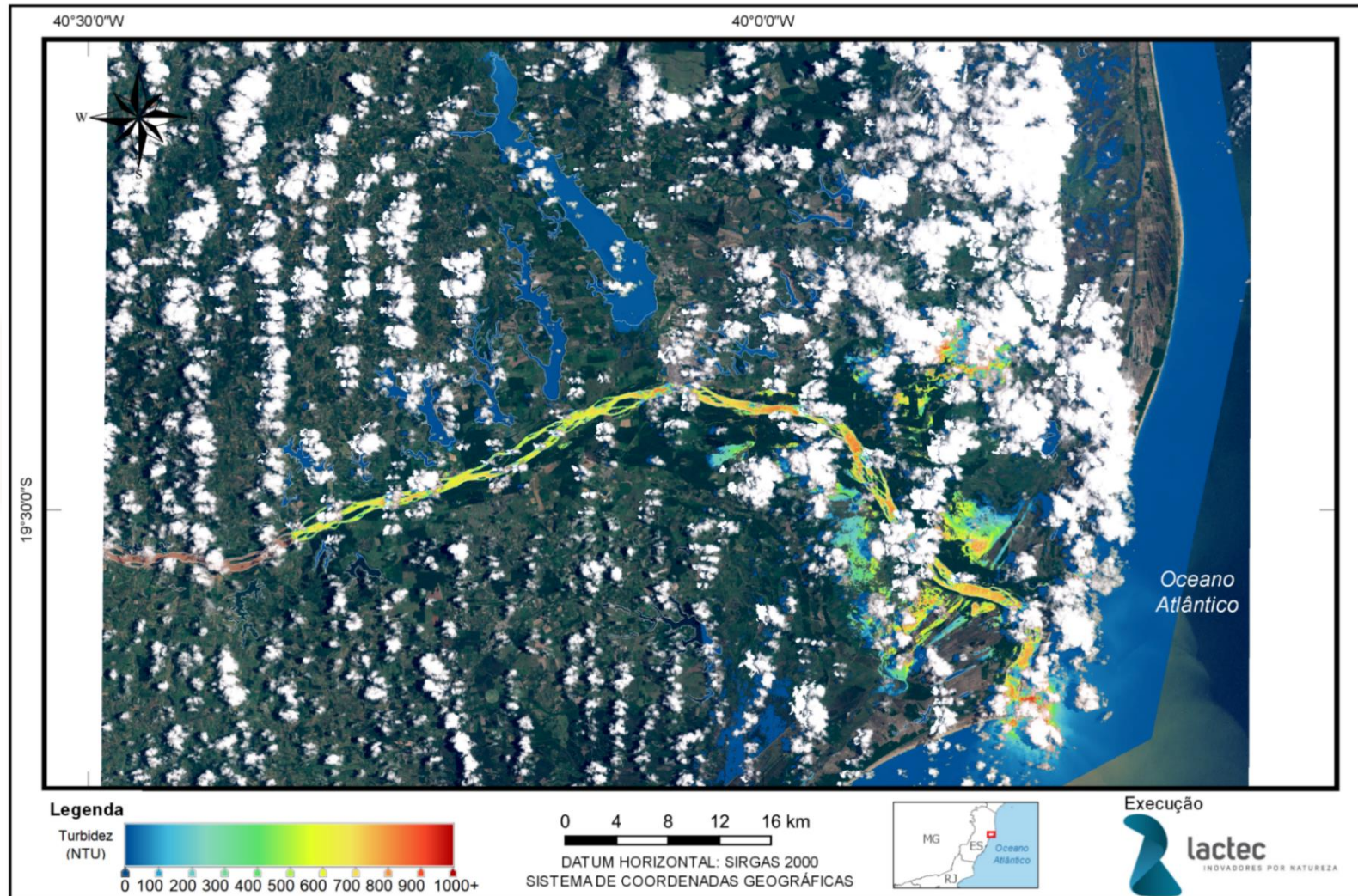


**Figura 60** – Cheias de 2020 – Imagem de turbidez para o dia 31/01/2020.



Fonte: Lactec (2020).

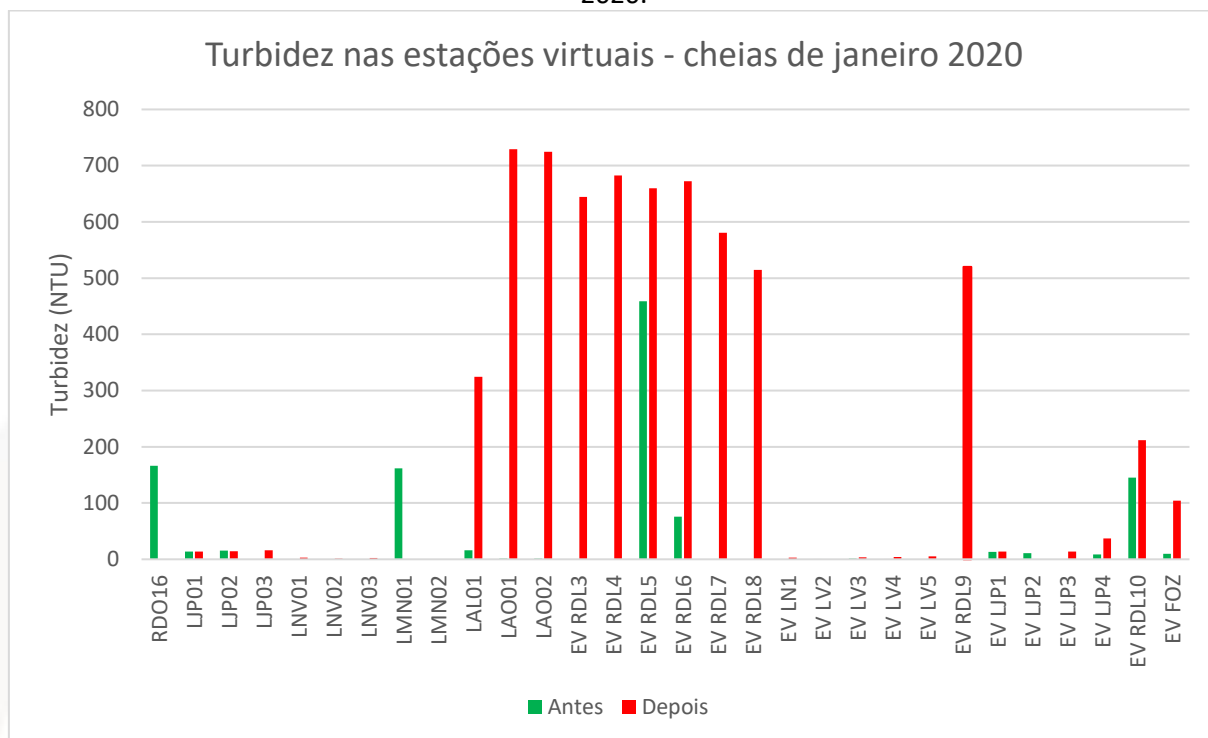
As áreas inundadas nesse evento foram menores que as dos outros dois analisados. A alta cobertura de nuvens na imagem anterior as cheias prejudicaram a análise das diferenças, sendo essas imagens com o menor número de dados comparados. A Tabela 13 e a Figura 61 apresentam as diferenças nos valores entre as duas datas.

**Tabela 13** - Comparação entre os dados de turbidez das estações virtuais antes e depois das cheias de 2020.

| Estação                                | Antes  | Depois | Diferença | Estação  | Antes  | Depois | Diferença |
|----------------------------------------|--------|--------|-----------|----------|--------|--------|-----------|
| RDO16                                  | 166.44 | -      | -         | EV RDL7  | -      | 580.46 | -         |
| LJP01                                  | 13.9   | 13.79  | -0.11     | EV RDL6  | 75.55  | 672.46 | 596.91    |
| LJP02                                  | 15.58  | 14.18  | -1.4      | EV RDL7  | -      | 580.46 | -         |
| LJP03                                  | -      | 16.03  | -         | EV RDL8  | -      | 514.57 | -         |
| LVN01                                  | 0.51   | 2.8    | 2.29      | EV LV1   | -      | 3.12   | -         |
| LVN02                                  | -      | 1.3    | -         | EV LV2   | 0.5    | -      | -         |
| LVN03                                  | -      | 2.47   | -         | EV LV3   | 1.2    | 3.42   | 2.22      |
| LMN01                                  | 161.84 | -      | -         | EV LV4   | 0.33   | 4.14   | 3.81      |
| LMN02                                  | -      | -      | -         | EV LV5   | -      | 5.35   | -         |
| LAL01                                  | 16.09  | 324.79 | 308.7     | EV RDL9  | -      | 520.01 | -         |
| LAO01                                  | 1.11   | 729.09 | 727.98    | EV LJP1  | 13.23  | 13.77  | 0.54      |
| LAO02                                  | 1.09   | 724.52 | 723.43    | EV LJP2  | 11     | -      | -         |
| EV RDL3                                | -      | 644.19 | -         | EV LJP3  | -      | 13.92  | -         |
| EV RDL4                                | -      | 682.67 | -         | EV LJP4  | 8.59   | 37.15  | 28.56     |
| EV RDL5                                | 458.64 | 659.97 | 201.33    | EV RDL10 | 145.23 | 212.1  | 66.87     |
| EV RDL6                                | 75.55  | 672.46 | 596.91    | EV FOZ   | 9.73   | 104.34 | 94.61     |
| Total de estações com valores maiores: |        |        |           | 13       |        |        |           |
| Total de estações com valores menores: |        |        |           | 2        |        |        |           |

Baseando-se nas informações apresentadas, as maiores diferenças identificadas foram nas lagoas Areão e Areal (LAO01, LAO02 e LAL01) e em alguns pontos no rio. Ao contrário das outras duas análises, a área entre a lagoa Juparanã e o rio Doce (rio Pequeno) não apresentou indícios de inundação. Segundo o site Folha Vitória (2019), a barragem instalada foi totalmente retirada no ano de 2019, descartando-se a possibilidade de que a presença da barragem foi o que impediu o alagamento. A diferença da distribuição das chuvas ao longo da bacia do rio Doce explica o fato de que essa inundação na região do rio Pequeno não ocorreu. Entretanto, nos arredores das lagoas Areão e Areal a área alagada foi significativa, além de um acréscimo na ordem de 500-700 NTU na turbidez das duas lagoas, reforçando a hipótese da entrada das águas do rio Doce nessas lagoas menores.

**Figura 61** - Comparação dos dados de turbidez para as estações de turbidez durante as cheias de 2020.

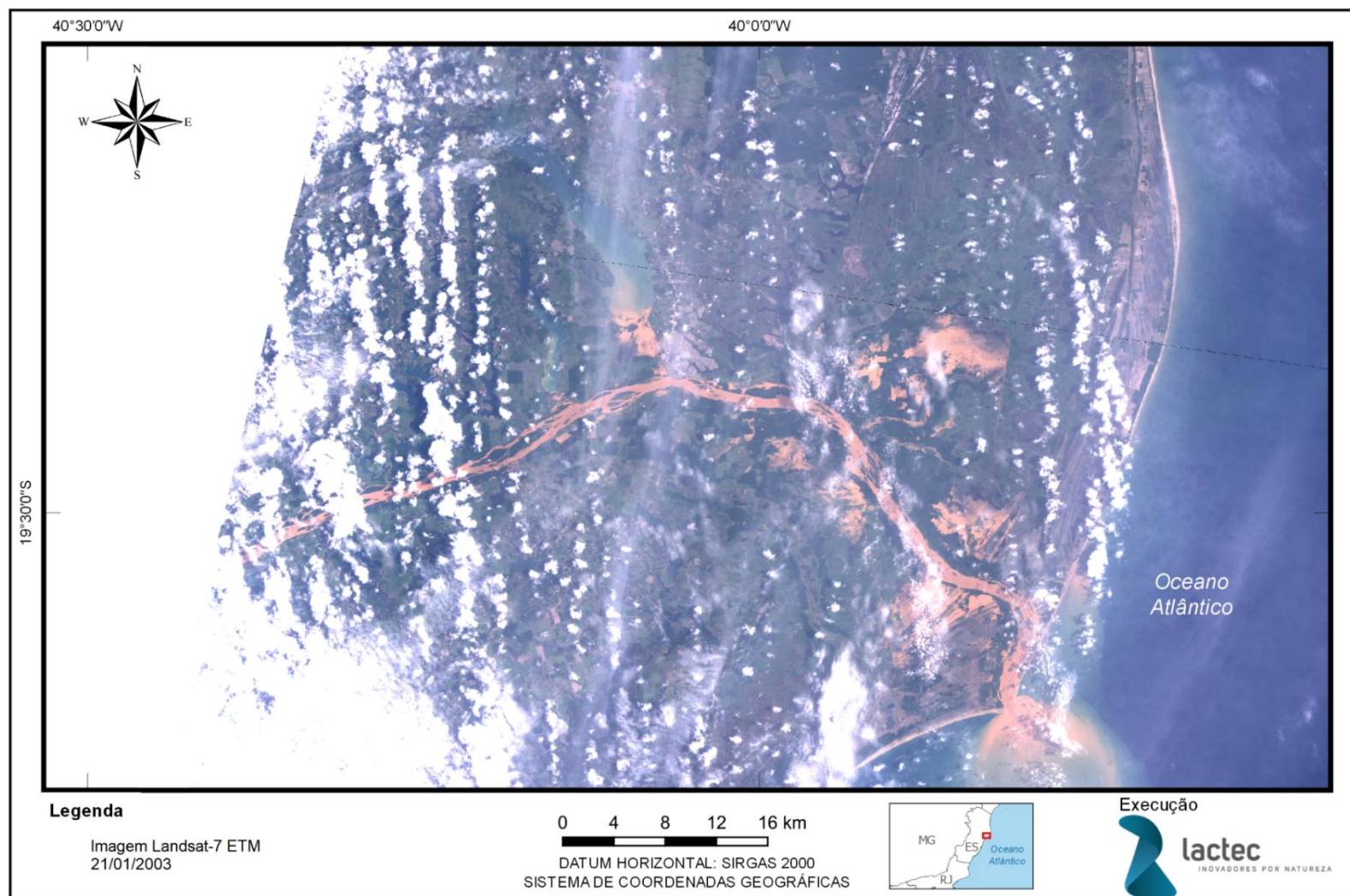


Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

#### 5.3.2.1.4 Outros anos

As imagens sem suporte no sistema MIP foram analisadas visualmente de forma separada, sem terem sido processadas para a retirada de dados específicos. A seguir as figuras (Figura 62, Figura 63, Figura 64 e Figura 65) são apresentadas, conforme apresentado na Tabela 9.

Figura 62 - Imagem de 21/01/2003 da missão Landsat-7.



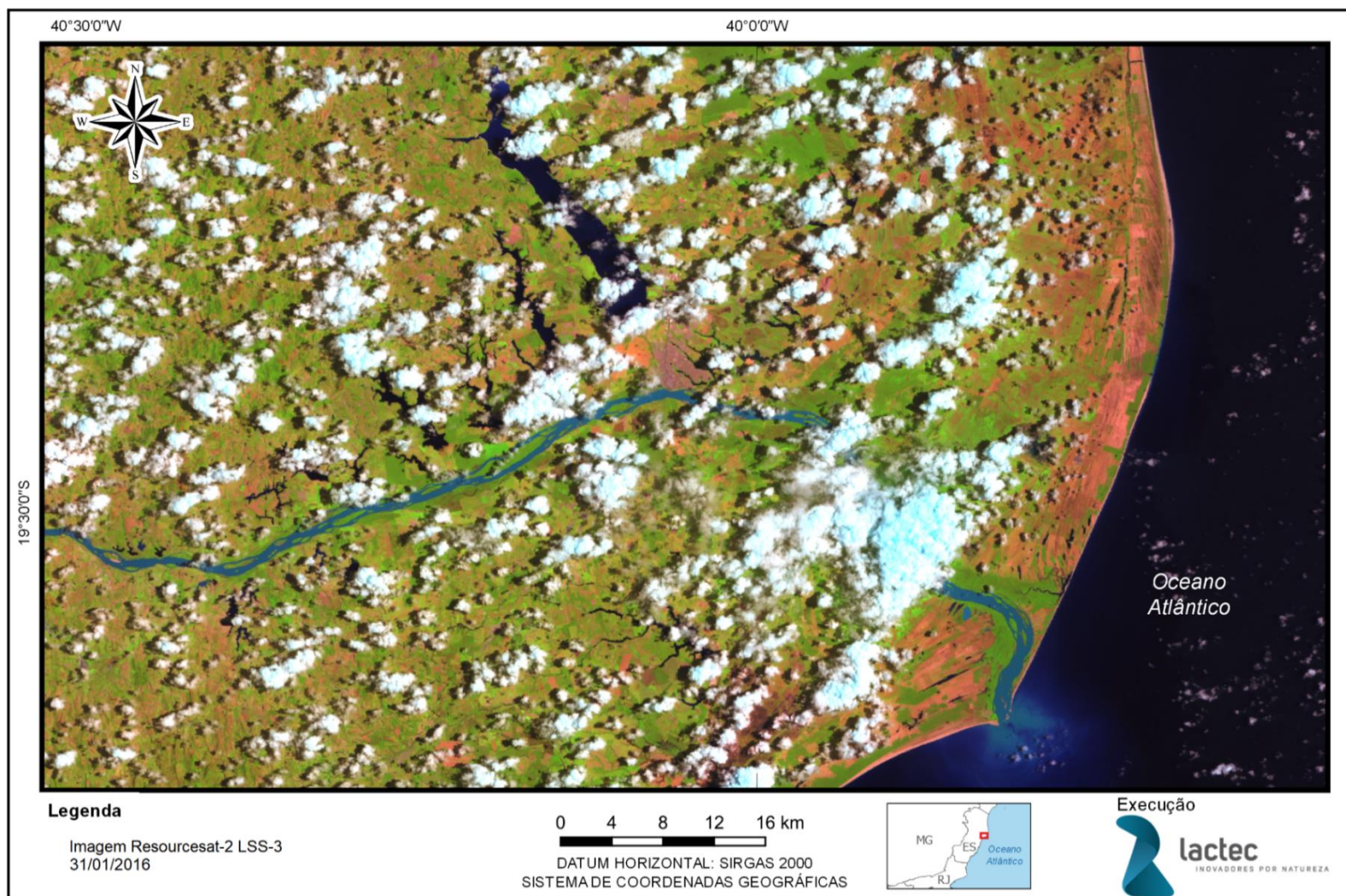
Fontes: Lactec (2020).

**Figura 63** - Imagem de 19/01/2004 da missão CBERS-2.



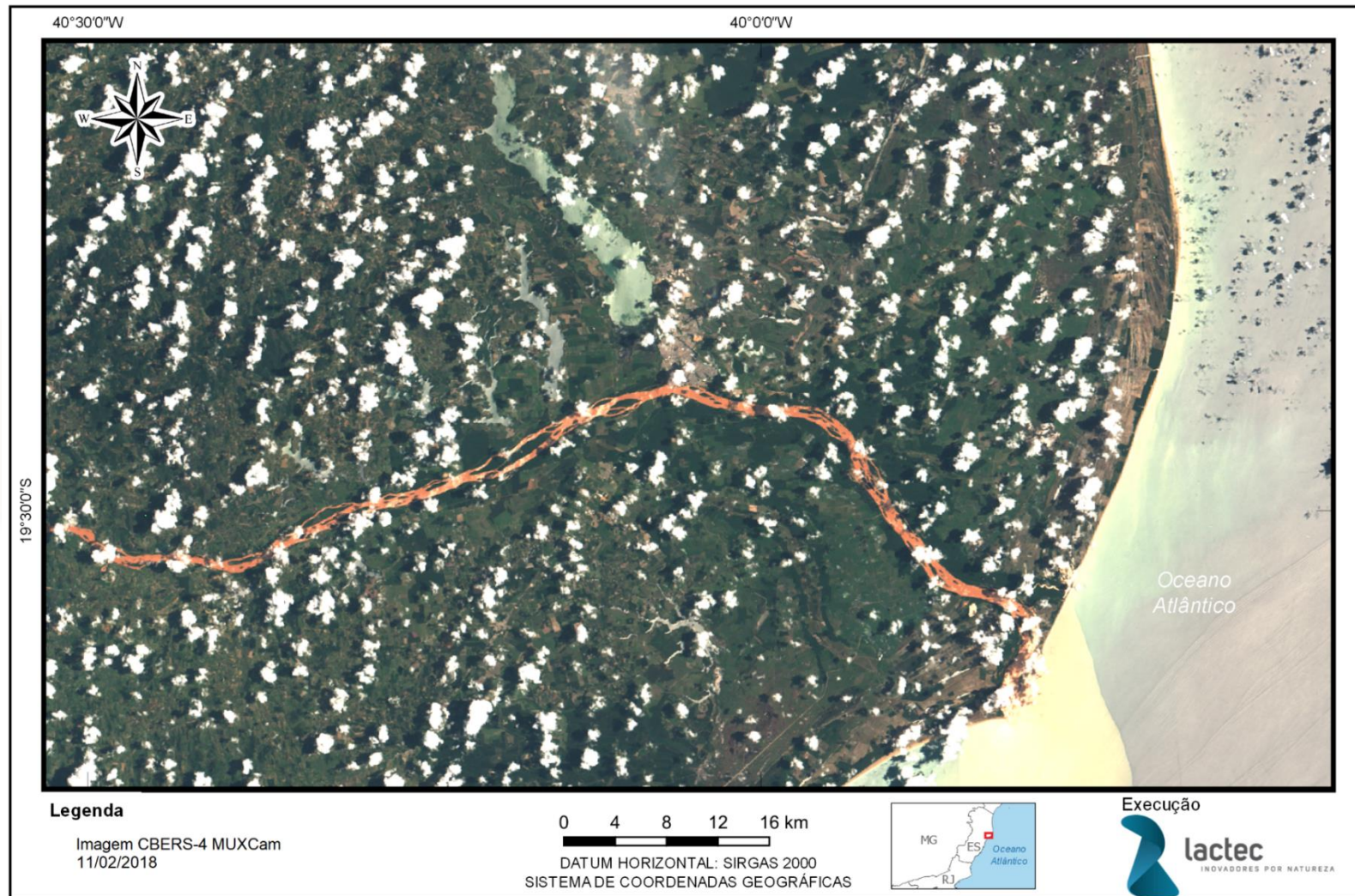
Fontes: Lactec (2020).

**Figura 64** - Imagem de 31/01/2016 da missão Resourcesat-2.



Fontes: Lactec (2020).

**Figura 65** - Imagem de 11/02/2018 da missão CBERS-4.



Fontes: Lactec (2020).

A primeira imagem (Figura 62) do dia 21/01/2003 da missão Landsat-7 corresponde a dois dias após o evento de alta cota que teve valor igual a 688 cm, 98 cm acima do evento de 2016. Devido a defeitos no satélite ocorridos em março de 2003 (USGS, 2020), o sistema MIP não foi implementado para essa missão pois cada imagem após essa data só apresenta 78% dos pixels válidos. Apesar da alta concentração de nuvens e vapor na atmosfera, é possível ver grandes áreas de alagamento na região. O canal intermitente que conecta o rio Doce à lagoa Monsarás é visível pela imagem, grandes áreas inundadas ao redor das lagoas Areão e Areal (Figura 66) além das áreas entre a lagoa Nova, a lagoa Juparanã e o rio Doce (Figura 67).

**Figura 66** - Lagoas Areão e Areal (esquerda) e Monsarás (direita) durante as cheias de 2003.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 67** - Áreas alagadas entre Lagoas Juparanã (direita), Nova (esquerda) e o rio Doce após as cheias de 2003.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

Pela coloração da água é possível observar um incremento da turbidez na água,

entretanto não foi possível quantificá-lo.

A segunda imagem (Figura 63), do dia 19/01/2004, da missão CBERS-2 corresponde a cinco dias após o evento de alta cota que teve valor igual a 576 cm, 14 cm abaixo do evento de 2016. Esse evento apresentou a menor cota observada, o que auxilia no entendimento da possibilidade da entrada das águas do rio Doce nas lagoas em eventos menos extremos, indicando que eventos menores que o de 2016 (após o desastre) também podem ter ocasionado essa entrada. As missões CBERS não são integradas no MIP pela dificuldade de acesso as imagens além do longo tempo de revisita de 26 dias.

Pela imagem é possível observar um incremento na turbidez da lagoa Juparanã, conforme observado pela mudança para cores mais avermelhadas/amareladas, e também se observa o alagamento da área entre o rio Doce e a lagoa, no rio Pequeno (Figura 68). A imagem foi tomada cinco dias após ao evento de cota máxima, indicando que a área alagada possivelmente foi maior.

**Figura 68** - Área alagada no rio Pequeno entre a lagoa Juparanã e o rio Doce após as cheias de 2004.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

Além disso, também pode ser observado o canal ligando o rio Doce à lagoa Monsarás e as áreas alagadas na região ao redor das lagoas Areão e Areal, conforme a Figura 69.

**Figura 69** - Canal que liga o rio Doce e a lagoa Monsarás após as cheias de 2004.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

A terceira imagem (Figura 64), do dia 31/01/2016, da missão Resourcesat-2 foi a mais próxima encontrada com menor cobertura de nuvens desde a data das cheias de 2016, valor de cota de 590 cm no dia 23/01/2016, em torno de 2 meses após a passagem da lama na região. A imagem corresponde a uma semana após o evento de alta cota, o qual teve valor igual a 590 cm. A missão Resourcesat-2 não foi integrada no MIP por ser um sensor focado em vegetação terrestre. O sensor não faz medições na região do azul do espectro eletromagnético, comprimentos de onda essenciais para os cálculos dos parâmetros indicadores de qualidade da água. Para a renderização da imagem foi utilizado uma combinação RGB das bandas SWIR, Vermelho e Verde. As cores mais claras azuladas evidenciam alta reflectância da banda verde, ocasionado pela alta turbidez na água (IOCCG, 2006; MALINOWSKI *et al*, 2015). As áreas azuis mais escuras indicam menor reflectância e como consequência menor turbidez.

Como a data da imagem é de oito dias após o evento, é possível que grande parte da suposta área alagada tenha diminuído. Pela imagem não foram observadas grandes áreas de alagamentos como nos outros eventos. No entanto, é possível que a falta de dados espectrais tenha afetado os resultados.

A quarta e última imagem (Figura 65), do dia 11/02/2018, da missão CBERS-4 corresponde a três dias após o evento de alta cota que teve valor igual a 592 cm, apenas 2 cm acima do evento de 2016. Esse evento foi o identificado com a cota mais próxima ao do evento de 2016. Como a imagem anterior, esta não apresenta grandes áreas de inundações. Algumas áreas não alagadas podem ser efeito das medidas de contenção, como por exemplo a barragem construída na lagoa Juparanã, conforme Barbosa *et al* (2019).

### 5.3.2.2 Análise das Séries Históricas

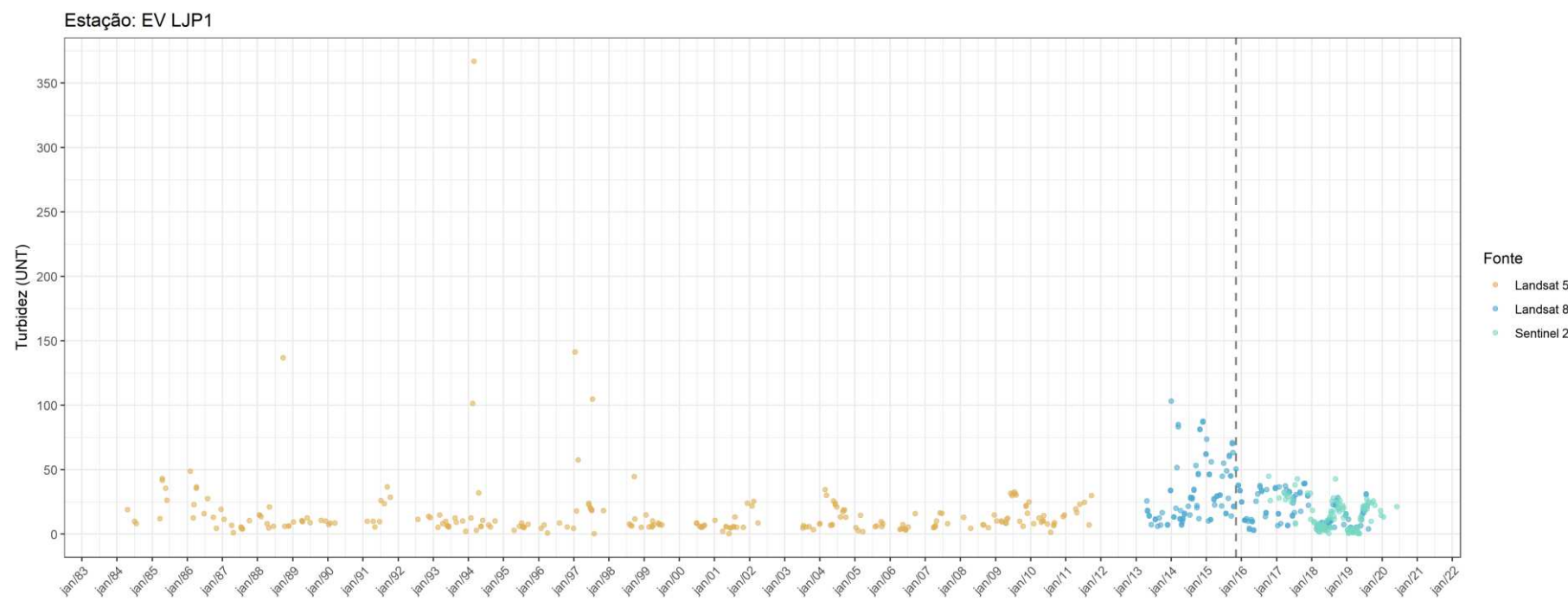
A seguir são apresentados os resultados das análises dos dados das séries históricas. Conforme verificado na seção 4.1, apenas alguns locais se mostraram relevantes no que se concerne a possibilidade de as cheias terem aportado águas do rio Doce para as lagoas. Com isso, apenas os gráficos de série histórica das estações virtuais mais relevantes serão apresentados aqui, os outros gráficos estão anexados no final deste documento.

Foi observado que as lagoas Juparanã, Areal e Areão são potencialmente as mais afetadas nas cheias. As lagoas Monsarás e Nova também apresentaram essa possibilidade, porém a Lagoa do Limão não mostrou nenhum indício desse efeito. Assim, os dados das estações virtuais dessas lagoas foram analisados. Além disso, foram testadas as correlações entre os dados de turbidez entre as estações virtuais das lagoas mais próximas do rio com as estações no rio. Testou-se, também, a correlação entre os dados de vazão da estação fluviométrica de Colatina com os dados de turbidez.

#### 5.3.2.2.1 Lagoa Juparanã

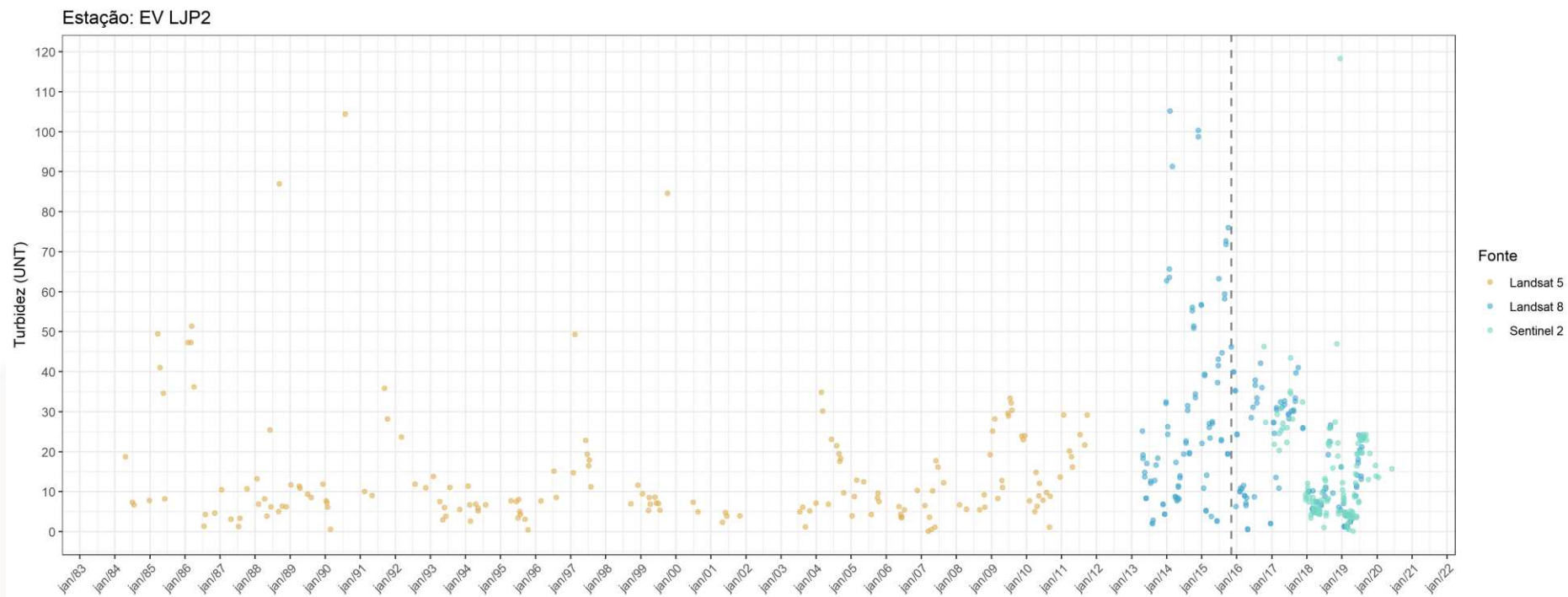
As estações virtuais relativas à lagoa Juparanã são: LJP01, LJP02, LJP03, EV LJP1, EV LJP2, EV LJP3, EV LJP4. Além dessas, as estações EV RDL9 e RDO15, localizadas no rio Doce próximo a Linhares e do canal que liga o rio à lagoa, também foram inseridas. As figuras mostram os dados de turbidez extraídos na série histórica de imagens (Figura 70 até a Figura 78).

**Figura 70 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP1.**



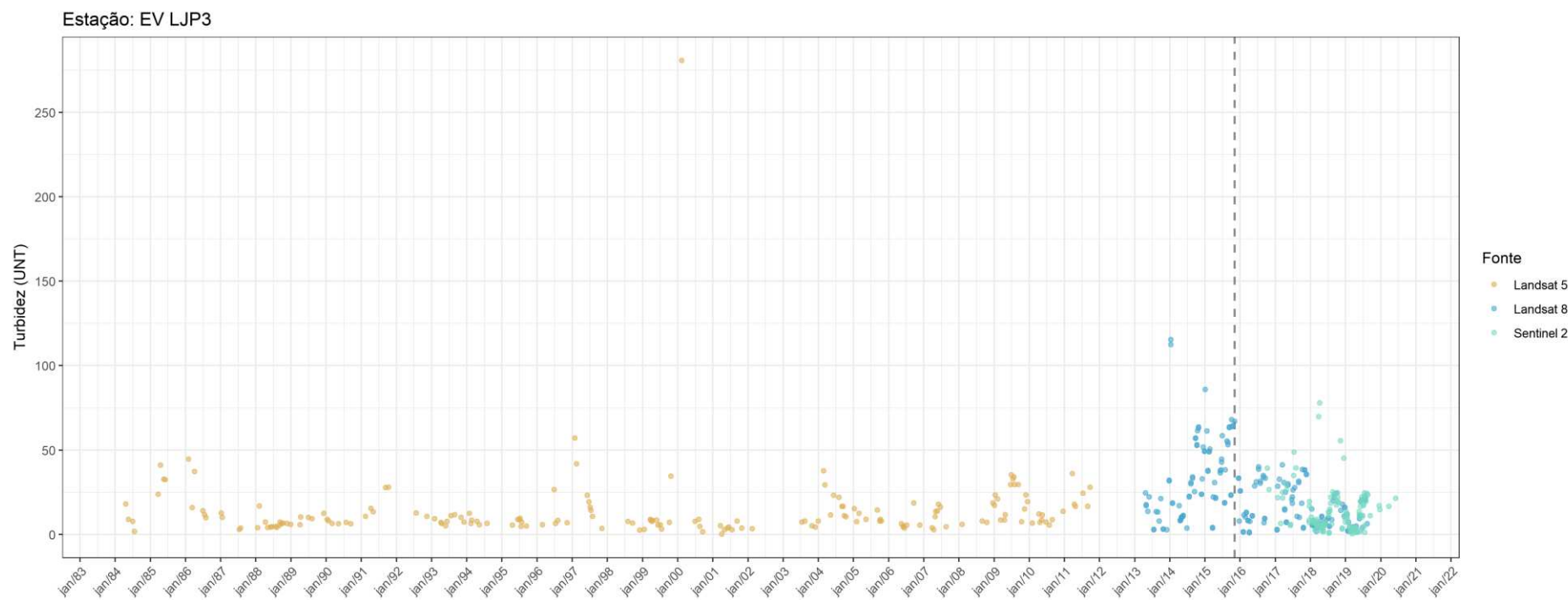
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 71 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP2.**



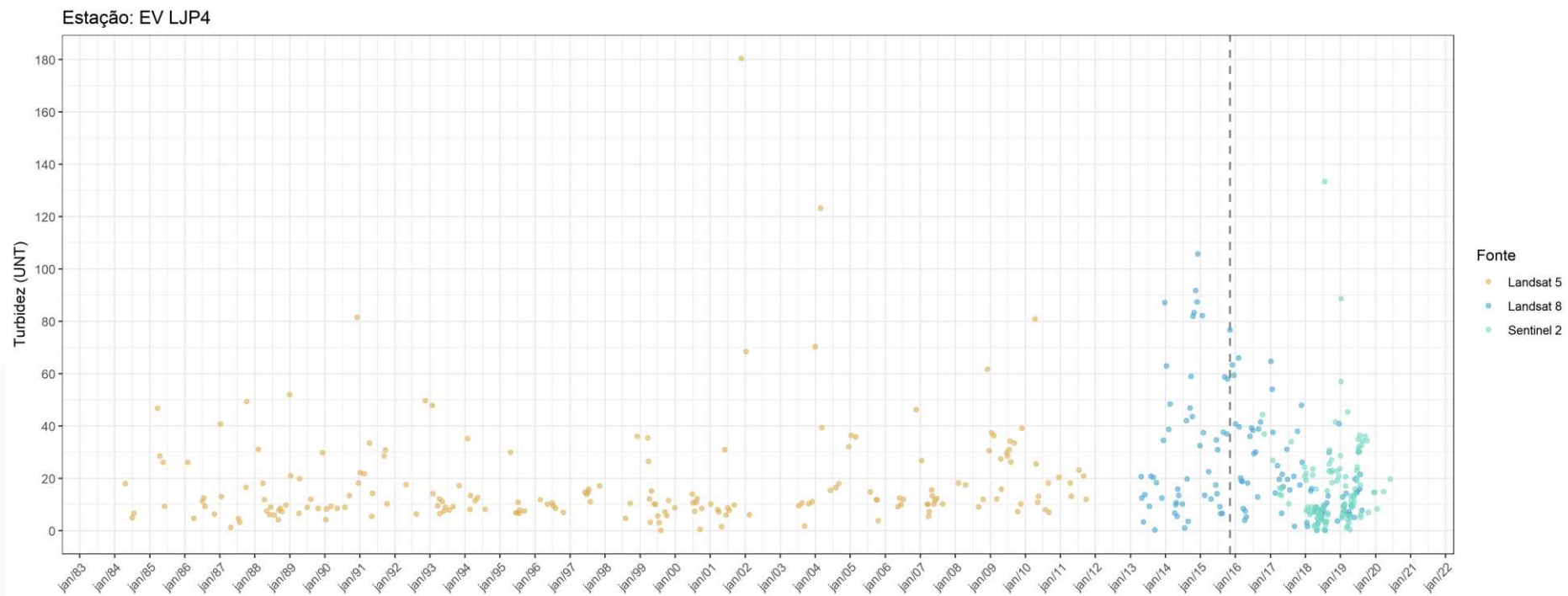
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 72** - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP3.



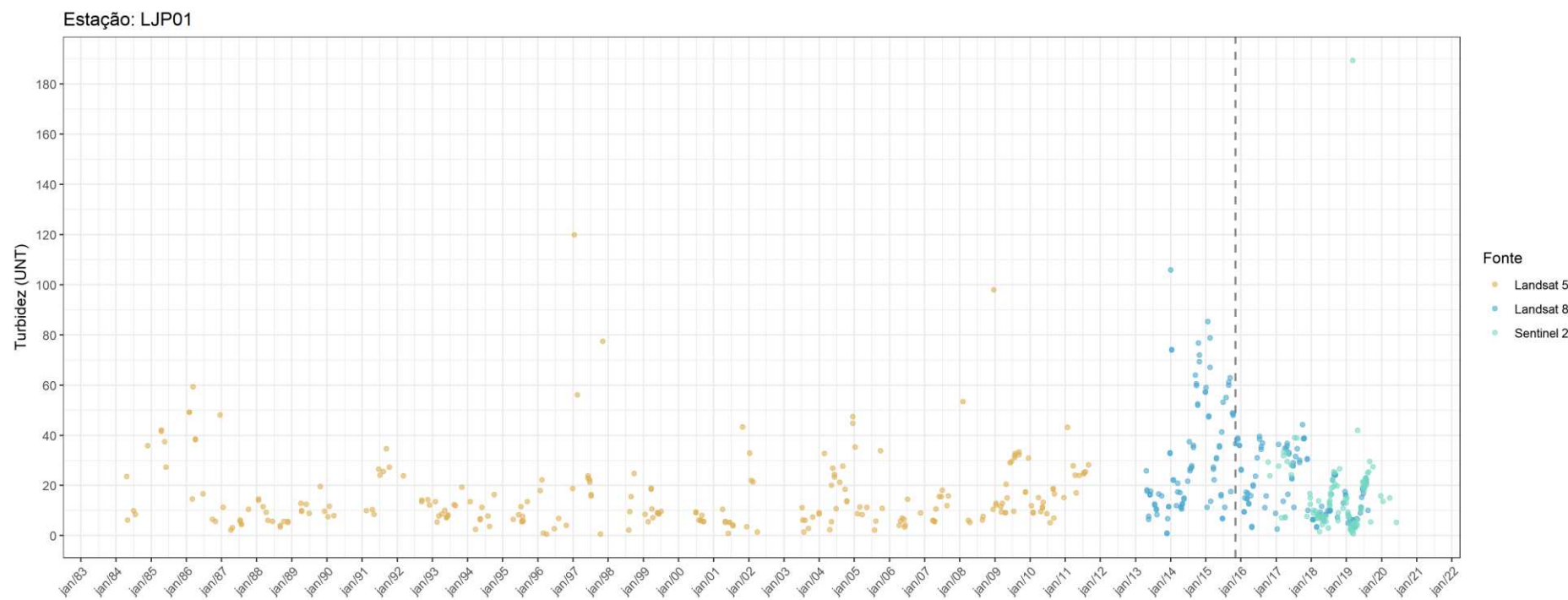
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 73 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP4.**



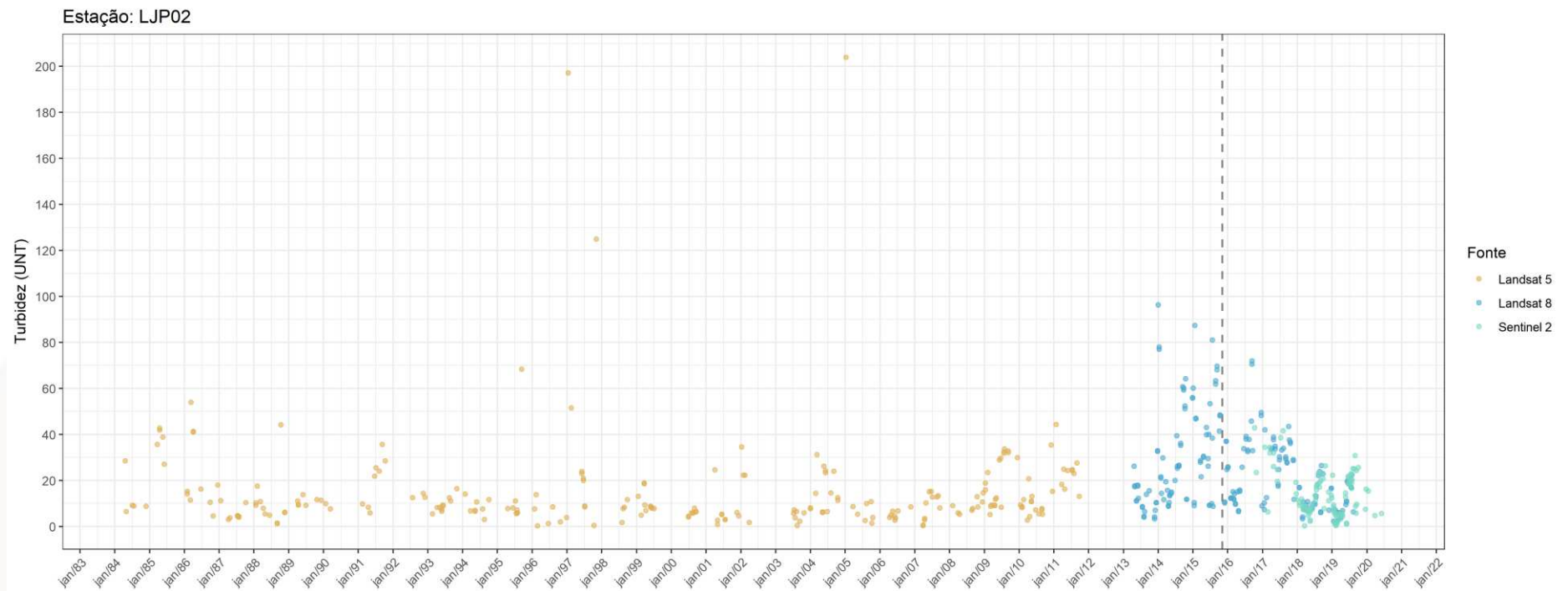
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 74 - Série histórica de turbidez – Estação LJP01.**



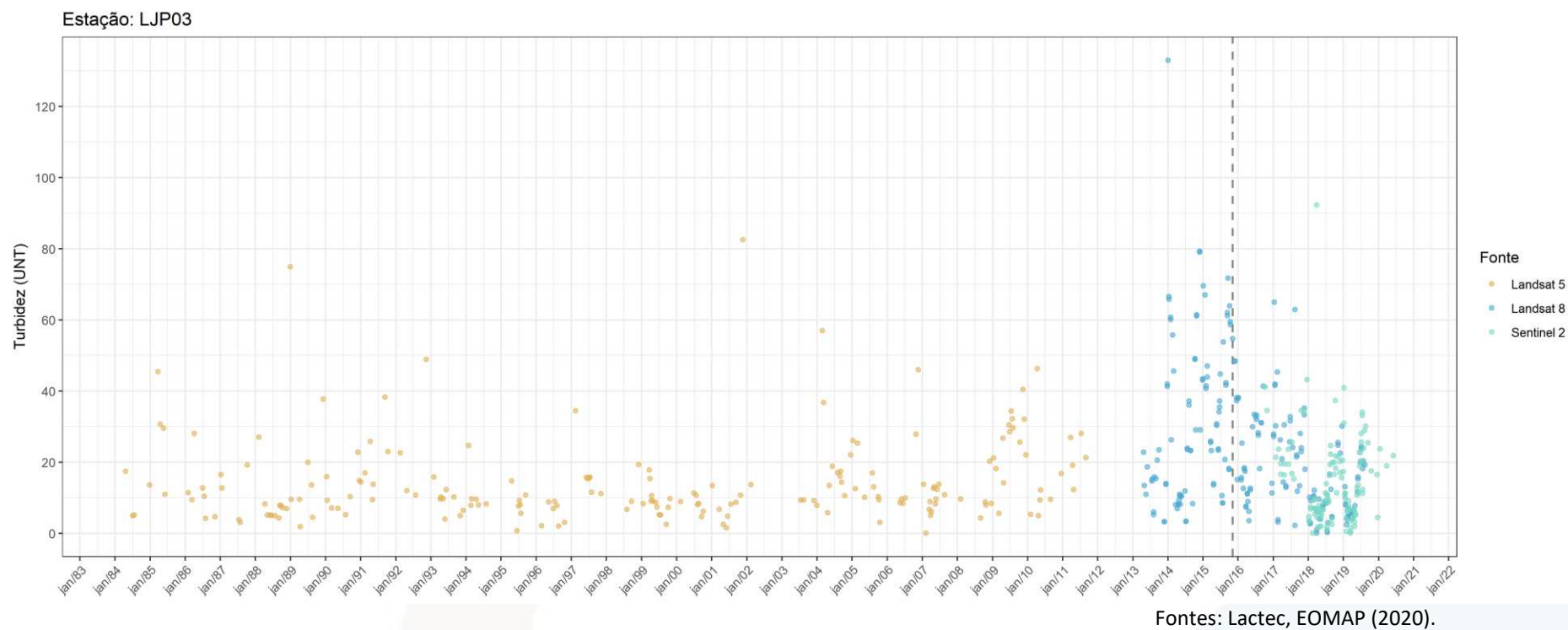
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 75 - Série histórica de turbidez – Estação LJP02.**

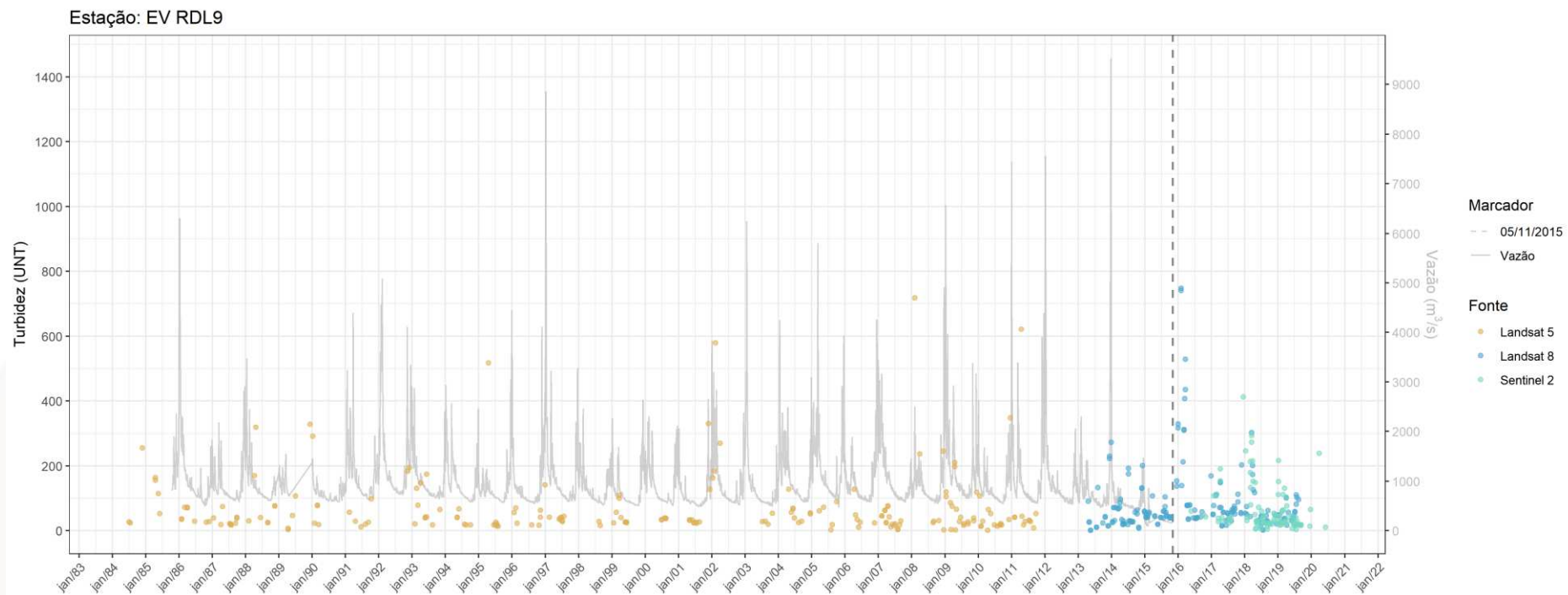


Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 76 - Série histórica de turbidez – Estação LJP03.**

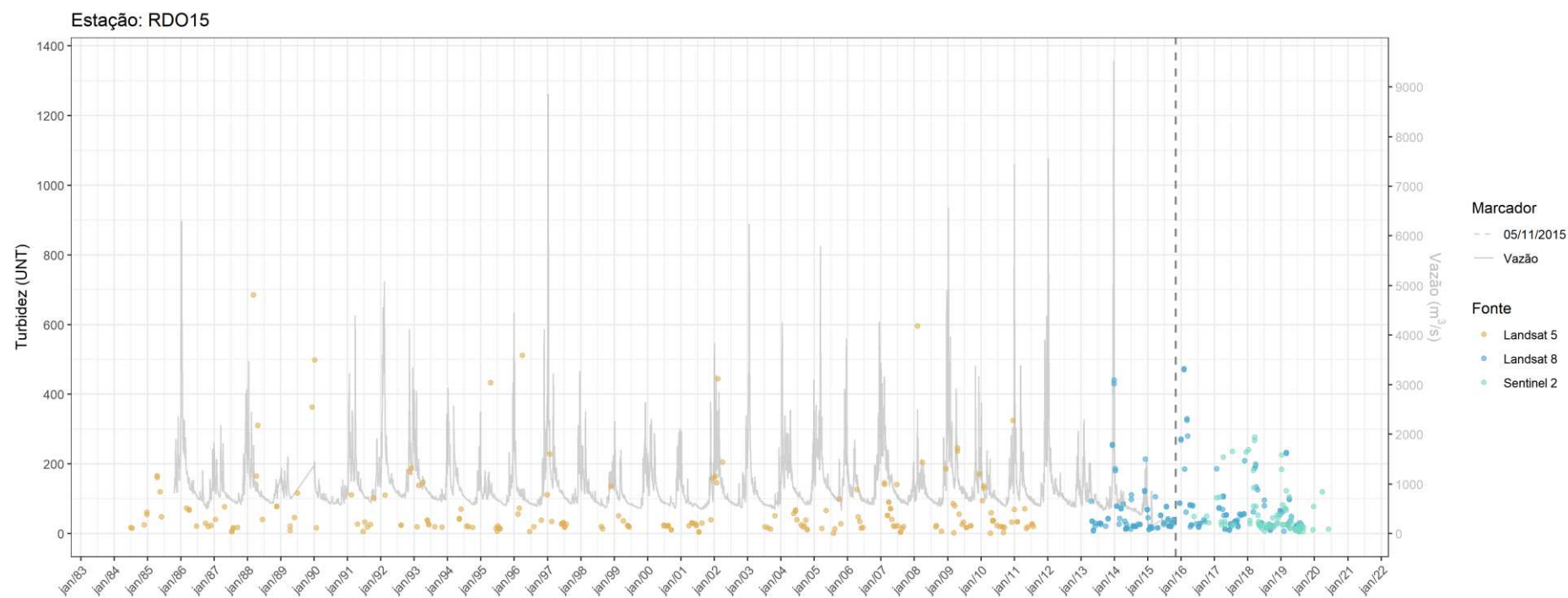


**Figura 77 - Série histórica de turbidez – Estação EV RDL9.**



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 78 - Série histórica de turbidez – Estação RDO15.**

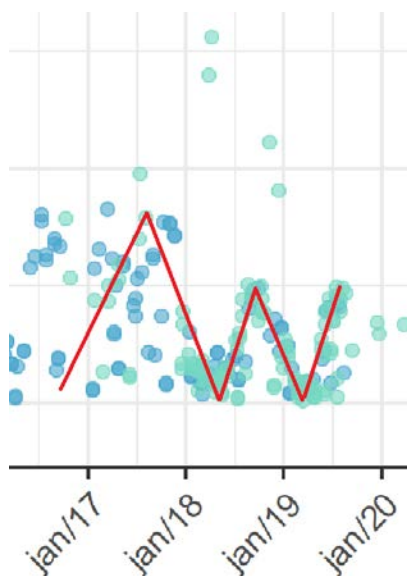


Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

Nas séries de turbidez é possível observar que os valores, em geral, raramente ultrapassaram 50 NTU, salvo alguns eventos extremos. Com os dados do satélite Sentinel-2, notou-se uma flutuação nos valores, a qual foi ocasionada pelas diferentes estações do ano, sendo a época mais seca no primeiro semestre e a época mais chuvosa no segundo semestre. Das estações que os valores ultrapassaram 50 NTU de forma mais frequente, as estações mais próximas ao rio Doce são a maioria, em especial as estações LJP01, LJP02, EV LJP1 e EV LJP2. A estação EV LJP4, a mais próxima do canal principal que desemboca na lagoa, também mostrou valores mais elevados, ocasionado pelo carreamento de sedimentos do canal. As estações na região central da lagoa apresentaram os menores valores.

Pelo baixo tempo de revisita das missões Landsat e as condições climáticas locais, não foi possível notar efeitos de flutuações sazonais nos dados. Entretanto, com os dados da missão Sentinel-2, essas particularidades podem ser vistas, conforme o exemplo mostrado na Figura 79.

**Figura 79** - Padrões sazonais de turbidez verificados na estação LJP03.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

Os dados de turbidez das estações EV RD9 e RDO15, no rio Doce, apresentados nas figuras (Figura 77 e Figura 78) foram plotados juntamente com os valores de vazão ajustada pela área. Os valores de vazão ajustada pela área partem da suposição de que a vazão específica (vazão dividida pela área) entre dois pontos ao longo do rio é semelhante. Então se no ponto "a" a vazão é conhecida, mas no ponto B só conhece a área, é possível a se estimar a vazão de "b", desta forma:

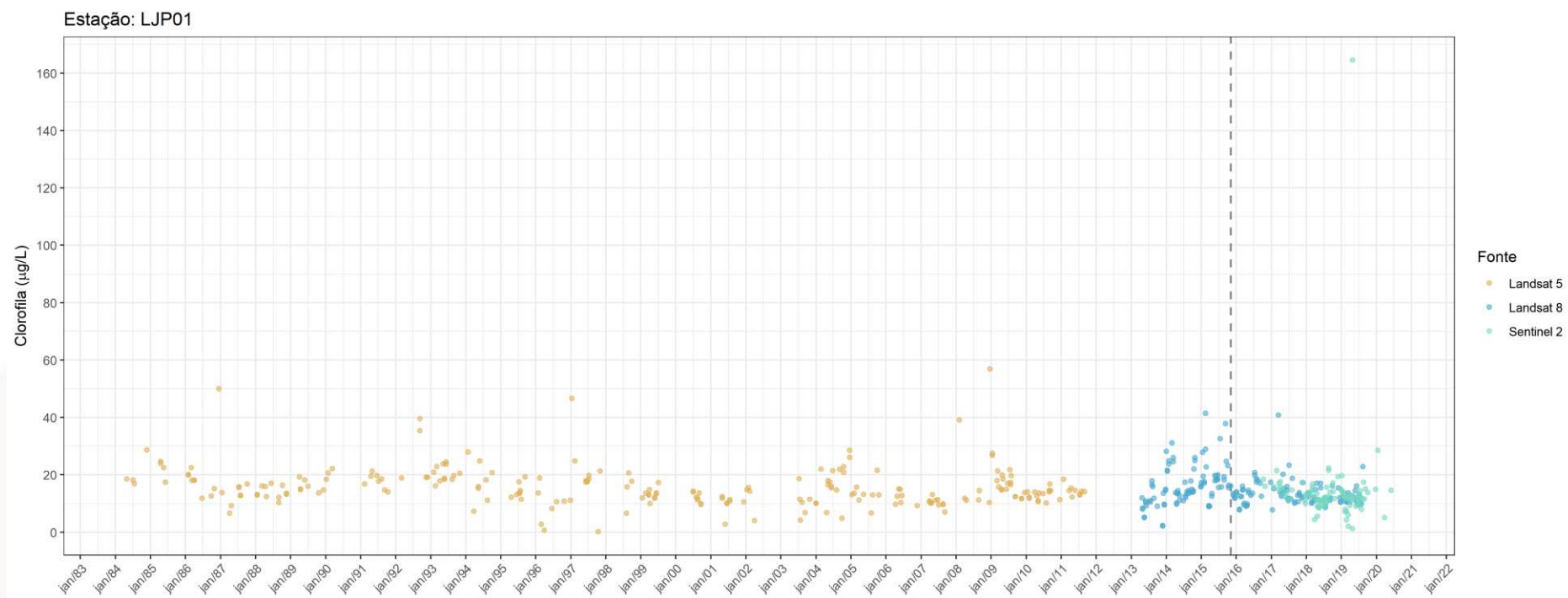
$$Qb = Qa * Ab / Aa$$

Onde:  $Q_b$  = Vazão do ponto “b”,  $Q_a$  = Vazão do ponto “a”,  $A_b$  = Área do ponto “b”,  $A_a$  = Área do ponto “a”.

Nestas duas estações os valores estiveram abaixo de 200 NTU, de um modo geral, sendo que em ocasiões pontuais ocorreram valores mais extremos (acima de 500 NTU). Não foi possível observar tendências sazonais de forma consistente como observado nas estações da lagoa Juparanã, entretanto, é evidente que os valores em geral são maiores que os da lagoa.

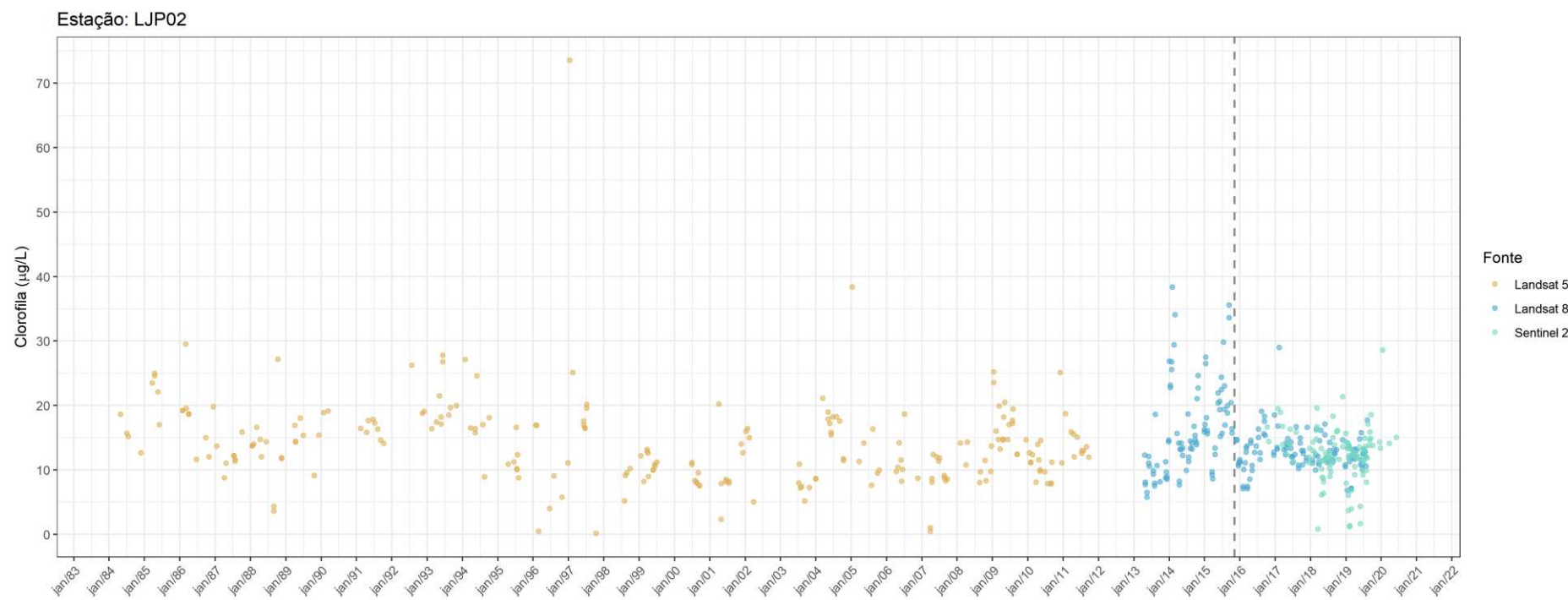
A seguir são apresentados os gráficos para o parâmetro clorofila-a, para as mesmas estações virtuais (Figura 80 até a Figura 88).

**Figura 80 - Série histórica de clorofila-a – Estação LJP01.**



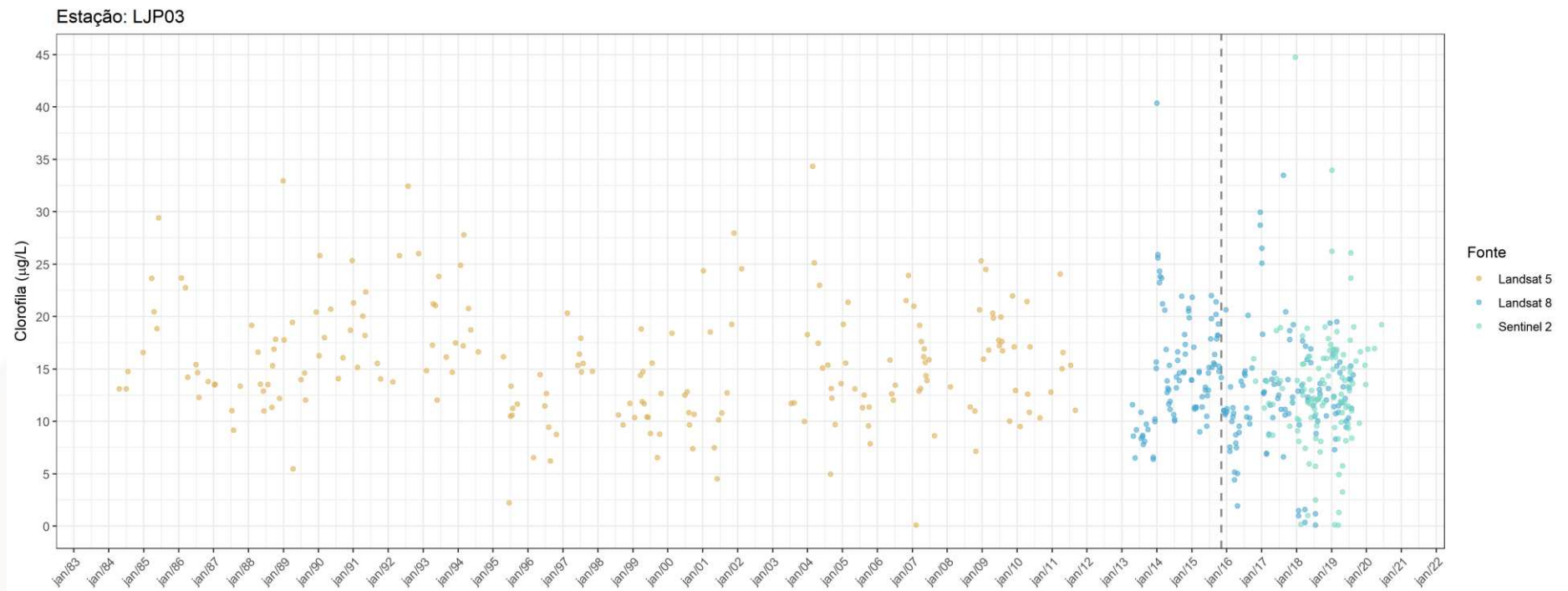
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 81** - Série histórica de clorofila-a – Estação LJP02.



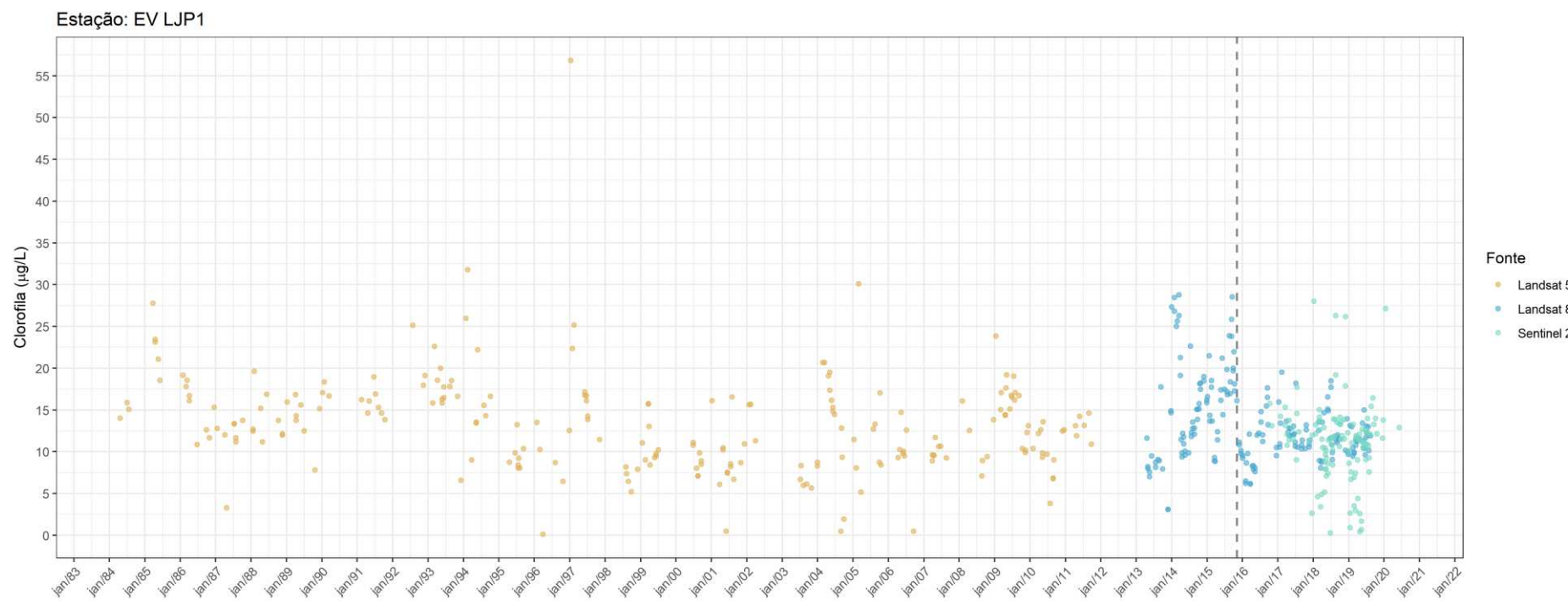
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 82 - Série histórica de clorofila-a – Estação LJP03.**



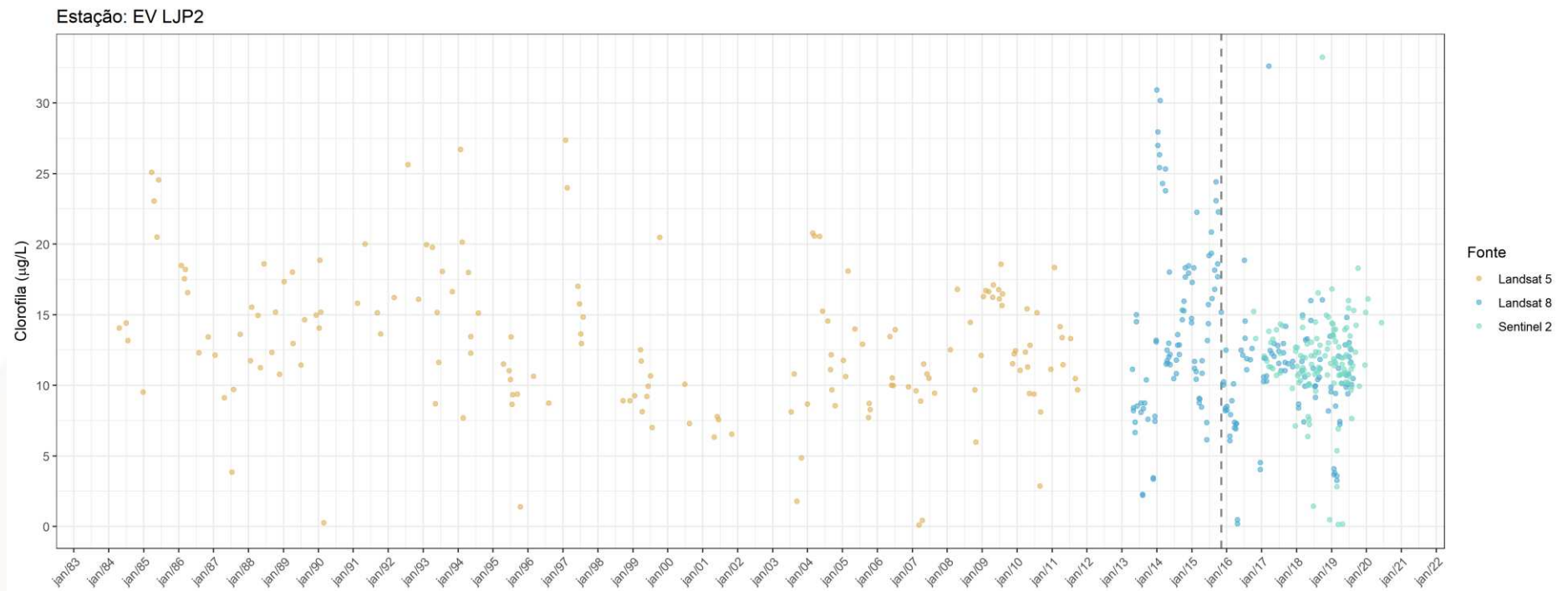
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 83** - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP1.



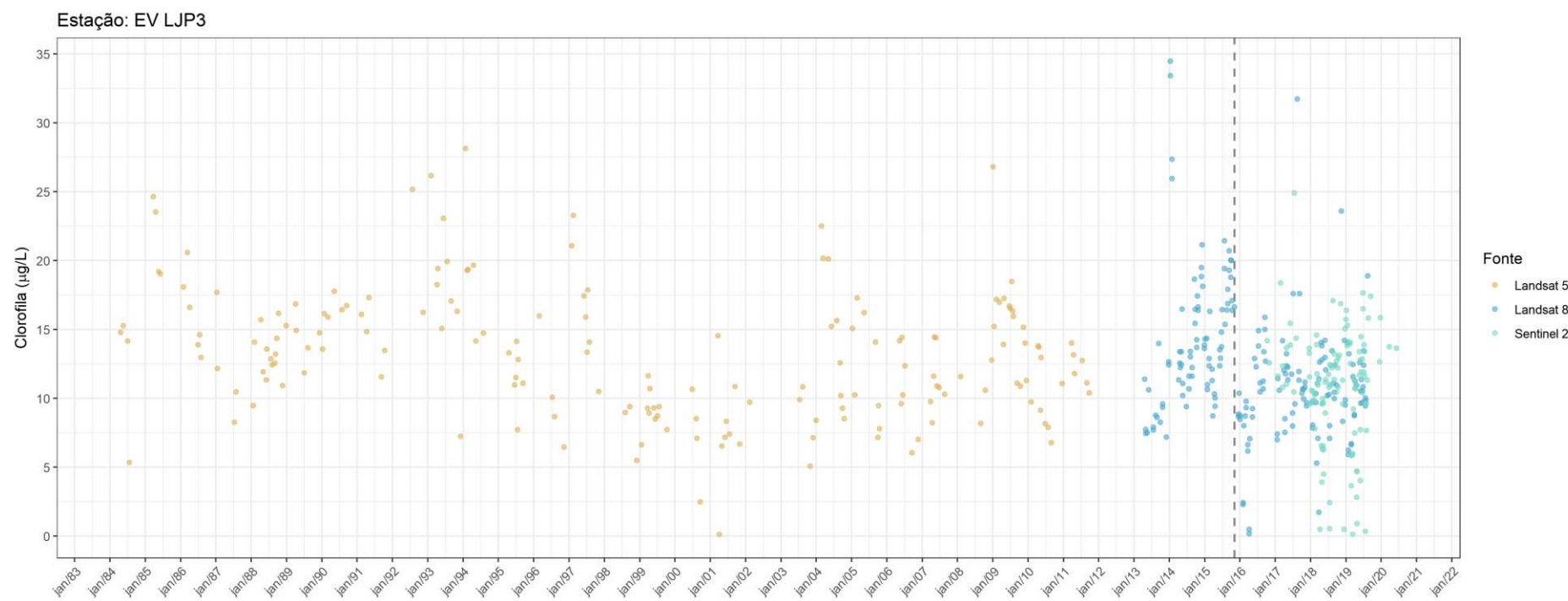
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 84** - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP2.



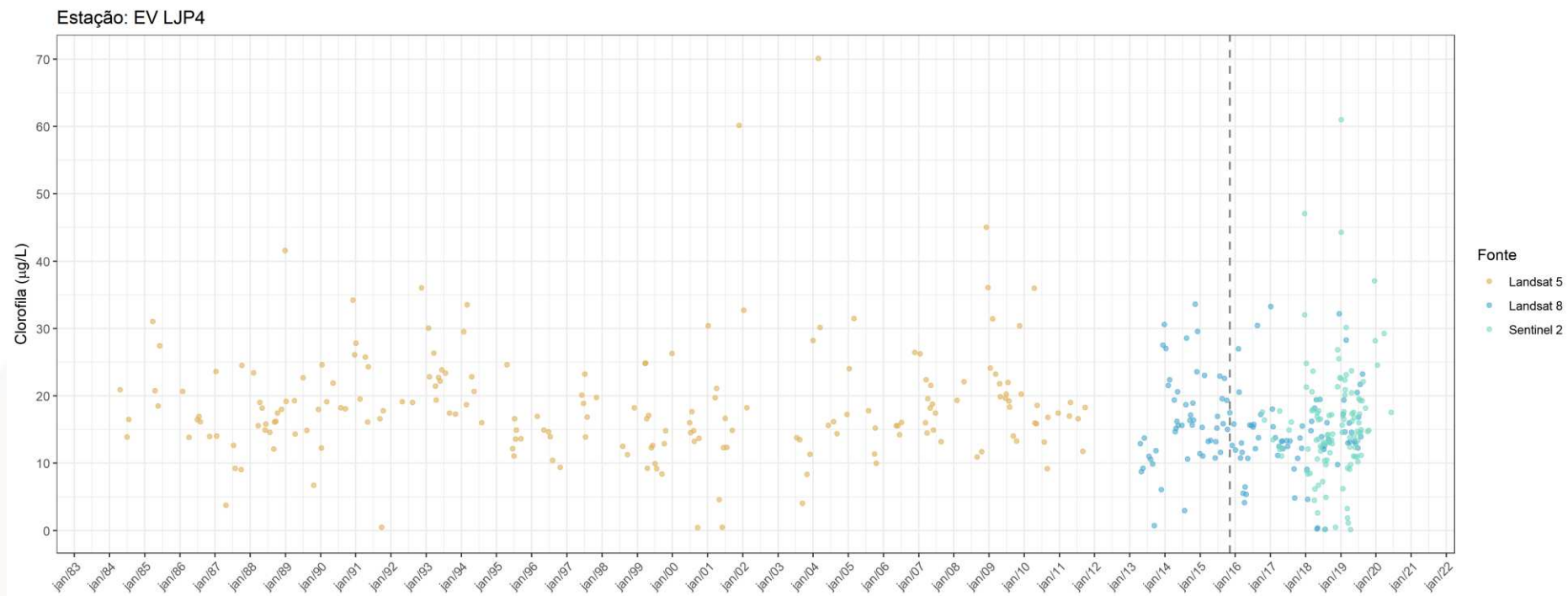
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 85** - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP3.



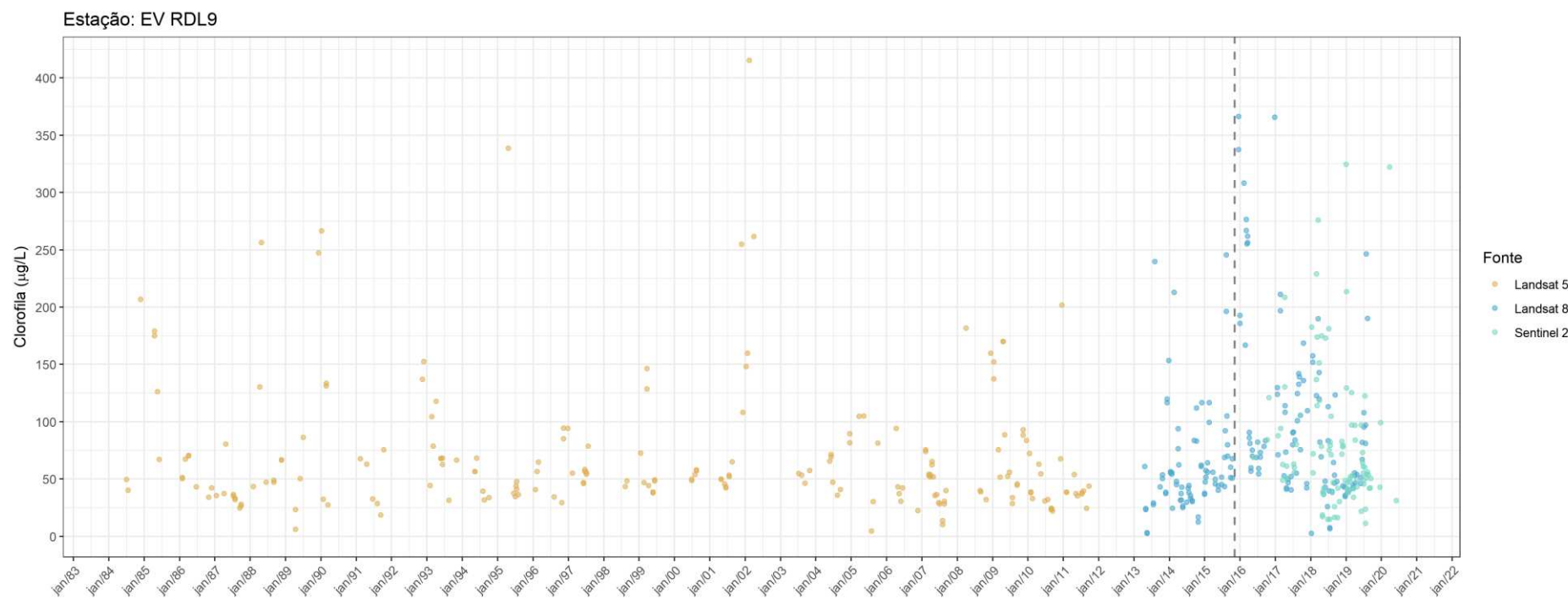
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 86 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP4.**



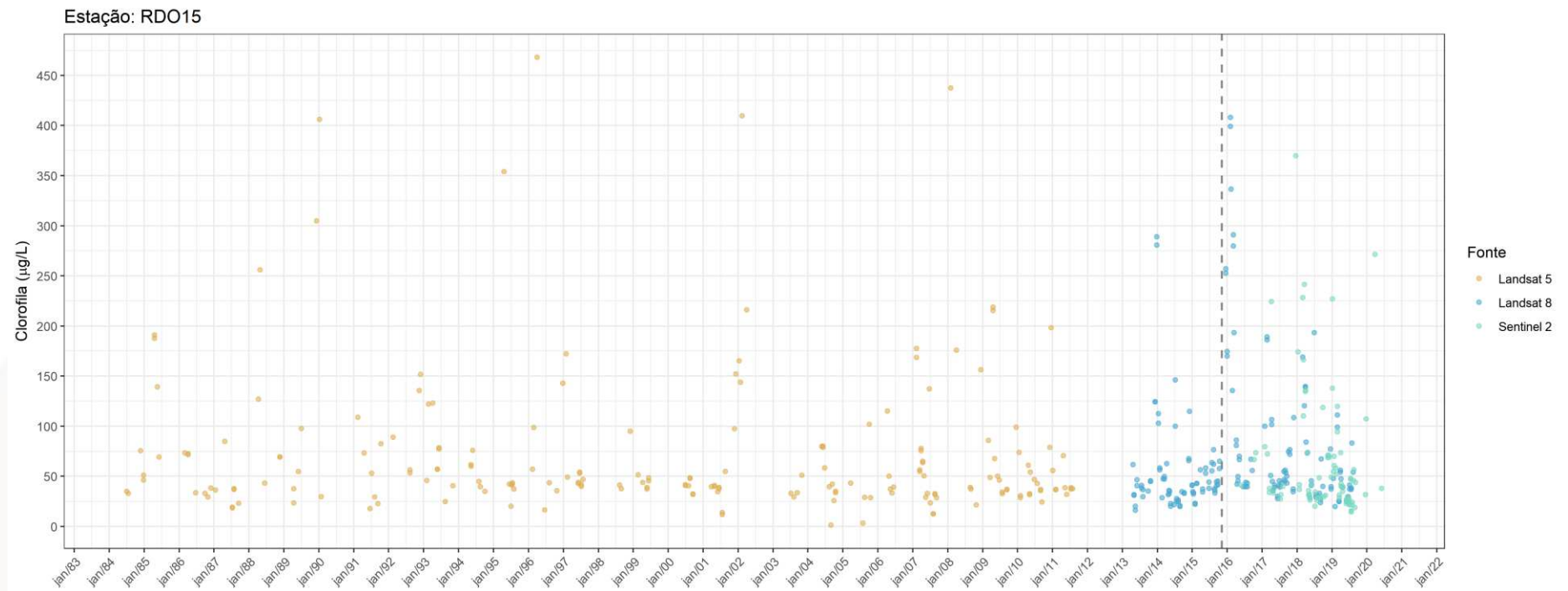
Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 87** - Série histórica de clorofila-a – Estação EV RDL9.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 88** - Série histórica de clorofila-a – Estação RDO15.



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

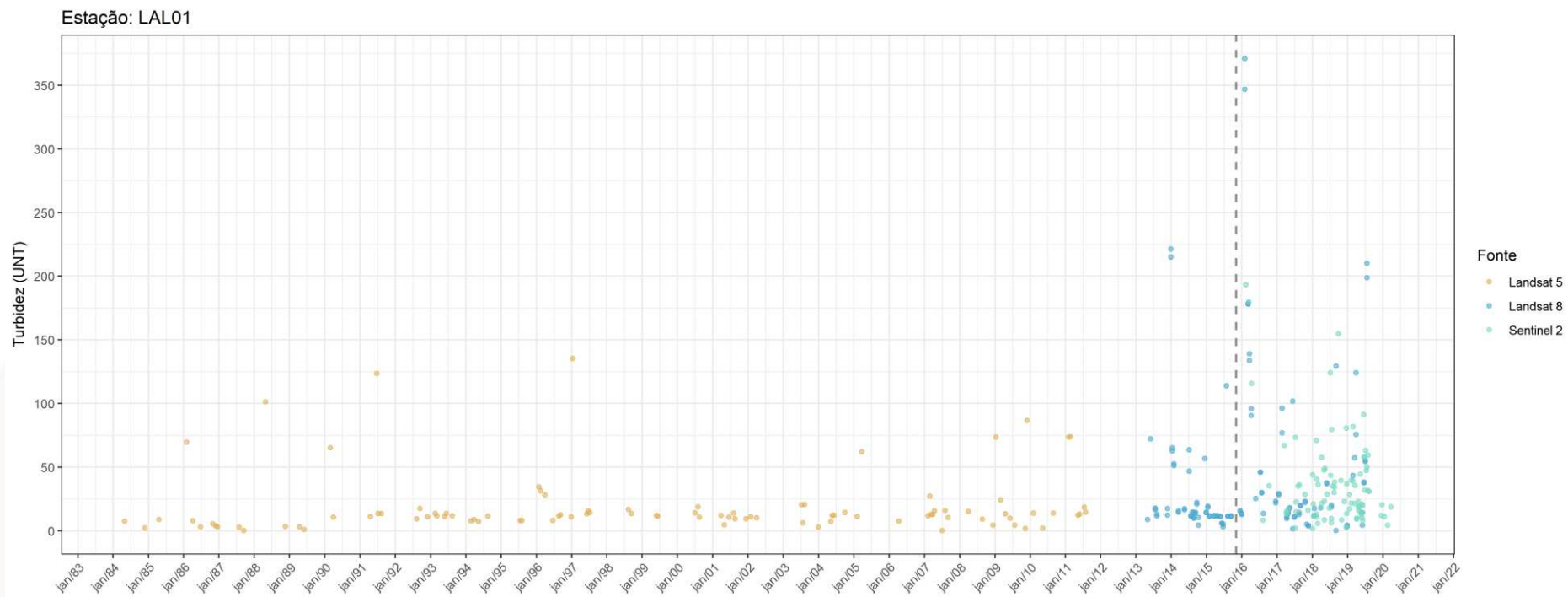
Ao contrário do parâmetro turbidez, não foi possível observar sazonalidade nos dados. Os valores flutuaram entre 0 e 40  $\mu\text{g/L}$  em todas as estações, salvo algumas ocorrências pontuais. Os pontos nos extremos da lagoa apresentaram os valores mais elevados, enquanto os pontos na área central apresentam os menores valores, demonstrando as diferenças entre as diversas áreas da lagoa.

Porém, nos dados das estações localizadas no rio Doce (Figura 87 e Figura 88) ao contrário do que ocorreu com turbidez, os valores ficaram de forma significativa acima dos valores vistos na lagoa Juparanã. Igualmente, nenhuma sazonalidade foi observada na distribuição dos dados.

#### 5.3.2.2.2 *Lagoas Areal, Areão e Monsarás*

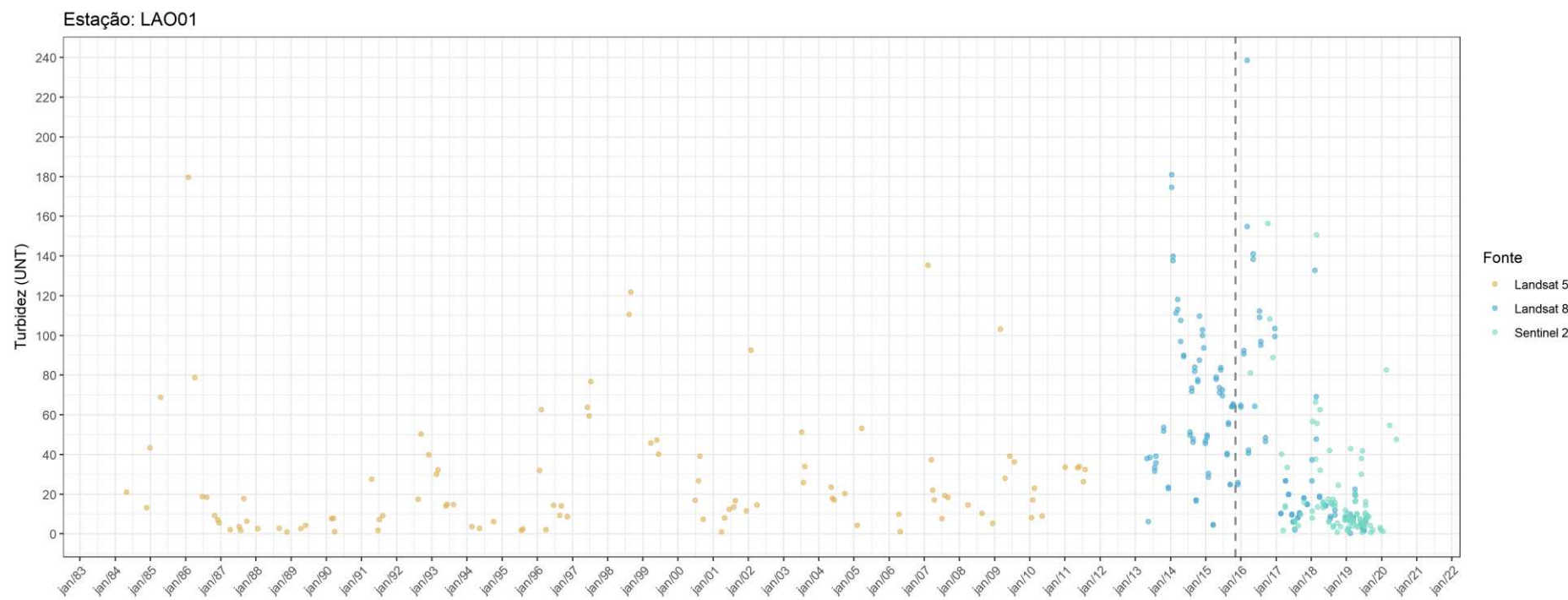
As estações virtuais avaliadas nas lagoas na região da foz do rio Doce foram: LAO01 e LAO02 (Areão); LAL01 (Areal); LMN01 e LMN02 (Monsarás). Além dessas, a estação EV RDL10 localizadas no rio Doce, próximo à foz, foi utilizada para comparação e determinação de possíveis correlações. As figuras mostram os dados de turbidez extraídos na série histórica de imagens (Figura 89 até a Figura 94).

**Figura 89 - Série histórica de turbidez – Estação LAL01.**



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).

**Figura 90 - Série histórica de turbidez – Estação LAO01.**



Fontes: Lactec, EOMAP (2020).