

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ARLA 32: USO DO NEGRO DE ERIOCROMO T COMO INDICADOR COLORIMÉTRICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ADULTERANTES.

QUALITY EVALUATION OF ARLA 32: USE OF RRIOCHROME BLACK T AS A COLORIMETRIC INDICATOR FOR THE IDENTIFICATION OF ADULTERANTS.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ARLA 32: USO DEL NEGRO DE ERIOCROMO T COMO INDICADOR COLORIMÉTRICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ADULTERANTES.

Evylla Homrich Lucena

Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Federal do Tocantins (UFT) Campus Gurupi. E-mail: evylla.homrich@uft.edu.br | [Orcid.org/0009-0004-3597-9711](https://orcid.org/0009-0004-3597-9711)

Mônica Alessandra Silva Alencar Marques

Doutora em Química Inorgânica. Professora Adjunta (DE) na Universidade Federal do Tocantins (UFT) Campus Gurupi. E-mail: moalencar@uft.edu.br | [Orcid.org/0009-0000-6595-193X](https://orcid.org/0009-0000-6595-193X)

Raquel Marchesan

Doutora em Engenharia Florestal. Professora Adjunta (DE) na Universidade Federal do Tocantins (UFT) Campus Gurupi. E-mail: raquelmarchesan@uft.edu.br | [Orcid.org/0000-0002-0129-2100](https://orcid.org/0000-0002-0129-2100)

Carla Jovania Gomes Colares

Doutora em Química Analítica. Professora Adjunta (DE) na Universidade Federal do Tocantins (UFT) Campus Gurupi. E-mail: carla.colares@uft.edu.br | [Orcid.org/0000-0002-1755-4224](https://orcid.org/0000-0002-1755-4224)

ABSTRACT:

The quality of Automotive NO_x Reducing Agent Liquid (ARLA 32) is essential for the proper functioning of Selective Catalytic Reduction (SCR) systems. However, adulteration practices compromise its efficiency, increasing pollutant emissions and causing severe damage to catalysts. This study investigated the use of Eriochrome Black T (EBT) indicator as a rapid screening strategy to identify adulteration in the field. A total of 20 real samples were analyzed, including one commercial sample and 19 obtained from inspections, in addition to 13 simulated adulteration conditions at ratios of 1:1, 1:3, and 3:1. The indicator exhibited a blue color in solution and variations to lilac, purple, and pink tones in adulterated samples, reflecting the complexation of EBT with Ca²⁺ and Mg²⁺ ions present in non-demineralized water and agricultural urea. Refractometric analysis confirmed a high level of non-compliance in field samples, which corroborates the loss of quality. The colorimetric observations allowed a clear distinction between ARLA 32 and the different levels of adulteration simulated in the laboratory, with greater chromatic intensity observed in the more diluted samples. It is concluded that the proposed method demonstrates simplicity, low cost, and sensitivity, representing a promising alternative for rapid screening at inspection stations, contributing to the strengthening of quality control actions and to the reduction of vehicular emissions.

KEYWORDS: ARLA 32, Adulteration, Visual analysis, Eriochrome Black T, Refractometry.

RESUMO:

A qualidade do Agente Redutor Líquido de NO_x Automotivo (ARLA 32) é fundamental para o correto funcionamento dos sistemas de Redução Catalítica Seletiva (RCS). Entretanto, práticas de adulteração comprometem sua eficiência, elevando as emissões de poluentes e causando danos severos aos catalisadores. Este estudo investigou o uso do indicador Negro de Eriocromo T (NET) como estratégia de triagem rápida para identificar adulterações em campo. Foram analisadas 20 amostras reais, sendo uma comercial e 19 provenientes de fiscalizações, além de 13 condições de adulteração simuladas nas proporções 1:1, 1:3 e 3:1. O indicador apresentou coloração azul em solução e variações para tons lilás, roxo e rosa em amostras adulteradas, refletindo a complexação do NET com íons cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) presentes em águas não desmineralizadas e na ureia agrícola. A análise refratrométrica confirmou um alto índice de desconformidade nas amostras de campo, o que corrobora com a perda de qualidade. As observações colorimétricas permitiram uma boa distinção entre o ARLA 32 e os diferentes níveis de adulterações simuladas no laboratório, com maior intensidade cromática nas amostras mais diluídas. Conclui-se que o método proposto demonstra simplicidade, baixo custo e sensibilidade, sendo uma alternativa promissora para a triagem rápida em postos de fiscalização, contribuindo para o fortalecimento das ações de controle de qualidade e para a redução das emissões veiculares.

PALAVRAS-CHAVE: ARLA 32, Adulteração, Análise visual, Negro de Eriocromo T, Refratometria.

RESUMEN:

La calidad del Agente Reductor Líquido de NO_x Automotriz (ARLA 32) es fundamental para el correcto funcionamiento de los sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (RCS). Sin embargo,

las prácticas de adulteración comprometen su eficiencia, aumentando las emisiones de contaminantes y causando daños severos a los catalizadores. Este estudio investigó el uso del indicador Negro de Eriocromo T (NET) como estrategia de cribado rápido para identificar adulteraciones en campo. Se analizaron 20 muestras reales, siendo una comercial y 19 provenientes de fiscalizaciones, además de 13 condiciones de adulteración simuladas en las proporciones 1:1, 1:3 y 3:1. El indicador presentó coloración azul en solución y variaciones hacia tonos lila, púrpura y rosa en muestras adulteradas, reflejando la complejación del NET con iones Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes en aguas no desmineralizadas y en la urea agrícola. El análisis refractométrico confirmó un alto índice de no conformidad en las muestras de campo, lo que corrobora la pérdida de calidad. Las observaciones colorimétricas permitieron una buena distinción entre el ARLA 32 y los diferentes niveles de adulteración simulados en el laboratorio, con mayor intensidad cromática en las muestras más diluidas. Se concluye que el método propuesto demuestra simplicidad, bajo costo y sensibilidad, siendo una alternativa prometedora para el cribado rápido en puestos de fiscalización, contribuyendo al fortalecimiento de las acciones de control de calidad y a la reducción de las emisiones vehiculares.

PALABRAS CLAVE: ARLA 32, Adulteración, Análisis visual, Negro de Eriocromo T, Refractometría.

INTRODUÇÃO

A preservação da qualidade do ar tornou-se um dos maiores desafios das sociedades modernas, principalmente devido ao impacto direto da poluição atmosférica na saúde pública e no equilíbrio dos ecossistemas. Nesse contexto, as emissões de veículos movidos a diesel representam uma fonte crítica de preocupação, com destaque para os óxidos de nitrogênio (NOx). Esses gases são agentes precursores de doenças respiratórias graves e contribuem para fenômenos ambientais nocivos, como a chuva ácida e a formação de ozônio troposférico (SANTOS et al., 2019).

Para enfrentar esse problema, no ano de 2012 o Brasil avançou em sua legislação ambiental com a implementação da fase P7 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Essa norma estabeleceu a obrigatoriedade do sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR, do inglês *Selective Catalytic Reduction*) em veículos pesados, tecnologia que depende do Agente Redutor Líquido Automotivo, popularmente conhecido como ARLA 32 (CNT, 2018). Composto por 32,5% de ureia técnica de alta pureza e água desmineralizada, o ARLA 32 atua no catalisador convertendo o NOx em substâncias como nitrogênio e vapor d'água, que são abundantes na atmosfera (INMETRO, 2010).

Entretanto, a eficácia dessa solução está ligada a pureza da sua composição, tendo em vista que a fabricação do ARLA 32 exige um controle rigoroso, seguindo as diretrizes da Instrução Normativa nº 23 do IBAMA e as especificações da norma ABNT NBR ISO 22241-1 (INMETRO, 2010). O uso de ureia agrícola ou de água que não atenda aos critérios de desmineralização compromete a reação química, resultando no aumento das emissões e em danos severos aos componentes internos do sistema de injeção e ao catalisador (MELO et al., 2015).

Apesar da importância desse controle, a prática de adulteração tem se tornado um obstáculo crescente para a sustentabilidade do setor de transportes. Diante desse risco, a refratometria consolidou-se como a ferramenta de campo mais utilizada para a determinação quantitativa do teor de ureia, permitindo aferir instantaneamente se o índice de refração da amostra está em conformidade com o padrão exigido (ALMEIDA, 2023). Entretanto, em situações de campo em que esse equipamento não está disponível, surge a necessidade de desenvolver estratégias de monitoramento alternativas que sejam simples, acessíveis e eficazes para o uso cotidiano.

Nesse contexto, a análise visual apresenta-se como um método de triagem essencial, permitindo a identificação imediata de irregularidades. Para elevar a confiabilidade dessa inspeção na ausência de instrumentos, a utilização do indicador químico Negro de Eriocromo T (NET) traz uma reação simples do NET com o ARLA, que permite detectar a presença de íons (cálcio e magnésio) provenientes de águas não desmineralizadas através da mudança de coloração, que varia do azul ao rosa/vinho conforme o nível de contaminação (AEA, 2015).

O uso desses indicadores é fundamental para a identificação qualitativa de metais alcalino-terrosos em amostras líquidas, uma vez que a transição de cor sinaliza a formação de complexos metálicos (SANTOS, 2023). Essa estratégia de observação visual oferece, um caminho viável e de baixo custo para garantir a qualidade do ARLA 32 no ponto de consumo, combatendo fraudes de forma rápida e assegurando que o compromisso ambiental do PROCONVE seja efetivamente cumprido.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação do indicador colorimétrico Negro de Eriocromo T (NET) como ferramenta de triagem rápida para a identificação qualitativa de adulterações simuladas em laboratório em amostras de ARLA 32, com base na transição de cor associada à formação de complexos metálicos.

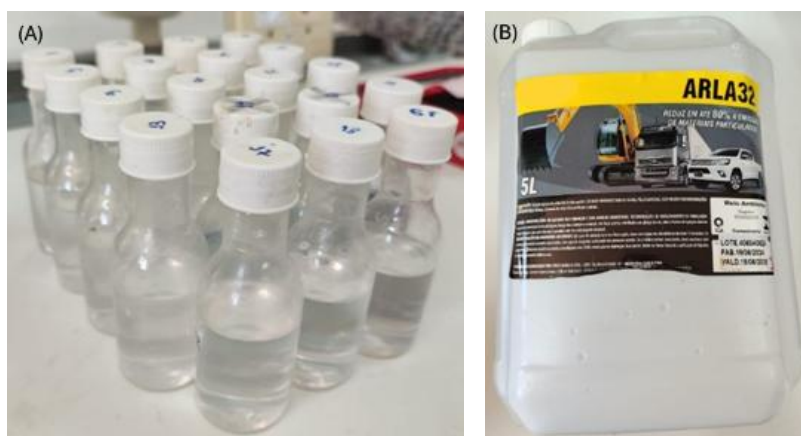
METODOLOGIA

Obtenção e Armazenamento das Amostras

Para a realização deste estudo, foram utilizadas 20 amostras de ARLA 32. Destas, 19 (identificadas de 1 a 19) representam o cenário real de campo, tendo sido obtidas por meio de doações de fiscalizações na região de Paraíso do Tocantins, em que foram retiradas diretamente de tanques de veículos pesados (caminhões) em circulação. A amostra de número 20 foi adquirida comercialmente (embalagem lacrada de 5 litros).

Realizou-se devidamente a identificação e armazenamento em recipientes apropriados, mantidos sob condições controladas de temperatura e protegidos da incidência direta de luz solar até o momento das análises (Figura 1).

Figura 1: Ilustração das amostras de ARLA 32.



(A): Amostras reais numeradas de 1 a 19. (B): Amostra número 20.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Análise Refratométrica do Teor de Ureia

A avaliação da concentração de ureia nas amostras foi realizada com o auxílio de um refratômetro óptico específico para ARLA 32 (Figura 2). Este equipamento fundamenta-se na medição do índice de refração de líquidos translúcidos, método amplamente consolidado para a determinação da concentração de soluções aquosas em campo (ALMEIDA, 2023). Os resultados foram obtidos na escala de graus Brix ($^{\circ}$ Brix), unidade que expressa a porcentagem de sólidos dissolvidos na solução, em que uma leitura de 32,5% Brix indica a conformidade rigorosa com os parâmetros de pureza estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 22241-1.

Figura 2: Refratômetro específico para análise de ARLA 32.



Fonte: Autoria própria, 2025.

O procedimento seguiu um protocolo de limpeza, fazendo a higienização do prisma do equipamento com água destilada e secando com papel absorvente macio antes de cada medição assegurando a precisão dos resultados obtidos. Para a análise, utilizou-se uma alíquota de

aproximadamente 2 mL de cada amostra, depositada sobre o prisma com o auxílio de uma pipeta. Após o fechamento do prisma, aguardou-se alguns segundos para ocorrer a distribuição uniforme da amostra sobre a superfície, procedendo-se então a leitura direta no visor.

Preparação das Adulterações e Ensaio para Análise Visual

Foi realizado a simulação de fraudes para avaliar a sensibilidade da detecção visual. Utilizou-se a amostra nº 20 (galão de ARLA 32 comercial) como padrão de referência e controle, por ser a única em conformidade com a norma ABNT NBR ISO 22241-1, em que serviu de base para a preparação das misturas com diferentes adulterantes, com o objetivo de simular condições reais de adulteração por diluição ou uso de insumos inadequados.

Para investigar o comportamento do indicador frente a diferentes níveis de adulteração, as misturas foram preparadas em três proporções volumétricas diferentes: 1:1 (partes iguais), 1:3 (uma parte de ARLA para três de adulterante) e 3:1 (três partes de ARLA para uma de adulterante). No total, foram testadas 13 condições de adulteração para cada proporção, além do grupo controle, conforme descrito:

- Oito marcas distintas de águas minerais comerciais (números 1 a 8);
- Água de torneira e água filtrada (UFT) (números 9 e 10);
- Solução de carbonato cálcio e magnésio com concentração final de 400 mg L⁻¹ (número 11);
- Solução de ureia agrícola granulada (32% m v⁻¹), utilizada sem mistura para avaliar o comportamento do insumo não automotivo (número 12);
- Água destilada e grupo controle (números 13 e 14).

Após a homogeneização, procedeu-se ao ensaio colorimétrico, em que foram utilizados tubos de ensaio contendo as diferentes proporções. Em seguida, foram adicionados 250 µL de solução tampão (amônia/cloreto de amônio 0,3 mol L⁻¹, pH 10) para estabilização do meio reacional. Na sequência, adicionou-se 10 µL do indicador Negro de Eriocromo T (NET).

Realizou-se a homogeneização por agitação mecânica, e assim as amostras foram submetidas a análise visual, cujo objetivo foi observar a transição da coloração azul (característico da amostra conforme) para tons de lilás, roxo ou rosa/vinho (indicativos de presença de contaminantes minerais). Todos os experimentos foram realizados em triplicata, totalizando 126 ensaios para a avaliação da percepção visual de cor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação Refratométrica e Definição do Padrão

Inicialmente, a análise das 20 amostras tem seus resultados expressos na Tabela 1, destacando que apenas a amostra nº 20 (comercial) apresentou leitura de 32 °Brix, aproximando-se do índice de 32,5% exigido pela norma ABNT NBR ISO 22241-1. As demais provenientes de doações de fiscalização em caminhões, apresentaram variações significativas.

As amostras de campo se encontravam armazenadas há cerca de três anos, com seus prazos de validade extrapolados. Esse fator corrobora para a não conformidade observada, já que o ARLA 32 é sensível ao tempo de armazenamento e a variações de temperatura, que podem causar a hidrólise da ureia e a formação de precipitados, comprometendo a pureza necessária para a preservação do sistema SCR e a redução efetiva de NOx (MELO et al., 2015). Conforme destacado por Almeida (2023), o armazenamento inadequado e o vencimento do produto alteram suas propriedades físico-químicas essenciais. Com base nessa validação, a amostra nº 20 foi consolidada como o único controle positivo e padrão de referência para os ensaios subsequentes.

Tabela 1 - Resultados das análises de ARLA 32 em graus Brix.

Amostra	°BRIX
Amostra 1	36
Amostra 2	37
Amostra 3	35
Amostra 4	36
Amostra 5	36
Amostra 6	35
Amostra 7	36
Amostra 8	40
Amostra 9	38
Amostra 10	35
Amostra 11	36
Amostra 12	38
Amostra 13	36
Amostra 14	38
Amostra 15	38
Amostra 16	37
Amostra 17	35
Amostra 18	36

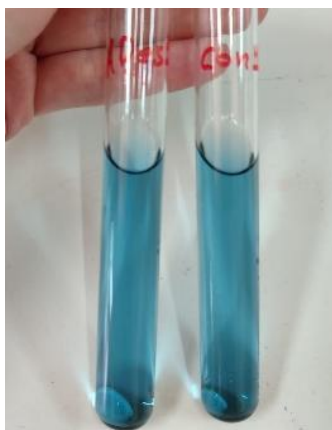
Amostra 19	36
Amostra 20	32

Fonte: Autoria própria, 2025.

Análise Visual e Comportamento do Indicador NET

A etapa de análise visual permitiu identificar a sensibilidade do indicador Negro de Eriocromo T (NET) frente a diferentes adulterantes e proporções de mistura. O fundamento dessa detecção reside na capacidade do NET de atuar como um indicador metalocrômico. Em meio tamponado (pH 10), o indicador assume uma coloração azul em sua forma livre, o que foi observado nitidamente no grupo controle (ARLA 32 puro) e na mistura com água destilada, indicando a ausência de íons interferentes (Figura 3).

Figura 3 – Adulteração com água destilada e grupo controle respectivamente.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Entretanto, conforme descrito por Santos (2023), a presença de íons divalentes como Ca^{2+} e Mg^{2+} , típicos de águas potáveis e minerais, promove a formação de complexos estáveis com o indicador. Esse processo químico altera a absorção de luz da solução, resultando em uma mudança cromática nítida para tons de lilás, roxo ou rosa/vinho.

As demais amostras, foram preparadas com o intuito de simular cenários reais, como por exemplo, ação de motoristas de veículos pesados que buscam alternativas de baixo custo para substituir ou adulterar o ARLA 32. A Figura 4 ilustra as mudanças nítidas de coloração.

Figura 4 – Adulterações na proporção 1:1 com a presença do indicador.



(A): Águas minerais de 1 a 4. (B): Águas minerais de 5 a 8. (C): Águas da torneira (9) e filtrada (10), soluções de carbonato de cálcio (11) e ureia agrícola (12), a direita água destilada (13) e controle (14).

Fonte: A autoria própria, 2025.

A interpretação dos resultados foi estruturada com base na intensidade das cores observadas, permitindo classificar qualitativamente da seguinte forma:

1. Tons de rosa/vinho: As amostras contendo as Águas Minerais enumeradas 1 e 3, a ureia agrícola e a solução de carbonato de cálcio apresentaram uma transição completa para o rosa. No caso da ureia agrícola, a cor confirma a presença de altos índices de contaminantes minerais inerentes ao fertilizante, que não possui o grau de pureza automotiva exigido (ALMEIDA, 2023). A solução de carbonato de cálcio serviu como simulação de água dura, representando as águas de poços artesianos, demonstrando que o indicador satura em tons de rosa na presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} .
2. Nuances de lilás a roxo: As águas minerais identificadas como 4, 5, 7 e 8, juntamente com as amostras de água de torneira e água filtrada (UFT), exibiram tons intermediários. Essa variação indica uma concentração significativa de sais, típica de águas para consumo humano que não são submetidas ao processo de desmineralização. De acordo com a cartilha da AEA (2015), a introdução dessas águas no sistema SCR inicia processos de calcificação e obstrução dos bicos injetores.
3. Azul com nuances roxas: As águas minerais com numeração 2 e 6 apresentaram uma coloração muito próxima a do controle, com um tom de azul levemente voltado para o roxo. Ao confrontar esse resultado com os rótulos de composição química das marcas, verificou-se que ambas possuíam índices de cálcio e magnésio consideravelmente menores do que as outras águas testadas. Esse dado é crucial, pois demonstra que, embora a fraude seja menos evidente a olho nu nessas marcas, o indicador ainda detecta a inconformidade, mesmo que de forma sutil.

As adulterações testadas foram planejadas para representar situações cotidianas. O uso de águas minerais, de torneira ou filtradas representa a tentativa comum de reduzir custos ou a falta de acesso ao produto original em rotas de transporte. Da mesma forma, a substituição por ureia agrícola é uma prática fraudulenta recorrente devido a diferença de valores comerciais entre o fertilizante e o reagente automotivo.

Entretanto, como demonstra o estudo de Melo et al. (2015), essas misturas "caseiras" resultam em emissões de NO_x fora dos limites legais e danos irreversíveis ao catalisador. A transição de cor observada em todas as proporções (1:3, 1:1 e 3:1) prova que a observação visual auxiliada pelo indicador NET, é capaz de realizar uma triagem eficiente. Mesmo naquelas águas com baixa mineralização (amostras 2 e 6), a quebra da pureza do azul original sinaliza que o fluido não é ARLA 32 autêntico, garantindo a proteção do veículo e do meio ambiente conforme preconizado pelo PROCONVE P7 (CNT, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que a análise visual, aliada com o indicador Negro de Eriocromo T (NET), é uma ferramenta de triagem rápida altamente eficaz para detectar adulterações no ARLA 32. A técnica baseia-se na mudança nítida de coloração do azul (padrão) para tons de rosa intenso que ocorre quando o indicador reage na presença de íons metálicos. Esta abordagem permite identificar de imediato o uso de águas não desmineralizadas ou de ureia agrícola, práticas que comprometem o sistema SCR e aumentam a emissão de poluentes.

A pesquisa revelou que a intensidade da cor varia proporcionalmente ao nível de fraude, sendo as tonalidades de rosa mais acentuadas em adulterações severas. Este fator confirmou que, mesmo adulterações sutis ou degradações pelo tempo podem ser percebidas visualmente, uma vez que a quebra da pureza do azul original sinaliza a presença de íons interferentes.

Conclui-se que o método proposto é uma solução estratégica amplamente utilizada em postos de fiscalização rodoviária, em que o acesso a equipamentos laboratoriais complexos é limitado. Ao conciliar a simplicidade operacional ao baixo custo, esta técnica elimina a subjetividade da inspeção sensorial comum e oferece um diagnóstico cromático imediato. Assim, a aplicação desta metodologia no ponto de consumo contribui para a preservação mecânica dos veículos e assegura o cumprimento das normas do PROCONVE P7, protegendo a saúde pública e os ecossistemas.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro recebido da PROPESQ/UFT.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 22241-1**: Motores diesel - Agente redutor líquido automotivo NO_x - ARLA 32 - Parte 1: Requisitos de qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

AEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA. **Cartilha de conscientização pública do uso do Arla 32**. São Paulo: AEA, 2015. Disponível em: <http://www.aea.org.br>. Acesso em: 20 fev. 2026.

ALMEIDA, L. R. **Avaliação de parâmetros físico-químicos do Arla 32 comercializado no município de Palotina**. 2023. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2023.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Arla 32: uso correto**. Brasília: CNT/SEST/SENAT, 2018. (Programa Ambiental do Transporte - Despoluir).

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Instrução Normativa nº 23, de 11 de julho de 2009**. Estabelece as especificações do Agente Redutor Líquido de NOx Automotivo - ARLA 32. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2009.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria n.º 447, de 22 de novembro de 2010**. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Agente Redutor Líquido de NOx Automotivo - ARLA 32. Rio de Janeiro: Inmetro, 2010.

MELO, T. C. C. et al. Efeito da qualidade da solução de ARLA 32 na eficiência do SCR, nas emissões de NOx e no sistema de injeção de ARLA. In: **Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva (SIMEA)**, 2015, São Paulo. Blucher Engineering Proceedings. São Paulo: Blucher, 2015. v. 2, n. 1, p. 544-559.

SANTOS, H. L. et al. Relação entre poluentes atmosféricos e suas consequências para a saúde. **Intr@Ciência – Revista Científica**, Guarujá, v. 17, n. 1, p. 3-7, mar. 2019.

SANTOS, L. C. **Uso de imagens digitais na determinação quantitativa de fósforo, potássio, matéria orgânica, cálcio e magnésio em solo**. 2023. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.