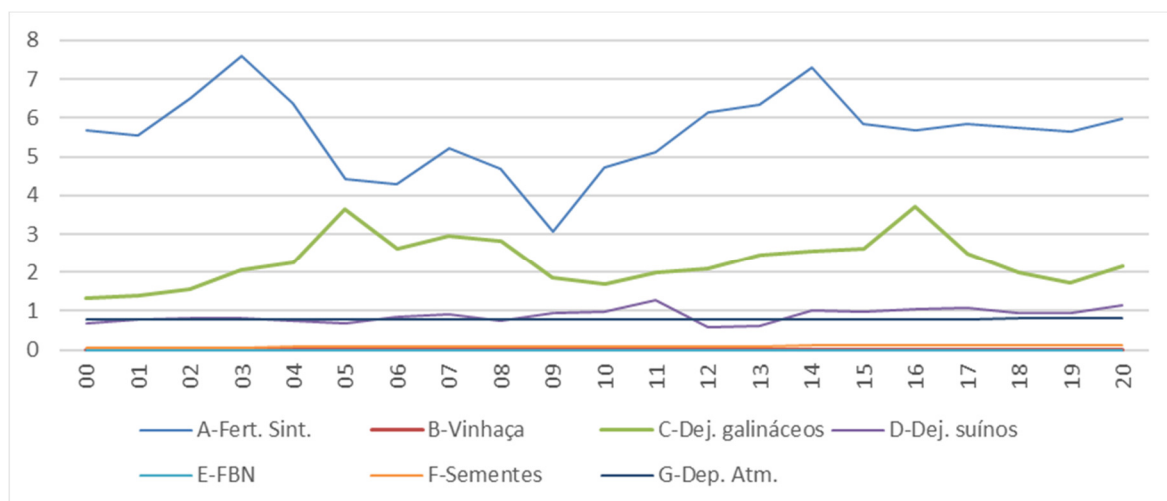


Figura 252. Entradas no balanço agropecuário de K do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

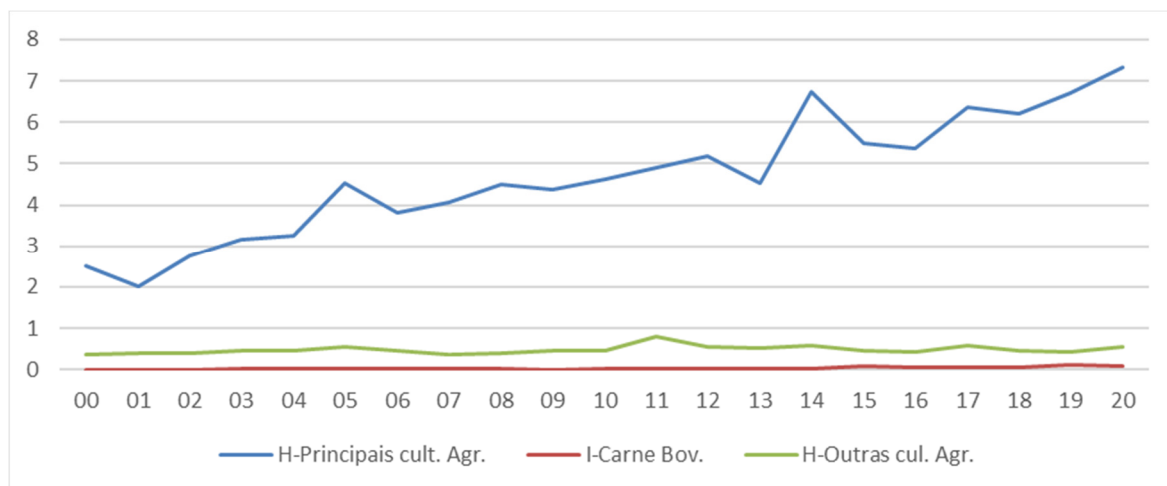


Figura 253. Saídas no balanço agropecuário de K do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).

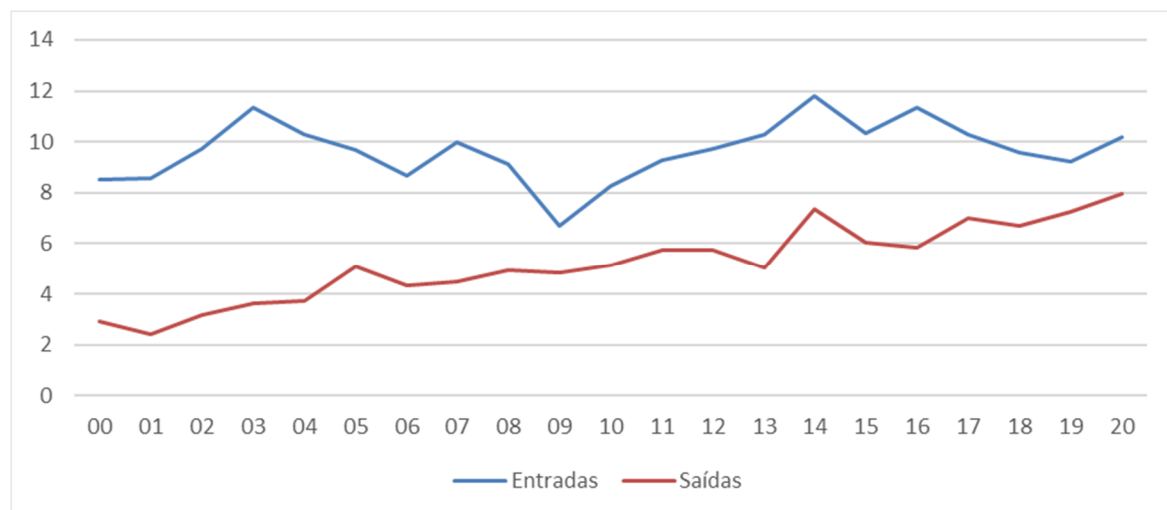


Figura 254. Montante total de entradas e saídas no balanço agropecuário de K do Distrito Federal entre 2000 a 2020 (Gg).