

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO PRÓ-REITORIA
DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE -
MESTRADO PROFISSIONAL - CAMPUS RIO VERDE**

**AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE
VEÍCULOS NA CIDADE DE RIO VERDE - GO**

**Autor: Alex Moreira do Vale
Orientador: Dr. Édio Damásio da Silva Júnior**

ALEX MOREIRA DO VALE

**AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE
VEÍCULOS NA CIDADE DE RIO VERDE - GO**

Projeto apresentado à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, do Instituto Federal Goiano como exigência para banca final do Mestrado do PPGEAS.

Orientador: Dr. Édio Damásio da Silva Júnior

RIO VERDE-GO

ANO 2026

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

☐ Tese (doutorado)	☐ Artigo científico
☒ Dissertação (mestrado)	☐ Capítulo de livro
☐ Monografia (especialização)	☐ Livro
☐ TCC (graduação)	☐ Trabalho apresentado em evento
☐ Produto técnico e educacional - Tipo:	
Nome completo do autor: Alex Moreira do Vale	Matrícula: 2024102331440008
Título do trabalho: AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS NA CIDADE DE RIO VERDE - GO	

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: /06/2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 ALEX MOREIRA DO VALE
Data: 26/06/2026 13:10:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

/06/2026
Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
 EDIO DAMASIO DA SILVA JUNIOR
Data: 29/06/2026 10:28:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 16/2026 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 103
Data: 29/05/2026	Hora de início: 14:00h	Hora de encerramento: 18:00h
Matrícula do discente:	2024102331440008	
Nome do discente:	Alex Moreira do Vale	
Título do trabalho:	AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS NA CIDADE DE RIO VERDE - GO	
Orientador:	Edio Damásio da Silva Junior	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Linha de Pesquisa:	Gestão e Tecnologias Ambiental	
Projeto de pesquisa de vinculação	AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS NA CIDADE DE RIO VERDE - GO	
Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Edio Damásio da Silva Junior (Presidente da banca), Prof. Dr. Andriane de Melo Rodrigues (Avaliador Interno) e Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga (Avaliador Externo) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada de forma online, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **ALEX MOREIRA DO VALE**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Edio Damásio da Silva Junior, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Edio Damasio da Silva Junior, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMEAS-RV**, em 29/05/2026 15:18:47.
- **Andriane de Melo Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 29/06/2026 18:06:03.
- **Klebber Teodomiro Martins Formiga, Klebber Teodomiro Martins Formiga - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Goiás (01567601000143)**, em 30/06/2026 14:13:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/05/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 821931
Código de Autenticação: dd9781afca





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 15/2026 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS NA
CIDADE DE RIO VERDE - GO**

Autor: Alex Moreira do Vale
Orientador: Prof. Dr. Edio Damásio da Silva Junior

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de Concentração Engenharia Aplicada
e Sustentabilidade

APROVADO em 29 de maio de 2026.

Prof. Dr. Andriane de Melo Rodrigues
Avaliador Interno
IFGOIANO / Rio Verde

Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins
Formiga
Avaliador Externo
Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Edio Damásio da Silva Junior
Presidente da banca
IFGOIANO / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Edio Damasio da Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 29/06/2026 10:24:40.
- Andriane de Melo Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 29/06/2026 18:06:18.
- Klebber Teodomiro Martins Formiga, Klebber Teodomiro Martins Formiga - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Goiás (01567601000143), em 30/06/2026 14:18:21.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/05/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 821937
Código de Autenticação: b28218b118



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me deu forças e sabedoria para mais essa etapa da minha vida e aos meus familiares por todo apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha namorada Yasmin Souza Prates, a meus pais Jorge Barcellos Mota e Elaine Moreira Meneses, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho, por todo companheirismo. Agradeço a Deus por ter me dado a chance de ter chegado até aqui e concluído com êxito esse desafio.

Agradeço ao meu orientador, Édio Damásio da Silva Júnior, por todo o auxílio e dedicação. Agradeço a todos que fizeram parte direta ou indiretamente deste trabalho.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao Instituto Federal Goiano, cuja contribuição foi fundamental para a conclusão deste trabalho, fornecendo o conhecimento necessário. Sou imensamente grato ao FAPEG, CAPES e CNPq, pela valiosa oportunidade de realizar pesquisas e desenvolver novos trabalhos inovadores.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a demanda hídrica associada aos empreendimentos de lavagem de veículos no município de Rio Verde (GO), com ênfase na exploração de águas subterrâneas. A metodologia integrou dados de outorgas obtidos no Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SIRHGO) e informações coletadas por meio de visitas in loco aos estabelecimentos. Foram levantados dados referentes ao consumo hídrico, à tipologia dos sistemas de lavagem, ao perfil de atendimento e às práticas de gestão adotadas, os quais foram posteriormente tratados e espacializados com o auxílio do software QGIS. Os resultados evidenciaram a predominância de sistemas semiautomáticos de lavagem, bem como uma forte dependência da captação de águas subterrâneas. A demanda hídrica total estimada foi de 156.894,40 m³/mês, valor significativamente superior ao volume outorgado de 102.670,42 m³/mês, indicando uma possível discrepância entre o consumo real e os limites regulatórios estabelecidos. Dessa forma, verifica-se que a atividade de lavagem de veículos constitui um uso hídrico relevante no contexto local, com potencial de pressão sobre os recursos subterrâneos. Os achados reforçam a necessidade de adoção de tecnologias mais eficientes, bem como do aprimoramento de políticas públicas e instrumentos de gestão que promovam o uso sustentável dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: outorgas, lençol freático, demanda hídrica.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the water demand associated with vehicle washing businesses in the municipality of Rio Verde (GO), Brazil, with emphasis on the exploitation of groundwater resources. The methodology integrated water use permit data obtained from the Water Resources Information System of the State of Goiás (SIRHGO) with information collected through on-site visits to establishments. Data regarding water consumption, types of washing systems, service profiles, and management practices were gathered and subsequently processed and spatially analyzed using QGIS software. The results showed a predominance of semi-automatic washing systems, as well as a strong dependence on groundwater abstraction. The total estimated water demand was 156,894.40 m³/month, a value significantly higher than the granted abstraction volume of 102,670.42 m³/month, indicating a possible discrepancy between actual consumption and established regulatory limits. Thus, vehicle washing activities represent relevant water use in the local context, with potential pressure on groundwater resources. The findings highlight the need for the adoption of more efficient technologies, as well as improvements in public policies and management instruments that promote the sustainable use of water resources.

KEYWORDS: permits, groundwater, water demand.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Justificativa	10
1.2. Revisão de literatura	12
1.2.1 Legislação ambiental aplicada à lavagem de veículo	12
1.2.2 Geoprocessamento aplicado.....	13
1.2.3 Bacias hidrográficas e outorgas.....	14
1.2.4 Tipos de lavagem de veículos.....	16
1.2.5 Valores de referência	18
1.2.6 Águas subterrâneas	20
2. OBJETIVO	21
2.1 Objetivo Geral	21
2.2 Objetivos específicos	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
3. CAPÍTULO I.....	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30
.....	30
3.1 Introdução	31
3.2 Metodologia	32
3.2.1 Área de estudo	32
3.2.2 Outorgas de uso da água.....	34
3.2.3 Avaliação in loco.....	35
3.3 Resultados e Discussão	36
3.3.1 Outorgas de uso da água.....	36
3.3.2 Estimativa do consumo de água em campo.....	39
3.3.3 Distribuição espacial e gestão das águas subterrâneas	41
3.4 Conclusão	46
Referências bibliográficas	47
4 APÊNDICE	52
4.1 Questionário para Coleta de Informações sobre Lavagem de Veículos	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros para reúso em lavagem de automóveis	13
Tabela 2. Média de recursos hídricos para cada tipo de lavagem de automóveis	16
Tabela 3. Dados de lavagem de automóveis.....	19
Tabela 4. Dados para tempo médio na lavagem dos veículos	19
Tabela 5. Média de litros por minutos referentes aos lava jatos.....	19
Tabela 6. Dados de empresas de lavagem de carros obtidos durante visitas in loco.....	39
Tabela 7. Consumo estimado de água dos empreendimentos de lavagem de veículos no município de Rio Verde, com base no levantamento realizado em campo.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagem do processo de lavagem manual de veículos.	17
Figura 2. Imagem do processo de lavagem semiautomática de veículos.	17
Figura 3. Imagem do processo de lavagem automática.	18
Figura 4. Imagem do processo de lavagem por Rollover.	18
Figura 5. Localização do município de Rio Verde, Brasil	33
Figura 6. Imagem de satélite do município de Rio Verde mostrando a localização das outorgas de uso da água emitidas para empreendimentos de lavagem de veículos.	37
Figura 7. Mapa de calor dos volumes de extração de águas subterrâneas pelos empreendimentos de lavagem de veículos no município de Rio Verde.	42

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A água doce é um recurso essencial para o desenvolvimento da humanidade, desempenhando papel fundamental na manutenção dos sistemas naturais e na sustentação das atividades humanas. Sua conservação é indispensável tanto para o equilíbrio ambiental quanto para o atendimento às necessidades da população, que depende diretamente desse recurso para o consumo cotidiano e para o desenvolvimento de atividades econômicas. No entanto, a intensificação da degradação das fontes hídricas, decorrente da poluição, do desmatamento e do uso inadequado da água, não compromete apenas sua disponibilidade, mas também afeta a biodiversidade e o equilíbrio ambiental como um todo.

Nesse contexto, o crescimento populacional se apresenta como um fator determinante para a intensificação do uso dos recursos naturais, especialmente da água. À medida que a população aumenta, eleva-se também a demanda por esse recurso, tanto para o consumo humano quanto para a realização das atividades cotidianas. De acordo com dados do Governo Federal (2023), a população brasileira registrou um crescimento acumulado de 6,5% no período de 2010 a 2022. Esse crescimento populacional se reflete diretamente no aumento da frota de veículos dentro das cidades, ampliando a pressão sobre os sistemas urbanos e ambientais.

Confirmando esse cenário, estudo realizado em 2024 pelo Departamento Estadual de Trânsito (Detran) estimou que a frota de automóveis no Brasil apresentou crescimento de aproximadamente 4%. O aumento da frota veicular não implica apenas maiores desafios de mobilidade urbana, mas também um crescimento indireto da demanda por serviços associados, entre eles a lavagem de veículos. Embora frequentemente negligenciada nas discussões sobre uso da água, essa atividade pode representar um consumo expressivo de disponibilidade hídrica, especialmente em centros urbanos em expansão.

O setor da lavagem de veículos apresenta um elevado consumo hídrico, porém recebe uma menor atenção nos estudos de gestão dos recursos hídricos. De acordo com estudo realizado por Monney et al. (2020) em sete estações de lavagem analisadas, o consumo diário de água variou entre 2.395 L e 15.480 L. Observa-se, ainda, que a lavagem de um único automóvel de passeio pode demandar, em média, cerca de 150 L de água e aproximadamente 55 minutos para sua conclusão. Esses dados evidenciam o expressivo consumo associado a essa atividade

e reforçam a necessidade de repensar práticas cotidianas, bem como de buscar alternativas mais sustentáveis para o uso da água nesse setor.

Os impactos do uso intensivo das águas subterrâneas não se restringem a um contexto local, constituindo uma preocupação global em regiões urbanas que dependem desse recurso. Estudo realizado em Marrakech, no Marrocos, por Analy (2021), evidenciou a importância de pesquisas voltadas ao crescente consumo de águas subterrâneas ao demonstrar que, entre os anos de 1962 e 2019, ocorreu um declínio de aproximadamente 41,3% do volume total de água disponível no lençol freático, além de um rebaixamento de até 37 metros em áreas consideradas críticas, tendo grande parte dessa redução ocorrido no período de 2002 a 2019. Embora o referido estudo não trate diretamente do consumo de água associado à lavagem de veículos, seus resultados reforçam a relevância da quantificação da água subterrânea utilizada pelas atividades urbanas, uma vez que o aumento expressivo da demanda hídrica está fortemente relacionado a esses usos.

Embora os impactos da exploração das águas subterrâneas sejam observados em escala mundial, essa problemática também se manifesta em diversas regiões brasileiras, incluindo o estado de Goiás. De acordo com Castro e Santos (2022), a Bacia Hidrográfica do Rio Verdão, localizada no estado de Goiás, apresenta 156 captações diretas de água devidamente outorgadas, concentradas predominantemente nas porções norte, sul e oeste da bacia. Essas captações totalizam uma vazão de $14.448,1 \text{ L s}^{-1}$ em uma área de 12.912 km^2 . Do volume total captado, aproximadamente 61% destinam-se à irrigação, ao passo que apenas 7% são direcionados ao abastecimento público. Tais dados evidenciam a elevada pressão exercida sobre os recursos hídricos da bacia e reforçam a necessidade urgente de implementação de políticas e campanhas voltadas à racionalização do consumo e ao estímulo ao reúso da água.

No município de Rio Verde (GO), ainda são escassos estudos que dimensionem o volume das reservas subterrâneas destinadas às atividades de lavagem de veículos, o que evidencia uma importante lacuna no conhecimento sobre o uso local das reservas de água. A inexistência dessa quantificação dificulta a compreensão do impacto real dessa atividade, que pode representar um consumo significativo ao longo do ano. Nesse contexto, o estudo se propõe a quantificar a demanda hídrica desses empreendimentos, buscando gerar informações que sirvam de base para o planejamento e a gestão sustentável da água, além de ajudar na formulação de políticas públicas e incentivar a adoção de práticas ambientalmente adequadas no setor.

1.2. Revisão de literatura

1.2.1 Legislação ambiental aplicada à lavagem de veículo

A regulamentação das atividades de lavagem de veículos no Brasil ainda apresenta lacunas significativas, uma vez que não existe uma legislação específica em âmbito nacional que discipline de forma uniforme esse tipo de empreendimento. Essa ausência normativa torna-se especialmente relevante quando considerados a intensificação das demandas hídricas e o potencial de geração de poluentes associados a essas atividades (Gyimah et al., 2024). A carência de diretrizes nacionais dificulta o controle efetivo do consumo de água e da disposição adequada dos efluentes, ampliando os riscos de impactos negativos sobre os recursos hídricos.

Apesar da inexistência de normatização federal específica, observa-se presença de legislações pontuais em alguns municípios e estados. Como exemplo, destaca-se a Lei Complementar Municipal nº 19/2011, vigente no município de Iporá (GO), que estabelece diretrizes ambientais para as atividades de lavagem de veículos. O artigo 80 dessa legislação determina a obrigatoriedade da instalação de caixas de areia para a retenção e filtragem de óleos e graxas, com o objetivo de impedir que esses resíduos, quando lançados diretamente no sistema de drenagem, provoquem danos aos corpos hídricos locais (Tang et al., 2024).

No âmbito estadual de Goiás, as Leis Estaduais nº 17.128/2010 e nº 17.582/2012 estabelecem obrigações específicas para os estabelecimentos de lavagem de veículos. A primeira determina a implantação de equipamentos destinados ao tratamento e à reutilização da água utilizada na atividade, enquanto a segunda exige a adoção de sistemas de aproveitamento de água pluvial por meio de reservatórios e dispositivos de captação. Essas normativas evidenciam um esforço institucional voltado à redução da extração de água potável e à minimização dos impactos ambientais decorrentes da atividade de lavagem veicular, reforçando, assim, a importância da quantificação precisa do volume de água subterrânea captada pelos lava-jatos. A mensuração desses volumes permite aos gestores públicos avaliar a efetividade das legislações vigentes, estimar os ganhos em economia hídrica e adequar o planejamento de políticas públicas voltadas ao uso sustentável dos mananciais.

A Norma Brasileira Registrada (NBR) 13969/1997 ressalta a importância do reaproveitamento dos recursos hídricos diante das crescentes dificuldades no abastecimento de água potável para a população, sendo que a adoção de sistemas de reúso pode proporcionar a redução de até 50% no volume de esgoto gerado. A NBR 13969/1997 destaca a necessidade de buscar alternativas para a substituição de determinados produtos amplamente utilizados nos processos de limpeza, como os detergentes, cuja remoção por meio de tecnologias de filtração da água apresenta elevado custo operacional. A norma também estabelece critérios específicos para o reaproveitamento da água na lavagem de veículos, considerando que diversos elementos presentes nesse processo possam ser nocivos à saúde humana, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros para reúso em lavagem de automóveis

Parâmetros	Padrão adotado
Coliforme termotolerante	<200 NMP/100ml
Sólidos dissolvidos	<200 mg/L
pH	6 a 8
Cloro residual	0,5 a 1,5 mg/L

Fonte: NBR 13969/1997.

Embora o Brasil ainda não disponha de uma legislação federal específica que regule as atividades de lavagem de veículos, observa-se a existência de um conjunto de normas e leis estaduais e municipais voltadas à mitigação dos impactos ambientais decorrentes dessas atividades. Além do arcabouço legal, a gestão eficiente dos recursos hídricos depende de ferramentas capazes de identificar espacialmente os usos da água e subsidiar a tomada de decisão. Nesse contexto, destaca-se o geoprocessamento.

1.2.2 Geoprocessamento aplicado

O geoprocessamento constitui uma ferramenta fundamental para a gestão e a análise dos mananciais, uma vez que possibilita a integração, considerando que o tratamento e a interpretação necessitam de dados espaciais, contribuindo diretamente para a compreensão da distribuição, disponibilidade e dinâmica desses recursos (Felippe, 2011). Essa abordagem espacial favorece a tomada de decisão em diferentes escalas, especialmente no planejamento ambiental, na gestão urbana e no monitoramento hídrico.

Segundo Rabie et al. (2025), o geoprocessamento fundamenta-se principalmente em três pilares: o Sensoriamento Remoto (SR), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e as

técnicas de Aprendizado de Máquina (Machine Learning – ML). Essas ferramentas atuam de forma complementar, permitindo o monitoramento do uso do solo, a integração de dados espaciais e a estimativa de variáveis hidrológicas complexas.

Nefros et al. (2022) confirmam a informação anteriormente citada apontando que a integração entre o sistema de informação geográfica e o sensoriamento remoto quando integrados podem trazer resultados inovadores possibilitando uma melhor gestão de desastres naturais além de fornecer mapas de fácil compreensão, contribuindo para o aumento da segurança e a administração eficaz das cidades.

A integração entre geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem climática, conforme apontado por Santos et al. (2019), permite a simulação de cenários futuros de disponibilidade hídrica e a avaliação de impactos ambientais decorrentes das atividades antrópicas, como a lavagem de veículos. Essa abordagem integrada fortalece a avaliação dos riscos ambientais e subsidia o planejamento urbano sustentável, bem como a formulação de políticas públicas voltadas ao manejo da disponibilidade hídrica.

Como exemplo do uso da aplicação dessa metodologia, o estudo desenvolvido por Pillai et al. (2023), em Kerala, na Índia, demonstrou que, por meio da elaboração de mapas georreferenciados, foi possível identificar zonas com potenciais de ocorrência de água subterrânea em uma região que apresentava significativa deterioração dos mananciais, possibilitando, assim, o gerenciamento planejado dos aquíferos.

Em contexto nacional, Felipe et al. (2011) destacam que o setor de geoprocessamento desempenha papel essencial na organização, formação e processamento de dados geográficos relacionados aos recursos hídricos do Estado de Minas Gerais. Entre suas principais atribuições estão a criação e a manutenção de bases cartográficas digitais nos preceitos dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), além do suporte técnico a instrumentos de gestão, como o monitoramento da qualidade da água, regulação, fiscalização, enquadramento dos corpos hídricos e a prevenção de eventos hidrológicos adversos.

1.2.3 Bacias hidrográficas e outorgas

O município de Rio Verde, localizado no estado de Goiás, tem extensão territorial de aproximadamente 8.374,255 km² e, segundo dados do Censo Demográfico de 2022, apresenta uma população estimada em 225.696 habitantes, com projeção de crescimento para cerca de 238.025 habitantes em 2024 (IBGE, 2023). O contexto hídrico da região revela um cenário

preocupante, evidenciado pelas bacias hidrográficas, que apresentam elevada pressão sobre os recursos hídricos locais.

Tal problemática torna-se ainda mais evidente quando se analisa o município de forma isolada, visto que as bacias do Rio Verdinho, do Rio Lajes e do Ribeirão Abóboras, responsáveis pelo abastecimento da região, estão classificadas em estado crítico, conforme apontam estudos recentes de monitoramento hídrico (Santos et al., 2021). A degradação desses corpos hídricos compromete não apenas o abastecimento público, mas também diversas atividades econômicas dependentes da disponibilidade de água, como a agricultura e a lavagem de veículos.

Apesar de sua importância estratégica, a gestão das águas subterrâneas ainda é abordada de forma insuficiente nas políticas públicas, mesmo em regiões altamente dependentes desse recurso. No Brasil, embora a legislação federal estabeleça diretrizes e instrumentos para sua gestão, a implementação é descentralizada e atribuída aos Estados. Na prática, observa-se um descompasso entre o arcabouço normativo e sua efetiva aplicação. Esse cenário revela fragilidades institucionais e reforça a necessidade de maior integração entre planejamento, monitoramento e participação social (Villar e Hirata, 2022). A exploração excessiva dos aquíferos pode ocasionar redução da vazão dos cursos d'água superficiais, além do comprometimento da qualidade do nosso aquífero, configurando riscos ambientais e socioeconômicos expressivos (Gonçalves et al., 2019).

No município de Rio Verde (GO), há um contingente de 84 outorgas destinadas à atividade de lavagem de veículos. Conforme estabelecido pela Lei Federal nº 9.433/1997, a outorga consiste em um instrumento de controle quantitativo e qualitativo do uso das águas superficiais e subterrâneas, assegurando o uso racional dos recursos hídricos.

Além de atuar como mecanismo de controle do uso da água, a outorga desempenha papel estratégico na conservação ambiental, uma vez que permite ao órgão gestor avaliar previamente os impactos potenciais associados às captações e aos lançamentos de efluentes. Latuf et al. (2019) destacam que a análise dos pedidos de outorga pode possibilitar a compatibilização entre diferentes usos da água, garantindo que a disponibilidade hídrica não seja comprometida.

Diante desse cenário, a análise integrada das bacias hidrográficas, aliada ao monitoramento rigoroso das outorgas, torna-se imprescindível para assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos em Rio Verde e em sua região de influência,

especialmente frente às crescentes pressões urbanas e econômicas que impactam diretamente a disponibilidade e a qualidade da água.

1.2.4 Tipos de lavagem de veículos

Considerando que o consumo de água varia significativamente em função da tecnologia empregada, torna-se necessário compreender os diferentes métodos de lavagem de veículos existentes no mercado. A Tabela 2 apresenta os principais tipos de lavagem de automóveis e os respectivos consumos médios de água, ressaltando que os valores indicados se referem exclusivamente a veículos de passeio.

Tabela 2. Média de recursos hídricos para cada tipo de lavagem de automóveis

Tipos de lavagem	Volume médio (L/veículo)
Lavagem manual	175
Lavagem semiautomática	130
Lavagem automática	262
Rollover	140

Fonte: Adaptado de Bohn (2014), Monney et al. (2020)

Observa-se uma expressiva discrepância no consumo médio de água entre os diferentes tipos de lavagem de veículos. Na sequência, serão abordados individualmente esses métodos, mostrando suas principais características, bem como suas vantagens e desvantagens ambientais.

Lavagem manual (Figura 1): O processo é realizado com o uso de mangueira, xampu automotivo ou detergentes alcalinos, levando, em média, 50 minutos para a lavagem de um único automóvel. Embora a Tabela 2 apresente dados referentes a carros populares, segundo Monney et al. (2020), a lavagem de uma única van pode consumir mais de 360 litros de água.



Figura 1. Imagem do processo de lavagem manual de veículos.

Lavagem semiautomática(Figura 2): A lavagem semiautomática de veículos combina o uso de equipamentos mecânicos com o trabalho manual, equilibrando a atenção aos detalhes da lavagem manual com a agilidade da limpeza automática. Segundo Fall et al. (2007), a lavagem de um único caminhão pesado pode consumir, em média, mais de 1.000 litros de água.



Figura 2. Imagem do processo de lavagem semiautomática de veículos.

Lavagem automática (Figura 3): Segundo Bhon (2014), o túnel de lavagem é o método de limpeza de veículos mais utilizado nos Estados Unidos. O processo consiste na passagem do automóvel por um túnel onde ele é submetido às etapas de lavagem, enxágue e secagem.

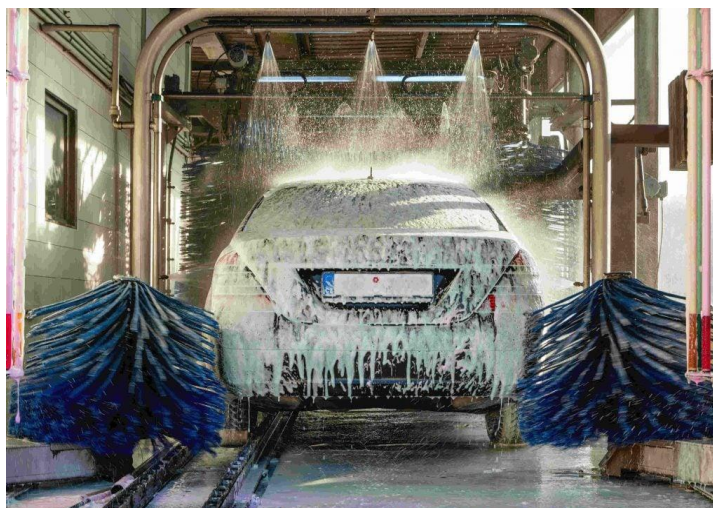


Figura 3. Imagem do processo de lavagem automática.

Rollover (Figura 4): Muito utilizado em postos de gasolina, esse sistema conta com uma sinalização que indica onde o veículo deve ser posicionado para que os equipamentos de lavagem, como esfregões e jatos de água, entrem em ação. No entanto, diferentemente dos métodos manuais, esse sistema não garante uma limpeza detalhada, embora proporcione um processo mais rápido.



Figura 4. Imagem do processo de lavagem por Rollover.

1.2.5 Valores de referência

Observa-se uma disparidade significativa na demanda hídrica entre os métodos de lavagem semiautomática e manual. Para fins de comparação, serão considerados os valores referentes aos automóveis de passeio e às vans apresentados na Tabela 3, estabelecendo um paralelo com os dados da Tabela 4, a fim de compreender, de forma mais precisa, o volume real de recursos hídricos consumidos pelas empresas de lavagem de veículos.

Tabela 3. Dados de lavagem de automóveis.

Tipo de veículo	Lavagem semiautomática (L)	Lavagem manual (L)
Motocicleta	105	70
Carros populares	139	188
SUVs/Pickups	183	236
Ônibus/Vans	236	365

Fonte: Monney, Isaac et al. (2020)

Tabela 4. Dados para tempo médio na lavagem dos veículos

Tipo de veículo	Tipo de Lavagem	Tempo gasto (min)
Carros populares	Exterior	23
Carros populares	Completa	55
Vans	Exterior	30
Vans	Completa	80

Fonte: Ghaly et al. (2021)

Com base nos valores médios apresentados na Tabela 3, constata-se que, para veículos de passeio, a lavagem manual demanda cerca de 26% a mais da nossa disponibilidade hídrica quando comparada à lavagem semiautomática. Para as vans, essa diferença se mostra ainda mais expressiva, atingindo um aumento de 35,31% no consumo de água entre os dois métodos avaliados. (Ghaly et al., 2021; Monney, Isaac et al., 2020).

Tabela 5. Média de litros por minuto referentes aos lava-jatos

Tipo de veículo	Lavagem semiautomática (L/m)	Lavagem manual (L/m)
Carros populares	2,53	3,42
Vans	2,95	4,56

Fonte: Autor (2025), adaptado de Ghaly et al. (2021); Monney, Isaac et al. (2020)

Outro aspecto relevante evidenciado na Tabela 5 refere-se ao volume total de água consumida ao longo da jornada diária de funcionamento dos estabelecimentos. Considerando uma carga horária de seis horas diárias destinadas à lavagem de carros populares, mesmo com a adoção da lavagem semiautomática reconhecida por ser menos impactante aos recursos hídricos, um único lava-jato pode consumir aproximadamente 910 litros de água por dia. No caso das vans, esse consumo é ainda mais elevado, podendo atingir cerca de 1.062 litros diários (Ghaly et al., 2021; Monney; Isaac et al., 2020).

Todo o volume de água utilizado nas empresas de lavagem veicular é, em tese, destinado às estações de tratamento. Contudo, um dos principais entraves desse processo reside no fato de que, visando à redução de custos operacionais, muitos estabelecimentos

optam pela captação de água diretamente dos lençóis freáticos. Dessa forma, a água é extraída do subsolo urbano e, após o uso, lançada nos corpos hídricos superficiais, provocando desequilíbrios no ciclo hidrológico local e pressionando ainda mais os recursos subterrâneos.

Uma estação de tratamento padrão para efluentes provenientes de lava-jatos é geralmente composta por uma caixa de areia, destinada à retenção de resíduos sólidos, e por uma caixa separadora de água e óleo (SAO), responsável pela remoção de óleos e graxas. Após essas etapas iniciais de pré-tratamento, a água é conduzida para a caixa de recepção e, subsequentemente, encaminhada ao sistema público de tratamento de esgoto.

1.2.6 Águas subterrâneas

As águas subterrâneas desempenham papel fundamental no abastecimento urbano, sendo amplamente utilizadas por diversos setores em virtude de sua regularidade e, em geral, de sua boa qualidade. Segundo Foster e Chilton (2003), em cidades onde os recursos hídricos superficiais são limitados, as águas subterrâneas tornam-se a alternativa mais confiável para o abastecimento das populações urbanas e periurbanas. Nesse contexto, os estabelecimentos de lavagem de veículos consolidam-se como importantes usuários desses recursos, sobretudo pelo fato de a captação subterrânea apresentar menor custo operacional quando comparada ao fornecimento pelo sistema público de abastecimento.

O elevado consumo de recursos hídricos nos lava-jatos tem se configurado como uma relevante questão ambiental, uma vez que mesmo estabelecimentos de pequeno porte demandam volumes significativos de água. Estudos realizados por Gharaghani et al. (2025) indicam que, na cidade de Shiraz, no Irã, o consumo diário de 120 estabelecimentos de lavagem de veículos resultou em uma demanda hídrica de aproximadamente 288.000 litros, evidenciando que, em escala urbana, essa atividade exerce pressão expressiva sobre os aquíferos.

Além do consumo elevado, a lavagem de veículos está associada à geração de efluentes contaminados, que podem se infiltrar no solo e atingir o lençol freático quando inexistem sistemas adequados de tratamento. Gharaghani et al. (2025) constataram que, ao longo de um ano, 120 empresas de lavagem de veículos foram responsáveis pela geração de 38.250,01 kg de resíduos sólidos, cuja composição representa risco direto à qualidade das águas subterrâneas, reforçando a necessidade de um controle ambiental rigoroso sobre essa atividade.

Apesar dos riscos associados, diversas pesquisas apontam que a adoção de tecnologias de tratamento e reúso pode minimizar os impactos ambientais e reduzir significativamente o consumo de reservas subterrâneas. Leão et al. (2010) demonstraram que sistemas de reaproveitamento possibilitam a reutilização da água sem causar danos à pintura dos veículos ou manchas em suas superfícies, além de eliminar o descarte de efluentes na drenagem pluvial, promovendo emissões praticamente nulas de poluentes durante a atividade de lavagem veicular.

No entanto, a adoção dessas tecnologias, por si só, não é suficiente para garantir a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos. Nesse contexto, destaca-se a importância da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que busca articular instrumentos de planejamento, gestão, monitoramento e participação institucional para assegurar o uso racional da água. De acordo com Grigg (2024), a implementação da GIRH constitui um processo contínuo e de longo prazo, que requer o desenvolvimento de diretrizes e planos estratégicos capazes de orientar países e regiões na estruturação de políticas e ações voltadas à gestão hídrica. Nesse sentido, Silva et al. (2017) destacam que, embora o sistema brasileiro de gerenciamento de recursos hídricos seja reconhecido como um dos mais avançados da América Latina, sua efetiva implementação ainda enfrenta desafios significativos relacionados à governança, à coordenação institucional e à aplicação dos instrumentos de gestão.

Dessa forma, a mitigação dos impactos decorrentes da atividade de lavagem veicular depende da combinação entre soluções tecnológicas e instrumentos eficientes de gestão. A implementação de sistemas de tratamento e reúso da água, associada a mecanismos eficazes de monitoramento, fiscalização e gestão integrada dos recursos hídricos, constitui uma estratégia fundamental para reduzir o consumo de águas subterrâneas, minimizar os riscos de contaminação dos aquíferos e promover a sustentabilidade ambiental do setor.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a demanda hídrica destinada a empreendimentos de lavagem de veículos na cidade de Rio Verde – GO.

2.2 Objetivos específicos

- Georreferenciar os empreendimentos de lavagem de veículos na cidade de Rio Verde – Goiás;
- Estimar o consumo de água de acordo com a tipologia dos empreendimentos de lavagem de veículos; e
- Calcular a demanda total de água destinada à lavagem de veículos no município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGHEETHI, A. A.; MOHAMED, R. M. S. R.; RAHMAN, M. A. A.; JOHARI, M. R.; KASSIM, A. H. M. Treatment of wastewater from car washes using natural coagulation and filtration system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 136, p. 1–7, 2016. DOI: 10.1088/1757-899X/136/1/012046.

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; AGUIAR, Laís Alencar de; MATTA, Patrícia dos Santos; TRINDADE, Roberto de Barros Emery. Risco, impacto e danos ambientais em sistemas aquáticos. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 164–170, 2023. DOI: 10.12957/ric.2022.66999.

ALVES, Wellmo dos Santos; SCOPEL, Iraci; MARTINS, Alécio Perini; MORAIS, Wilker Alves; ROQUE, Rhayane Carvalho. Diagnóstico socioambiental da microrregião Sudoeste de Goiás. *Boletim de Geografia*, Maringá, v. 37, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i1.35549>

ANALY, M.; LAFTOUHI, N.-E. Groundwater depletion in an urban environment under semiarid climate and persistent drought – City of Marrakesh (Morocco). *Water*, v. 13, n. 22, p. 3253, 2021. DOI: 10.3390/w13223253.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11799:2024 Material filtrante - Areia, carvão antracitoso, argila expandida e pedregulho - Especificação, amostragem, métodos de ensaio e aplicação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/confea/pnm.aspx?Q=SEk3aGlQeWpXNW9KTmNEc1JaMklyTE9SamN1eUIxemF3bkJ0cWdkc1IxTT0=> Acesso em: 6 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em:

<https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-13969-97-TS-Unid-trat-complem-e-disposiçao-final.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2025.

Bacias hidrográficas críticas. SEMAD-GO. 2024. Disponível em: <https://siga.meioambiente.go.gov.br/catalogue/#!/dataset/1049>. Acesso em 05 Jul 2024

CONAMA-Conselho nacional do meio ambiente. CONAMA 357. BRASILIA-DF: CONAMA,2005.

BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 27 nov. 2025.

BOHN, F. P. Tratamento do efluente gerado na lavagem de veículos. 2014. 47 f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi - RS, 2014. Disponível em: <https://portalidea.com.br/cursos/80deed202d7dbd1f1a992127785d3ca9.pdf>. Acesso em: 25/12/2024.

CASTRO, Patrícia Alves Leão de; SANTOS, Gilmar Oliveira. Potencial da área irrigável da bacia hidrográfica do Rio Verdão, região sudoeste do estado de Goiás. Irriga, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 328-342, abr.-jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n2p328-342>

COVRE EQUIPAMENTOS. Máquina para lavar carros portátil. Disponível em: <https://www.covreequipamentos.com.br/maquina-lavar-carros-portatil>. Acesso em: 1 fev. 2025.

CURREN, Isla; MARIS, Caden. The impact of aquatic ecosystem degradation on human health: a comprehensive study of water quality, biodiversity, and disease transmission. Aquatic Ecosystems and Environmental Frontiers, v. 2, n. 3, p. 20–24, 2024. DOI:10.70102/AEEF/V2I3/5

FALL, C.; LÓPEZ-VÁZQUEZ, C. M.; JIMÉNEZ-MOLEON, M. C.; BÂ, K. M.; DIAZ-DELGADO, C.; GARCIA-PULIDO, D.; LUCERO-CHAVEZ, M. Carwash wastewaters: characteristics, volumes, and treatability by gravity oil separation. Revista Mexicana de Ingeniería Química, v. 6, n. 2, p. 175-184, 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62060206>.

FELIPPE, Miguel Fernando; SANTOS, Nádia Antônia Pinheiro; LAENDER, Beatriz Trindade; ABREU, Luiza Gontijo Álvares Campos; SANTOS, Matheus Duarte; FERREIRA, Igor Lacerda. Aprimoramento dos procedimentos de geoprocessamento com a rede hidrográfica otocodificada para a gestão de recursos hídricos do estado de Minas Gerais, Brasil. In: IWRA World Water Congress, 2011, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: International Water Resources Association (IWRA), 2011. Disponível em: <https://iwra.org/proceedings/congress/resource/PAP00-4955.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2025.

FOSTER, S. S. D.; CHILTON, P. J. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 358, n. 1440, p. 1957–1972, 2003. DOI: 10.1098/rstb.2003.1380..

FREIRE, Antônio Pires. Comparação de sistemas de tratamento de águas residuárias em lavajato, visando ao reúso. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, Rio Verde, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3607/1/dissertação_Antônio%20Pires.pdf. Acesso em: 2 jan. 2025.

GHALLY, AE. et al. Water Use, Wastewater Characteristics, Best Management Practices, and Reclaimed Water Criteria in the Carwash Industry: A Review. ResearchGate, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Ibrahim114/publication/351269422_Water_Use_Wastewater_Characteristics_Best_Management_Practices_and_Reclaimed_Water_Criteria_in_the_Carwash_Industry_A_Review/links/608ea0c692851c490faf1087/Water-Use-Wastewater-Characteristics-Best-Management-Practices-and-Reclaimed-Water-Criteria-in-the-Carwash-Industry-A-Review.pdf. Acesso em: 20 jul 2024.

GHARAGHANI, Majid Amiri et al. Assessing pollution levels and implementing eco-friendly hybrid sedimentation and sono-electrocoagulation for car wash wastewater treatment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 140, p. 103999, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103999>

GONÇALVES, J. A. C.; ALMEIDA, M. S. L.; FERREIRA, M. A. M.; PAIVA, B. L. F. Disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas na bacia do Rio do Peixe – Itabira-MG.

Research, Society and Development, [S. l.], v. 8, n. 12, p. e178121904, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i12.1904.

GRIGG, Neil S. Framework and Function of Integrated Water Resources Management in Support of Sustainable Development. *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 13, p. 5441, 2024. DOI: 10.3390/su16135441.

GYIMAH, G. A.; OSEI-BONSU, R.; MONNEY, I.; KUFFOUR, R. A.; DWUMFOUR-ASARE, B.; NTIAMOAH, E. Driving towards sustainability: assessment of water use and wastewater characteristics in Ghana's carwash industry. *European Journal of Science, Innovation and Technology*, v. 4, n. 2, p. 162–171, 2024. Disponível em: <https://www.ejsit-journal.com/index.php/ejsit/article/view/404>

IBGE. De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. Agência IBGE de Notícias, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 27 Dez. 2024.

IPORÁ. Lei Complementar nº 19, de 19 de maio de 2011: dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização, regulamentação, fiscalização e controle dos serviços de saúde no âmbito do poder público municipal e institui o Código Sanitário do Município de Iporá. Leis Municipais, 2011. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/go/i/ipora/lei-complementar/2011/2/19/lei-complementar-n-19-2011-dispoe-sobre-as-condicoes-para-a-promocao-protecao-recuperacao-da-saude-a-organizacao-regulamentacao-fiscalizacao-e-controle-dos-servicos-de-saude-no-mbito-do-poder-publico-municipal-e-institui-o-codigo-sanitario-do-municipio-de-ipora>. Acesso em: 03 jan. 2025.

LATUF, Marcelo de Oliveira; CHINEN, Hanna Sayuri de Souza; MUSSELI, Denis Giovanni; CARVALHO, Pedro Henrique Silva. Outorgas de uso dos recursos hídricos na Área de Proteção Ambiental do Rio Machado, sul de Minas Gerais. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 20, n. 71, p. 1–16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207145657>.

LEÃO, Eduardo Araujo de Souza; MATTA, Milton Antonio da Silva; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno; MARTINS, Jorge Augusto Costa; DINIZ, Cesar Guerreiro; VASCONCELOS, Yuri Bahia; CARMONA, Karen Monteiro; VANZIN, Mariana Menezes. O reúso da água: um estudo de caso na lavagem de veículos em lava-jato de Belém/PA. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 2010. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22987>. Acesso em: 27 nov. 2025.

LOUCOS POR CARRO. Lavagem de carro: guia completo para veículo impecável. Disponível em: <https://loucosporcarro.com.br/lavagem-de-carro-guia-completo-para-veiculo-impecavel/>. Acesso em: 3 jan. 2025.

MACÊDO, Theilon Henrique de Jesus. MONITORAMENTO DA DESERTIFICAÇÃO E DO BALANÇO HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2021.

MONNEY, Isaac; DONKOR, Emmanuel Amponsah; BUAMAH, Richard. Clean vehicles, polluted waters: empirical estimates of water consumption and pollution loads of the carwash industry. *Heliyon*, v. 6, n. 5, e03952, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03952>

NEFROS, Constantinos; KITSARA, Gianna; LOUPASAKIS, Constantinos. Geographical information systems and remote sensing techniques to reduce the impact of natural disasters in smart cities. *IFAC-PapersOnLine*, v. 55, n. 11, p. 72–77, 2022. DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.08.051.

OLIVEIRA, Lucas Duarte; ALVES, Wellmo dos Santos; PEREIRA, Maria Antonia Balbino; MORAIS, Wilker Alves; NUNES, Nivalda da Costa; LIMA, Luanna Oliveira. Análise das relações entre aspectos físicos e qualidade hídrica da alta bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje, no município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 5, p. 2664–2684, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2664-2684>

ONU Brasil. 1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso à água potável. ONU Brasil, 22 nov. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83447-onu-1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel>. Acesso em: 15 Dez. 2025.

PILLAI, Kiran S.; L., Sneha M.; S., Aiswarya; ANAND, Arya B.; PRASAD, Geena; JAYADEV, Ayona. Unlocking hidden water resources: mapping groundwater potential zones using GIS and remote sensing in Kerala, India. *E3S Web of Conferences*, v. 405, 04021, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340504021>

RECIFE. Lei n.º 17.606, de 29 de junho de 2010. Dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios e captadores de água da chuva nos postos de combustíveis e estabelecimentos de lavagem de veículos e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pe/r/recife/lei-ordinaria/2010/1761/17606/lei-ordinaria-n-17606-2010-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-de-reservatorios-e-captadores-de-agua-da-chuva-nos-postos-de-combustiveis-e-estabelecimentos-de-lavagem-de-veiculos-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 1 jan. 2025.

RABIE, Anas B.; ELHAG, Mohamed; SUBYANI, Ali. Remote sensing, GIS, and machine learning in water resources management for arid agricultural regions: a review. *Water*, Basel, v. 17, n. 21, p. 3125, 2025. DOI: 10.3390/w17213125.

RESENDE, Jaff Tayllor Lourenço; SILVA, William Ferreira da. Rio Verde (GO), uma cidade de comando regional. *GEOFRONTER*, Dourados, v. 10, p. e8436, 27 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.8436>.

ROSA, Luciene Gonçalves; SOUSA, José Tavares; LIMA, Vera Lúcia Antunes de; ARAÚJO, Gilmara Henriques; SILVA, Luciana Maria Andrade da; LEITE, Valderi Duarte. Characterization of wastewaters from vehicle washing companies and environmental impacts. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 179–199, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.532>

Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN). Frota de veículos – 2024. Brasília: Ministério dos Transportes, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SANTOS, Gilmar Oliveira *et al.* Monitoramento da água em bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no município de Rio Verde (GO). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 12, n. 1, p. 249–271, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p249-271>

SILVA, Mayane Bento; HERREROS, Mário Miguel Amin Garcia; BORGES, Fabricio Quadros. Integrated water resources management as water management policy in Brazil. *Revista de Administração da UFSM*, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 101–115, 2017. DOI: 10.5902/1983465913358.

TANG, Ling Ying; WONG, Rosie Hing; CHENG, Thiem Am; LIU, Jae Yeung; CHO, Chung Sing; LI, Yali; PING, Chin Tian; YASER, Abu Zahrim; KHAERUDIN, Deni Shidiq; CHAN,

Guo Hua Chen. Physicochemical characteristics of grease-trap wastewater with different potential mechanisms of FOG solid formation, separation, and accumulation inside grease traps. *Water Research*, v. 256, 121607, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121607>

Usos outorgados e dispensados de outorga do estado de Goiás.SEMAD-GO.2024. Disponível em : <https://siga.meioambiente.go.gov.br/catalogue/#!/dataset/1230>. Acesso em 05 Jul 2024.

VILLAR, P. C.; HIRATA, R. Governança das Águas Subterrâneas e a Construção de Indicadores Jurídicos para os Estados Brasileiros. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 25, p. 1-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210037r1vu2022L1AO>.

WAY. Lavagem de carros em túnel: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.way.com/pt/blog/lavagem-de-carros-em-tunel-tudo-o-que-você-precisa-saber/>. Acesso em: 23 dez 2025.

3. CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS NA CIDADE DE RIO VERDE - GO

RESUMO

O uso de águas subterrâneas por empreendimentos de lavagem de veículos representa um desafio relevante para a gestão dos recursos hídricos urbanos. Este estudo quantificou a demanda de águas subterrâneas e a destinação dos efluentes associados a esses estabelecimentos no município de Rio Verde, Brasil, analisando 84 outorgas de uso da água para lavagem de veículos e 116 pontos identificados em campo, dos quais apenas 86 estavam em operação. A maioria das outorgas (83) enquadra-se na categoria de uso insignificante, aplicável a captações inferiores a $1,0 \text{ L.s}^{-1}$. A demanda total outorgada foi de $15.290,9 \text{ m}^3$ por mês, enquanto a demanda estimada em campo foi de $1.568,9 \text{ m}^3$ por mês, indicando que, apesar das baixas vazões individuais, o conjunto das captações pode exercer pressão significativa sobre o aquífero. Verificou-se que 79 empreendimentos lançam seus efluentes no sistema público de coleta e tratamento de esgoto, o que implica a transferência permanente das águas subterrâneas para a bacia hidrográfica superficial, sem retorno ao aquífero de origem. Esse deslocamento representa uma perda líquida dos recursos hídricos subterrâneos e pode comprometer a sustentabilidade do aquífero. Nas áreas não atendidas pela rede de esgotamento sanitário, sete estabelecimentos fazem a disposição dos efluentes por infiltração no solo após apenas um tratamento preliminar. Embora essa prática mantenha a água dentro da mesma bacia hidrográfica, ela introduz riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas em razão da presença de sólidos, surfactantes, metais pesados e hidrocarbonetos.

PALAVRAS-CHAVE: Bacias Hidrográficas, Águas subterrâneas, lavagem de automóveis.

ABSTRACT

The use of groundwater by vehicle-washing enterprises represents a relevant challenge for urban water management. This study quantified groundwater demand and wastewater disposition associated with these establishments in Rio Verde, Brazil, analyzing 84 water-use authorizations (permits) for vehicle washing and 116 points identified in the field, of which only 86 were in operation. Most permits (83) fall under the exemption category, which applies to abstractions below 1.0 L.s^{-1} . The total authorized demand was $15,290.9 \text{ m}^3.\text{month}^{-1}$, whereas the field-estimated demand was $1,568.9 \text{ m}^3.\text{month}^{-1}$, indicating that, despite low individual flow rates, the combined abstractions may exert significant pressure on the aquifer. A total of 79 enterprises were identified as discharging their wastewater into the public sewerage system, which implies the permanent transfer of groundwater to the surface-water basin, with no return to the source aquifer. This displacement represents a net loss of groundwater resources and may compromise aquifer sustainability. In areas without sewerage coverage, seven establishments dispose of effluents through soil infiltration after only preliminary treatment, a practice that keeps the water within the same watershed but introduces risks of soil and aquifer contamination due to the presence of solids, surfactants, heavy metals, and hydrocarbons.

KEYWORDS: Watershed basins, groundwater, car washing.

3.1 Introdução

A demanda global por água destinada à lavagem de veículos torna-se significativa quando considerada a magnitude do problema: o planeta abriga bilhões de automóveis, incluindo carros particulares, motocicletas, caminhões e frotas comerciais, todos submetidos a rotinas periódicas de limpeza (WPR, 2024). Embora cada lavagem individual possa consumir volumes aparentemente modestos de água, o conjunto dessas operações representa um consumo hídrico expressivo em escala global. Em diversos países, estimativas indicam um consumo variando entre 100 e 500 litros por lavagem, dependendo da tecnologia empregada e do nível de automação do processo (Monney et al., 2020).

A dinâmica de utilização das águas subterrâneas pelos empreendimentos de lavagem de veículos cria um ciclo hidrológico artificial que altera o equilíbrio natural das bacias hidrográficas. Em muitas áreas urbanas, esses estabelecimentos captam água diretamente dos aquíferos, um recurso que, em condições naturais, permaneceria armazenado por longos períodos, contribuindo para a manutenção da vazão de base dos cursos d'água e para a estabilidade hidrológica regional (Monney et al., 2020; Tomalski et al., 2021; Toné et al., 2023). Entretanto, após ser extraída para a atividade de lavagem, essa água pode seguir uma trajetória completamente distinta daquela esperada no sistema hidrogeológico natural.

Em diversas regiões do Brasil, por exemplo, o efluente gerado após a lavagem recebe apenas um tratamento preliminar, geralmente limitado à remoção de sólidos grosseiros por meio de caixa de areia e à separação de água e óleo. Posteriormente, esse efluente é lançado no sistema público de esgotamento sanitário. A partir desse momento, a água deixa de participar do ciclo interno da bacia hidrográfica, sendo transportada pela rede coletora até a estação de tratamento de esgoto, onde passa por processos de depuração e, posteriormente, lançada em um corpo hídrico que, frequentemente, não pertence à mesma bacia hidrográfica da qual foi originalmente captada. Assim, um recurso que anteriormente integrava o estoque local de águas subterrâneas é removido do sistema em um intervalo relativamente curto de tempo.

Essa desconexão entre o ponto de captação e o ponto de lançamento final constitui uma perda líquida de água para a bacia hidrográfica. Em vez de se infiltrar novamente no solo e contribuir para a recarga do aquífero, a água subterrânea é desviada para um curso

d'água distante, favorecendo a depleção progressiva do sistema aquífero local. Em ambientes urbanos, onde a recarga natural já se encontra reduzida em razão da impermeabilização do solo, essa retirada contínua e não compensada intensifica a pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos, podendo comprometer sua sustentabilidade em médio e longo prazo (Mamo et al., 2021; Uchôa et al., 2024; Yang et al., 2024).

Nos empreendimentos de lavagem de veículos não conectados à rede pública de esgotamento sanitário, a destinação dos efluentes após o tratamento preliminar ocorre, geralmente, por infiltração no solo, por meio de sumidouros ou estruturas equivalentes, prática que representa um risco significativo à qualidade das águas subterrâneas. Mesmo após a remoção dos sólidos grosseiros e da separação de água e óleo, o efluente ainda contém uma mistura complexa de óleos e graxas, metais pesados como chumbo, cromo e zinco, surfactantes e diversos outros compostos químicos provenientes de detergentes e produtos utilizados na limpeza automotiva (Cuput et al., 2024; Espinoza Montero et al., 2024).

Esses contaminantes apresentam elevada mobilidade ou persistência no ambiente, podendo percolar através do solo, alcançar o aquífero e comprometer sua potabilidade e seu uso futuro. Em áreas urbanas, onde a recarga natural já é limitada e os aquíferos são frequentemente utilizados como fonte de abastecimento, a infiltração de efluentes inadequadamente tratados agrava a vulnerabilidade hidrogeológica e reforça a necessidade de regulamentação rigorosa e monitoramento contínuo, a fim de prevenir a degradação irreversível dos recursos hídricos subterrâneos (Li et al., 2021; Gómez Escalonilla et al., 2024).

Dessa forma, o objetivo deste estudo é quantificar tanto a demanda de águas subterrâneas quanto as formas de destinação dos efluentes gerados pelos empreendimentos de lavagem de veículos, considerando o volume captado diretamente do aquífero e o destino dessa água após sua utilização.

3.2 Metodologia

3.2.1 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa compreende os limites territoriais do município de Rio Verde, localizado no estado de Goiás, na região Sudoeste Goiano (Figura 1). O município destaca-se pela forte vocação agrícola, especialmente na produção de grãos, e tem uma

população superior a 225 mil habitantes, distribuída em uma área territorial de aproximadamente 8.374,255 km². Esse dinamismo econômico, associado ao contínuo crescimento urbano, tem contribuído para a expansão da frota veicular local, que ultrapassa 180 mil veículos, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2026). Esse cenário evidencia um elevado potencial de demanda por serviços de lavagem automotiva e, consequentemente, por recursos hídricos.

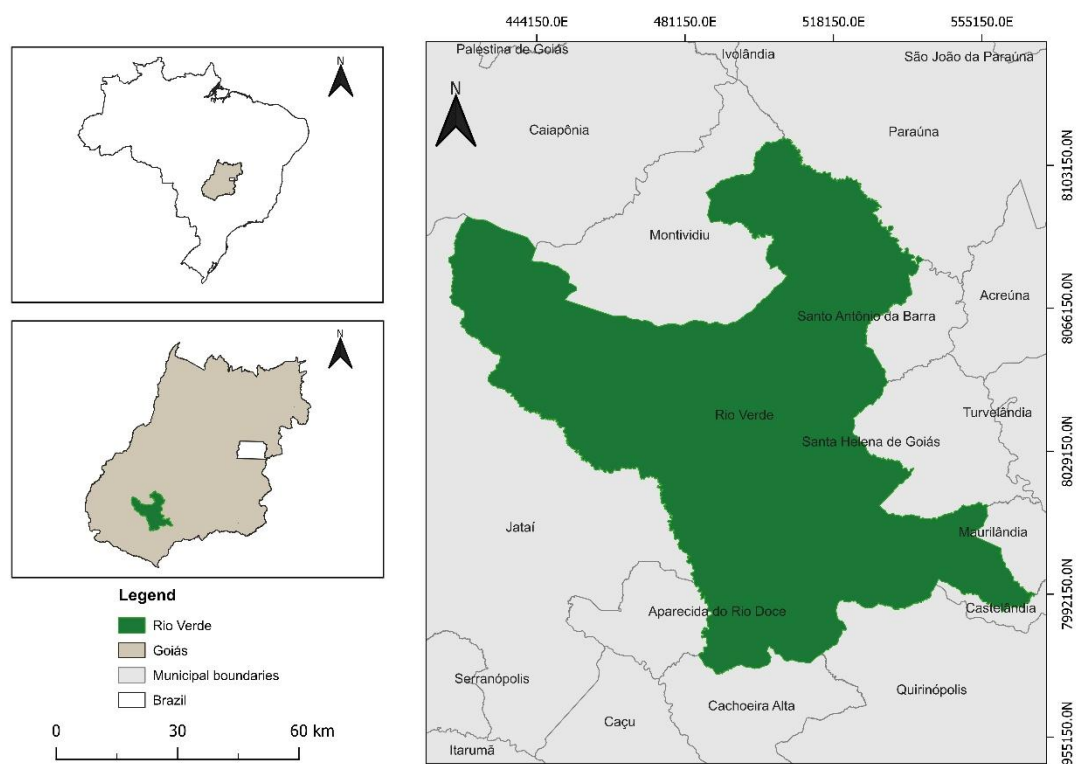


Figura 5. Localização do município de Rio Verde, Brasil

Sob o ponto de vista hidrogeológico, o município Rio Verde está inserido no Sistema Aquífero Bauru, que se caracteriza por formações sedimentares predominantemente arenosas, elevada permeabilidade e significativa relevância para o abastecimento de águas subterrâneas em escala regional (Takafuji et al., 2019; Peres et al., 2025; Siga, 2026). Nesse contexto, fatores como a profundidade do lençol freático, as características litológicas e os padrões de uso e ocupação do solo exercem influência direta sobre a vulnerabilidade do aquífero, reforçando a necessidade de avaliar os impactos potenciais associados à exploração das águas subterrâneas e à disposição inadequada de efluentes, especialmente em áreas urbanas com intensa atividade antrópica.

3.2.2 Outorgas de uso da água

A principal fonte de dados utilizada para a quantificação da demanda hídrica dos empreendimentos de lavagem de veículos foi o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SIRHGO), disponibilizado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD-GO), órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos em âmbito estadual (SIRHGO, 2025). Esse sistema reúne informações referentes às outorgas de uso da água, ao monitoramento e aos processos regulatórios, sendo uma ferramenta essencial para análises de disponibilidade hídrica e de pressões exercidas sobre os recursos subterrâneos.

O presente estudo concentra-se especificamente no uso das águas subterrâneas, considerando que as atividades de lavagem de veículos apresentam elevada demanda hídrica, o que frequentemente inviabiliza a dependência exclusiva da rede pública de abastecimento. Nesse contexto, muitos estabelecimentos recorrem à captação de água subterrânea como alternativa operacional. No Brasil, a gestão e a regulamentação do uso das águas subterrâneas são de competência dos órgãos estaduais (Brasil, 1997), como a SEMAD-GO, responsável por estabelecer critérios para emissão de outorgas, monitoramento e controle da exploração desses recursos, com o objetivo de assegurar seu uso sustentável e a preservação dos sistemas aquíferos.

Com base no banco de dados do SIRHGO, foi feita uma consulta no módulo "Outorgas de Uso da Água", que reúne as autorizações emitidas pela SEMAD-GO para utilização dos recursos hídricos. Dentro desse conjunto de dados, foi aplicado um filtro específico para identificar as captações provenientes de fontes subterrâneas, restringindo a análise às outorgas relacionadas ao uso de águas subterrâneas por empreendimento localizado no município de Rio Verde (GO).

Os dados selecionados foram exportados para uma planilha no formato XLSX, contendo informações essenciais para o cálculo da demanda hídrica, incluindo a vazão autorizada ($L \cdot s^{-1}$), o tempo diário de bombeamento ($h \cdot dia^{-1}$) e o número de dias de operação por mês. Com base nesses parâmetros, foi estimada a demanda mensal de águas subterrâneas para cada empreendimento analisado.

A consolidação dessas informações possibilitou a quantificação do volume total de águas subterrâneas demandado pelo setor de lavagem de veículos no município, fornecendo subsídios para a avaliação dos impactos dessa atividade sobre os recursos hídricos locais.

3.2.3 Avaliação in loco

Com base nos dados de outorga obtidos no Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SIRHGO), foi feita uma análise comparativa entre a vazão autorizada para cada ponto de captação identificado e o consumo de água informado pelos proprietários dos estabelecimentos durante as visitas de campo. Essa etapa teve como objetivo verificar a consistência entre os valores outorgados e o uso efetivo estimado dos recursos hídricos nos empreendimentos de lavagem de veículos, permitindo identificar possíveis discrepâncias entre a demanda real e a demanda formalmente registrada.

Por meio da plataforma Google Maps e da utilização da palavra-chave "lava jato Rio Verde", foram identificados 116 empreendimentos de lavagem de veículos no município de Rio Verde (GO). Esse levantamento preliminar serviu de base para o planejamento das visitas de campo e para a caracterização espacial dos empreendimentos.

Para definir o perfil de atendimento dos estabelecimentos de lavagem de veículos durante as visitas in loco, os veículos foram classificados em três grupos:

- Grupo A: automóveis e caminhonetes;
- Grupo B: veículos de grande porte, como caminhões; e
- Grupo C: veículos de duas rodas, principalmente motocicletas.

As visitas de campo foram realizadas entre novembro de 2024 e janeiro de 2026, de segunda-feira a sábado. De segunda a sexta-feira, as visitas ocorreram em dois períodos: manhã (08h00 às 11h00) e tarde (14h00 às 17h00). Aos sábados, as visitas foram realizadas exclusivamente no período da manhã (08h00 às 12h00), em conformidade com o horário de funcionamento de cada estabelecimento.

Durante as visitas, foram coletadas as seguintes informações:

- tipo de sistema de lavagem utilizado (manual ou semiautomático);
- média semanal de veículos atendidos;

- tipos de veículos atendidos (motocicletas, automóveis, caminhonetes, caminhões e ônibus);
- existência de sistema de captação de águas pluviais;
- consumo diário e semanal de água;
- presença de reservatórios de armazenamento; e
- número de funcionários em atividade.

Para o georreferenciamento dos empreendimentos, foi utilizado o software QGIS, com a criação de camadas no formato Shapefile, possibilitando a representação espacial precisa dos estabelecimentos em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esse procedimento permitiu a espacialização detalhada dos empreendimentos no mapa final, subsidiando análises relacionadas à distribuição territorial, à densidade dos estabelecimentos e à sua relação com a malha urbana e a rede hidrográfica do município.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Outorgas de uso da água

De acordo com os dados disponibilizados pelo Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SIRHGO, 2025), foram identificadas 84 outorgas de uso de águas subterrâneas vinculadas à atividade de lavagem de veículos no município de Rio Verde (GO). A distribuição espacial dessas outorgas, Figura 6, evidencia a concentração dos pontos de captação no perímetro urbano, permitindo a análise dos padrões de ocupação territorial e da pressão potencial exercida sobre os recursos hídricos subterrâneos em diferentes setores da cidade.

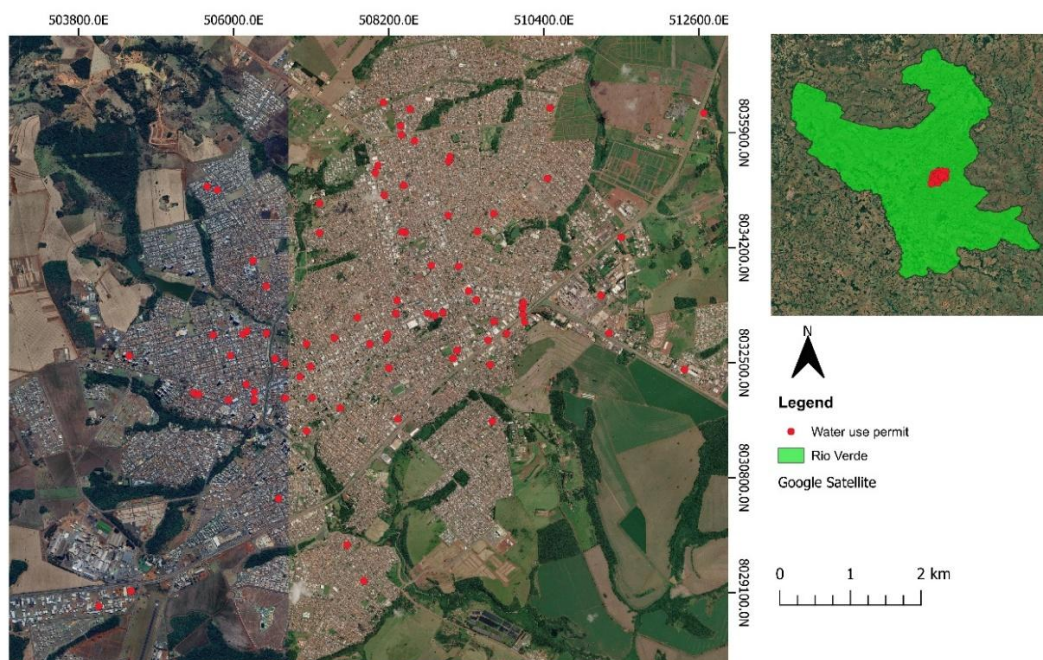


Figura 6. Imagem de satélite do município de Rio Verde mostrando a localização das outorgas de uso da água emitidas para empreendimentos de lavagem de veículos.

A outorga de uso da água é um instrumento legal estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos e consiste em uma autorização administrativa que permite a pessoas físicas ou jurídicas utilizar recursos hídricos, como rios, lagos ou águas subterrâneas, para finalidades específicas, incluindo irrigação, abastecimento público, atividades industriais ou geração de energia. Essa autorização não implica a transferência da propriedade da água, ao contrário, concede apenas o direito de uso do recurso por um período determinado (Brasil, 1997).

Das 84 outorgas avaliadas no município de Rio Verde, 83 se enquadram na categoria de uso insignificante, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Goiás, por meio da Instrução Normativa nº 05/2023 (Goiás, 2023), a qual classifica como de baixo impacto as captações com vazão inferior a $1,0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. Apenas um ponto de captação apresentou vazão superior a esse limite.

Um dos principais desafios da gestão dos recursos hídricos no Brasil refere-se à dificuldade de fiscalização e monitoramento dos usos da água nas bacias hidrográficas. O processo de outorga baseia-se em um sistema autodeclaratório, no qual o usuário, seja pessoa

física ou jurídica, informa sua necessidade e finalidade de uso da água e encaminha a solicitação ao órgão gestor para avaliação. Quando a demanda declarada de captação em rios, lagos ou águas subterrâneas é inferior a $1,0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, o órgão emite automaticamente uma autorização denominada outorga de uso insignificante. Já para solicitações com vazões iguais ou superiores a esse limite, torna-se necessário o procedimento ordinário de outorga, geralmente mais demorado e composto por etapas adicionais de avaliação técnica.

Por depender de informações autodeclaradas, esse sistema apresenta elevado risco de omissão ou subnotificação de dados, comprometendo a precisão das estimativas do balanço hídrico e a efetividade do controle do uso da água (Vale e Santos, 2024; Santos et al., 2025).

Embora predominem captações de baixa vazão individual, o grande número de poços perfurados para extração de águas subterrâneas por empreendimentos de lavagem de veículos pode produzir um efeito cumulativo significativo sobre a demanda hídrica local, especialmente quando essas captações estão concentradas em áreas estratégicas de recarga aquífera (Monney et al., 2020; Uchôa et al., 2024).

A soma das vazões autorizadas para os 84 empreendimentos analisados resultou em uma demanda estimada de aproximadamente $15.290,9 \text{ m}^3$ por mês. Quando convertido em equivalente populacional, considerando um consumo doméstico médio de $150 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$, conforme relatado por Bun et al. (2021), esse volume seria suficiente para abastecer cerca de 3.398 pessoas em atividades domésticas, correspondendo a aproximadamente 1,51% da população urbana do município. Essa estimativa evidencia a magnitude da pressão que o setor de lavagem de veículos pode exercer sobre os recursos hídricos subterrâneos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e de uma gestão integrada desses usos.

Resultados semelhantes foram observados por Odiana et al. (2016), que verificaram que os empreendimentos de lavagem de veículos avaliados em Bauchi, na Nigéria, captavam 1.710.091,2 litros de água por dia do sistema público municipal de abastecimento, demonstrando a expressiva pressão que essas atividades podem exercer sobre a infraestrutura urbana de fornecimento de água. Esse volume correspondeu a aproximadamente 3,95% do total de água captada pelo sistema municipal, evidenciando a relevância desse setor no contexto da gestão dos recursos hídricos urbanos.

3.3.2 Estimativa do consumo de água em campo

Foram feitas visitas técnicas a 116 empreendimentos de lavagem de veículos previamente identificados por meio da plataforma Google Maps. Do total de estabelecimentos levantados, apenas 86 estavam em operação no período da pesquisa, quantitativo muito próximo das 84 outorgas de uso de águas subterrâneas identificadas no banco de dados do SIRHGO. Adicionalmente, verificou-se a existência de dois empreendimentos em funcionamento sem a respectiva autorização para captação de água subterrânea, evidenciando possíveis fragilidades nos mecanismos de fiscalização e controle do uso dos recursos hídricos.

A Tabela 6 apresenta os dados obtidos junto aos empreendimentos de lavagem de veículos durante as visitas realizadas em campo.

Tabela 6. Dados de empresas de lavagem de carros obtidos durante visitas in loco.

Tipos de lavagem	automóveis	Pista de lavagem	Veículos lavados (semanalmente)
Automática	5	9	182
Semiautomática	81	97	1,415
Total	86	106	1,597

A lavagem semiautomática refere-se ao uso de jatos manuais de água de alta pressão para a limpeza de veículos, enquanto a lavagem automática refere-se à limpeza realizada exclusivamente por meio de sistemas em túnel ou equipamentos automatizados semelhantes (Monney et al., 2020).

Segundo Gyimah et al. (2024), a lavagem semiautomática é mais prevalente em países em desenvolvimento, principalmente devido aos seus menores custos de instalação e operação. No entanto, esse modelo tende a apresentar maior consumo de água, podendo atingir aproximadamente 200 L de água por veículo.

Estimou-se que 1.597 veículos são lavados semanalmente nos 86 estabelecimentos de lavagem de veículos do município, correspondendo a uma média de 21 veículos por empreendimento. Desse total, 87,65% pertencem ao Grupo A (automóveis e caminhonetes), 11,11% ao Grupo B (caminhões) e apenas 1,24% ao Grupo C (motocicletas). O total de 1.597 lavagens semanais representa aproximadamente 1% da frota de veículos do município.

A Tabela 7 apresenta o consumo estimado de água dos empreendimentos de lavagem de veículos na área de estudo, com base no levantamento realizado em campo.

Tabela 7. Consumo estimado de água dos empreendimentos de lavagem de veículos no município de Rio Verde com base no levantamento realizado em campo.

	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Veículos estimados	1,397	147	53
Consumo médio de água (L.veículo ⁻¹)*	161	1,100	105
Consumo de água estimado (L.semana ⁻¹)	224,917	161,700	5,565

*Fonte: Monney et al. (2020). Grupo A: automóveis e caminhonetes; Grupo B: caminhões; Grupo C: motocicletas.

Com base nos dados obtidos, foi estimado um consumo total de água de aproximadamente 1.568,9 m³ por mês. Esse volume é significativamente inferior ao volume de água outorgado para a atividade, que foi estabelecido em 15.290,9 m³ por mês.

A diferença substancial entre o consumo de água estimado em campo e o volume autorizado para a atividade pode ser explicada por uma combinação de fatores operacionais, administrativos e metodológicos. As outorgas de uso de recursos hídricos são, em geral, concedidas com base em estimativas de demanda máxima, garantindo uma margem de segurança e flexibilidade operacional aos empreendimentos, o que tende a resultar em valores superiores ao consumo efetivo. Além disso, os dados coletados durante as visitas de campo foram obtidos por meio de entrevistas com funcionários, o que pode introduzir viés nas respostas. É comum que o número de veículos lavados informado seja inferior ao valor real, uma vez que muitos proprietários de estabelecimentos receiam possíveis fiscalizações, cobranças de taxas ou outras implicações regulatórias.

A estimativa precisa da demanda hídrica em atividades de lavagem de veículos ainda é um tema pouco explorado na literatura técnica e acadêmica, o que dificulta o estabelecimento de valores de referência para comparação. Apenas o estudo de Monney et al. (2020) fez uma avaliação desse tipo. Os estudos existentes concentram-se predominantemente em análises qualitativas, avaliações da eficiência de equipamentos ou discussões sobre práticas de reúso, mas raramente apresentam métricas consolidadas de consumo de água por tipo de empreendimento, porte ou tecnologia empregada. Essa escassez de dados padronizados limita o desenvolvimento de parâmetros comparativos robustos e reforça a necessidade de investigações empíricas, como a realizada neste estudo, para subsidiar diagnósticos mais precisos e orientar políticas de gestão hídrica para o setor.

3.3.3 Distribuição espacial e gestão das águas subterrâneas

No município de Rio Verde (GO), o principal sistema aquífero explorado é o Aquífero Bauru, um recurso de grande importância para o abastecimento hídrico local devido à sua expressiva disponibilidade e ao seu amplo aproveitamento por meio de poços. Geologicamente, o Aquífero Bauru é constituído por rochas sedimentares da Bacia Bauru, de idade Cretáceo Superior, que recobrem os derrames basálticos da Formação Serra Geral, pertencente à Bacia do Paraná (Jurássico–Cretáceo).

A Bacia Bauru foi formada sob condições climáticas que variaram entre ambientes semiáridos e desérticos e está subdividida em cinco formações distintas, conforme descrito por Bertolo et al.(2011) e Peres et al.(2025). Essas características geológicas conferem elevada porosidade e permeabilidade ao sistema aquífero, favorecendo tanto a infiltração quanto a exploração das águas subterrâneas, o que explica sua relevância para o abastecimento público e privado na região. A Figura 7, por meio de um mapa de densidade Kernel, mostra a concentração dos volumes de extração de águas subterrâneas utilizados nas atividades de lavagem de veículos.



Figura 7. Mapa de calor dos volumes de extração de águas subterrâneas pelos empreendimentos de lavagem de veículos no município de Rio Verde.

A região central do município de Rio Verde destaca-se como a área mais pressionada pela extração de águas subterrâneas para atividades de lavagem de veículos, apresentando volumes acumulados de captação superiores a 5 L s^{-1} e concentrando o maior número de empreendimentos que dependem diretamente do Aquífero Bauru para seu funcionamento. Essa concentração espacial intensifica a demanda local sobre o aquífero, aumentando o risco de rebaixamento dos níveis de água subterrânea.

No município de Rio Verde (GO), aproximadamente 11% do abastecimento público de água depende de fontes subterrâneas (IBGE, 2022). Além do uso público, observa-se também uma expressiva extração de águas subterrâneas por indústrias, estabelecimentos comerciais e outros empreendimentos que dependem desse recurso para suas atividades. Destaca-se ainda a possível existência de poços clandestinos, perfurados e operados sem registro ou autorização dos órgãos ambientais competentes, o que dificulta o controle quantitativo e qualitativo da exploração das águas subterrâneas e pode comprometer a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos no município.

Diversos estudos ao redor do mundo têm demonstrado que o uso intensivo das águas subterrâneas para atividades agrícolas, industriais e urbanas está provocando um rápido esgotamento dos aquíferos, frequentemente em taxas superiores à sua capacidade natural de recarga. Pesquisas realizadas em países como Índia, China e Brasil documentaram reduções persistentes nos níveis das águas subterrâneas, associadas ao bombeamento excessivo, à expansão de culturas agrícolas de elevada demanda hídrica, ao crescimento urbano e à perfuração não regulamentada de poços. Em muitos desses contextos, a redução do armazenamento subterrâneo já produziu impactos diretos sobre a disponibilidade de água, a produtividade agrícola, a conectividade entre rios e aquíferos e a segurança hídrica de comunidades inteiras (Jain et al., 2021; Costa et al., 2023; Uchoa et al., 2024; Shang et al., 2025).

Uchoa et al. (2024) analisaram dados de níveis d'água provenientes de 17.972 poços distribuídos pelo Brasil e demonstraram que a maioria deles (55%) apresenta níveis de água subterrânea abaixo das superfícies dos cursos d'água próximos, indicando que esses rios provavelmente estão perdendo água para o subsolo. Esse padrão revela um potencial

generalizado de infiltração de águas superficiais para os aquíferos, especialmente em regiões onde o bombeamento de águas subterrâneas é intenso, aumentando o gradiente hidráulico, favorecendo a infiltração da água dos rios para o aquífero. Esses resultados reforçam a necessidade de uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, uma vez que tais perdas podem afetar a disponibilidade hídrica, as vazões ambientais e os ecossistemas dependentes das águas superficiais.

Jain et al. (2021) demonstram que, caso as tendências atuais de depleção dos aquíferos persistam, a intensidade da produção de alimentos na Índia poderá diminuir em cerca de 20% em escala nacional e em até 68% nas regiões mais afetadas pelo rebaixamento dos níveis das águas subterrâneas.

Shang et al. (2025) identificaram redução significativa no suprimento de águas subterrâneas no Nordeste da China, estimada em 0,4 cm por ano nas últimas duas décadas. Essa tendência é particularmente preocupante porque a região constitui um dos principais polos agrícolas do país e, nesse período, passou por mudanças substanciais nos padrões de cultivo, incluindo a expansão de culturas com elevada demanda hídrica, como arroz e milho.

Na área de estudo, após a captação e utilização das águas subterrâneas, os empreendimentos de lavagem de veículos geram efluentes que são predominantemente lançados na rede pública de esgotamento sanitário ou infiltrados no solo por meio de sumidouros. Ambos os métodos de disposição apresentam potenciais riscos ambientais. É importante destacar que as exigências legais para esses empreendimentos se limitam à instalação de caixas de areia e separadores de água e óleo, que correspondem apenas a um tratamento preliminar. Como resultado, mesmo após essa etapa, os efluentes ainda podem conter elevadas concentrações de surfactantes, matéria orgânica, sólidos suspensos, metais pesados e outros poluentes, evidenciando a insuficiência do tratamento adotado e o potencial impacto tanto sobre os recursos hídricos subterrâneos quanto sobre os superficiais (Espinoza Montero et al., 2023; Cuput et al., 2024).

Foram identificados 79 empreendimentos de lavagem de veículos na área de estudo que destinam seus efluentes à rede pública de esgotamento sanitário. Nesses casos, a água subterrânea extraída do aquífero é utilizada no processo de lavagem e, após passar apenas por tratamento preliminar, é encaminhada ao sistema municipal de esgotamento sanitário. O

efluente é então conduzido à estação municipal de tratamento de esgoto e posteriormente lançado no Córrego do Sapo. Dessa forma, o volume de água captado do aquífero não retorna ao próprio sistema aquífero, ao contrário, é transferido para a bacia hidrográfica superficial e, posteriormente, para outras bacias. Esse deslocamento permanente da água resulta em uma perda líquida dos recursos hídricos subterrâneos do município, o que pode comprometer, em longo prazo, o equilíbrio hidrológico local e a sustentabilidade do Aquífero Bauru.

McMahon e Nathan (2025) destacam o conceito de tempo de residência da água, definido como o período médio durante o qual a água permanece em um compartimento do sistema hidrológico. Nos aquíferos, esse tempo de residência é naturalmente longo devido à baixa velocidade do fluxo subterrâneo, o que favorece períodos prolongados de armazenamento e renovação lenta. Em contraste, nos sistemas fluviais, o escoamento superficial ocorre de forma muito mais rápida, resultando em tempos de residência mais curtos.

Considerando essa diferença estrutural entre os ambientes subterrâneo e superficial, Loaiciga (2004) observa que a transferência de volumes de água do aquífero para o sistema fluvial reduz o tempo de residência da água na região: volumes que permaneceriam armazenados por longos períodos passam a integrar o fluxo superficial e são transportados ao longo da bacia hidrográfica. Esse processo altera o equilíbrio entre armazenamento e escoamento, reduzindo a disponibilidade de águas subterrâneas, podendo comprometer a sustentabilidade do sistema aquífero local.

Nas áreas não atendidas pela rede pública de esgotamento sanitário, os efluentes provenientes das atividades de lavagem de veículos são predominantemente dispostos por infiltração no solo, por meio de sumidouros, após apenas tratamento preliminar. Foram identificados sete empreendimentos operando nessas condições. Nesses casos, embora a água permaneça na mesma bacia hidrográfica, ela é devolvida ao meio ambiente com qualidade significativamente comprometida, uma vez que não recebe tratamento adequado para a remoção de contaminantes.

Essa prática representa um risco direto ao solo e ao aquífero, pois os efluentes contêm elevadas concentrações de sólidos suspensos, turbidez, surfactantes, metais pesados, hidrocarbonetos e outros poluentes (Espinoza Montero et al., 2023; Cuput et al., 2024).

A infiltração contínua desses efluentes pode levar à contaminação de aquíferos rasos, afetar poços utilizados para abastecimento humano e gerar impactos à saúde pública e ao equilíbrio ambiental local, especialmente em regiões onde as águas subterrâneas constituem parcela relevante do abastecimento hídrico.

Casos de contaminação de águas subterrâneas por metais pesados como cádmio, chumbo e arsênio, decorrentes do descarte inadequado de efluentes e da disposição irregular de resíduos, são amplamente documentados, assim como a contaminação por hidrocarbonetos derivados de combustíveis, frequentemente detectados em aquíferos rasos próximos a postos de combustíveis e oficinas mecânicas, e por solventes orgânicos, pesticidas e contaminantes emergentes, cuja presença está associada ao saneamento inadequado e à gestão incorreta de resíduos (Ulla et al., 2022; Liu et al., 2023; Yadav et al., 2024). Esses episódios demonstram que a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação constitui um fenômeno global e reforçam a necessidade de políticas integradas de proteção, monitoramento e gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

Os resultados deste estudo evidenciam dois desafios centrais associados às atividades de lavagem de veículos em Rio Verde: a perda líquida de águas subterrâneas, decorrente da transferência permanente dos volumes captados do aquífero para os sistemas de águas superficiais, e o potencial de contaminação hídrica, causado pela infiltração no solo e no próprio aquífero de efluentes submetidos a tratamento insuficiente. Embora distintos em sua natureza, esses problemas convergem para um ponto crítico: a necessidade de aprimorar as práticas de gestão da água no setor.

Nesse contexto, soluções integradas são essenciais, incluindo a implementação de sistemas adequados de tratamento de efluentes, capazes de remover os contaminantes relevantes, e a adoção de práticas de reúso da água, seja de forma direta, por meio da reutilização da água tratada no processo de lavagem, seja de forma indireta, por meio de sistemas controlados de infiltração que promovam a recarga segura do aquífero (Alazaiza et al., 2024; Silva Júnior et al., 2025). A combinação dessas estratégias pode reduzir a pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos, mitigar riscos ambientais e contribuir para a sustentabilidade hídrica do município.

As tecnologias de tratamento aplicáveis aos efluentes de lavagem de veículos têm avançado significativamente e oferecem alternativas eficazes para a redução da carga poluidora. Entre as principais opções destacam-se os processos de coagulação-floculação, que

removem sólidos suspensos e parte da matéria orgânica; a filtração em múltiplas etapas, que melhora a clarificação da água; e os sistemas de separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração e osmose reversa), que apresentam elevada eficiência na remoção de surfactantes, óleos e metais.

Além disso, os processos oxidativos avançados, como a ozonização e os tratamentos baseados no reagente de Fenton, também têm demonstrado resultados promissores na degradação de compostos recalcitrantes presentes nos efluentes de lavagem (Kuan et al., 2022; Espinoza Montero et al., 2023; Kazembeigi et al., 2023; Obura et al., 2023). A integração dessas tecnologias permite alcançar padrões adequados de qualidade da água, tornando viável tanto o reúso direto no processo de lavagem quanto a infiltração segura no solo.

Além das soluções tecnológicas e operacionais discutidas, é fundamental que o município também avance em ações estruturais voltadas à gestão das águas subterrâneas. Isso inclui o fortalecimento das atividades de monitoramento e fiscalização, visando a coibir captações clandestinas e a assegurar que todos os usuários estejam devidamente cadastrados e operando dentro dos limites autorizados.

Paralelamente, as políticas de planejamento do uso e ocupação do solo devem priorizar a manutenção e a ampliação das áreas permeáveis, promover a infiltração natural da água e contribuir para a recarga dos aquíferos. Dessa forma, medidas integradas envolvendo planejamento urbano, controle do uso do solo e práticas de conservação dos solos são essenciais para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos no município (Vafaei et al., 2021; Costa et al., 2023).

3.4 Conclusão

Os resultados demonstram que, embora a maioria das captações associadas aos empreendimentos de lavagem de veículos opere com vazões individuais inferiores a $1,0 \text{ L s}^{-1}$, o efeito combinado dessas extrações representa uma pressão significativa sobre o aquífero local. A discrepância entre a demanda total de água autorizada para uso ($15.290,9 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$) e a demanda estimada em campo ($1.568,9 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$) reforça a necessidade de aprimorar os mecanismos de controle e verificação das informações autodeclaradas no processo de outorga.

Além disso, a predominância de empreendimentos que destinam seus efluentes à rede pública de esgotamento sanitário resulta na transferência permanente de águas subterrâneas

para a bacia hidrográfica superficial, constituindo uma perda líquida para o sistema aquífero, podendo comprometer sua sustentabilidade em longo prazo.

Por outro lado, nas áreas não atendidas pela rede de esgotamento sanitário, a prática de disposição dos efluentes por infiltração no solo, após apenas tratamento preliminar, mantém a água na mesma bacia hidrográfica, porém introduz riscos ambientais significativos. A presença de sólidos, surfactantes, metais pesados e hidrocarbonetos nos efluentes pode comprometer a qualidade do solo e do aquífero, aumentando a vulnerabilidade do sistema de águas subterrâneas.

Nesse contexto, torna-se essencial fortalecer as políticas de fiscalização, incentivar a adoção de tecnologias de reúso da água e promover uma gestão integrada que considere simultaneamente a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, assegurando a proteção dos aquíferos e o uso sustentável das águas subterrâneas em ambientes urbanos.

Referências bibliográficas

- Alazaiza, M.Y.D., Alzghoul, T.M., Amr, S.A., Ramu, M.B., Nassani, D.E. 2024. “Bibliometric Insights into Car Wash Wastewater Treatment Research: Trends and Perspectives”. *Water*, 16, 2034. <https://doi.org/10.3390/w16142034>
- Bertolo, R., Bourotte, C., Hirata, R., Marcolan, L., Sracek, O. 2011. “Geochemistry of natural chromium occurrence in a sandstone aquifer in Bauru Basin, São Paulo State, Brazil”. *Applied Geochemistry*, 26 (8): 1353-1363. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.05.009>
- Brasil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. (1997). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF. Available: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm (accessed June 18, 2025).
- Bun, S., Sek, S., Oeurng, C., Fujii, M., Ham, P., Painmanakul, P. 2021. “A Survey of Household Water Use and Groundwater Quality Index Assessment in a Rural Community of Cambodia”. *Sustainability*, 13, 10071. <https://doi.org/10.3390/su131810071>
- Costa, A.C., Dupont, F., Bier, G., Oel, P. Walker, D.W., Martins, S.P.R. 2023. “Assessment of aquifer recharge and groundwater availability in a semiarid region of Brazil in the context of an interbasin water transfer scheme”. *Hydrogeology Journal*, 31, 751–769. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02612-x>

- Cuput, E.L., Mensah, L., Bentil, E., Amponsah, V., Agbekey, B.K. 2024. “Heavy metal contamination from fuel station run-off and carwash wastewater: An assessment of ecological risk and experimental treatment”. *Heliyon* 10 (7), e29167.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29167>
- Espinoza-Montero, P.J., Martínez-Huitle, C.A., Loor-Urgilés, L.D. 2023. “Technologies employed for carwash wastewater recovery”. *Journal of Clean Production*. 401, 136722.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136722>
- Goiás - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. (2023). Instrução Normativa nº 5/2023. Dispõe sobre os procedimentos para análise de pedidos de outorga de uso de recursos hídricos ... Available:
<https://diariooficial.abc.go.gov.br/porta/visualizacoes/pdf/5513/#/p:5/e:5513> (accessed feb 19, 2026).
- Gómez-Escalonilla, V., Montero-González, E., Díaz-Alcaide, S., Martín-Loeches, M., Rosario, M.R., Martínez-Santos, P. 2024. “A machine learning approach to site groundwater contamination monitoring wells”. *Applied Water Science*, 14, 250. <https://doi.org.ez369.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13201-024-02320-1>
- Gyimah, G. A., Osei-Bonsu, R., Monney, I., Kuffour, R. A., Dwumfour-Asare, B., Ntiamoah, E. 2024. “Driving towards sustainability: assessment of water use and wastewater characteristics in Ghana’s carwash industry”. *European Journal of Science, Innovation and Technology*, 4 (2): 162–171, 2024. <https://www.ejsit-journal.com/index.php/ejsit/article/view/404>
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Atlas de saneamento. Available: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_saneamento/#/home (accessed June 02, 2026).
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2026. Cidades e Estados. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/rio-verde.html> (accessed June 01, 2026).
- Jain, M., Fishman, R., Mondal, P., Galford, G.L., Bhattarai, N., Naeem, S., Lall, U., Singh, B., DeFries, R.S. 2021. “Groundwater depletion will reduce cropping intensity in India”. *Science Advances*, 7(9), eabd2849. DOI: 10.1126/sciadv.abd2849
- Kazembeigi, F., Bayad, S., Yousefi Nasab, A., Doraghi, M., Parseh, I. 2023. “Techno-environmental study on the consequences of carwash wastewater and its management methods”. *Heliyon*, 9(9), e19764. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19764>

- Kuan, W.H., Hu, C.Y., Ke, L.W., Wu, J.M.. 2022. “A Review of On-Site Carwash Wastewater Treatment”. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10), 5764.
<https://doi.org/10.3390/su14105764>
- Li, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., Srinivasamoorthy, K. 2021. “Sources and Consequences of Groundwater Contamination”. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>
- Liu, F., Liu, H., Zhu, H., Xie, Y., Zhang, D., Cheng, Y., Zhang, J., Feng, R., Yang, S. 2023. “Remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated groundwater by biochar-based immobilized bacteria”. *Biochemical Engineering Journal*, 197, 108987.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.108987>
- Loáiciga, H.A. 2004. “Residence time, groundwater age, and solute output in steady-state groundwater systems”. *Advances in Water Resources*, 27(7): 681-688.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.05.004>
- Mamo, S., Birhanu, B., Ayenew, T., Taye, G. 2021. “Three-dimensional groundwater flow modeling to assess the impacts of the increase in abstraction and recharge reduction on the groundwater, groundwater availability and groundwater-surface waters interaction: A case of the rib catchment in the Lake Tana sub-basin of the Upper Blue Nile River, Ethiopia”. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35, 100831. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100831>
- McMahon, T. A., Nathan, R. J. 2025. “Estimating hydraulic properties and residence times of unconfined aquifers”. *Journal of Hydrology*, 654, 132861.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.132861>
- Monney, I., Donkor, E.A., Buamah, R. 2020. “Clean vehicles, polluted waters: empirical estimates of water consumption and pollution loads of the carwash industry”. *Heliyon*, 6 (5), e03952, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03952>
- Obura, D., Akamushaba, O., Khaldi, A., Dadebo, D.. 2023. “Determination and implementation of an onsite management system for motor-vehicle wash effluents: A field-scale commercial application toward sector sustainability”. *Journal of Water Process Engineering*, 56, 104513. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104513>
- Odiana, S., Onoja, M., Egun-Igbeare, E. 2016. “Municipal water resources management: evaluation of water consumption by car wash facilities in Bauchi Town, Nigeria”. *Journal of*

Applied Sciences and Environmental Management, 20(2), 363–366.

<https://doi.org/10.4314/jasem.v20i2.18>

Peres, G.S., Crioni, P.L.B., Manara, C.M., Teramoto, E.H., Chang, H.K. 2025. “Análise de tendências em séries históricas hidrológicas do Sistema Aquífero Bauru (SAB)”. *Derbyana*, 46, e875. <https://doi.org/10.69469/derb.v46.875>

Santos, F. A., Borges, L. A. C., Silva, D. H. C. 2025. “Analysis of Granting and Registration Data From the Watershed of the Tributaries of the Upper São Francisco River – SF1, Contained in the IDE-SISEMA”. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(1), 1–17. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-067>

Shang, Y., Dong, J., Fu, P., You, N., Zhang, X., Di, Y., Zhou, Y., Chen, X., Li, Z., Zheng, X. 2025. “Groundwater depletion in China’s Granary: The unintended consequences of cropping pattern shifts”. *Journal of Hydrology*, 662, 134012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134012>

Siga – Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás. 2026. Available: <https://siga.meioambiente.go.gov.br/#/> (accessed may 03, 2026).

Silva Júnior, E.D., Sousa, R.A., Martins, A.A., Rodrigues, A.M., Miranda, J.P.C. 2025. “Depth filtration with a moderate application rate for the treatment of carwash wastewater”. *ACS EST Water*, 5(9), 5623–5633. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.5c00646>

Sirhgo – Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos no Estado de Goiás. 2025. Available: <https://portal.meioambiente.go.gov.br/transparencia-web/sirhgo> (accessed June 18, 2026).

Takafuji, E.H., Rocha, M.M., Manzione, R.L. 2019. “Groundwater Level Prediction/Forecasting and Assessment of Uncertainty Using SGS and ARIMA Models: A Case Study in the Bauru Aquifer System (Brazil)”. *Nat Resources Research*, 28, 487–503. <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9403-6>

Tomalski, P., Tomaszewski, E., Wrzesiński, D., Sobkowiak, L. 2021. “Relationships of Hydrological Seasons in Rivers and Groundwaters in Selected Catchments in Poland”. *Water*, 13(3), 250. <https://doi.org/10.3390/w13030250>

Toné, A.J., Costa, A.C., Barros, M.U.G., Freitas, H.B., Cavalcante, J.R.V., Lima Neto, I.E. 2023. “Spatiotemporal river–aquifer interactions of a large tropical dryland river with high

anthropic intervention”. *Hydrological Sciences Journal*, 68(14), 2009–2026.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2252816>

Uchôa, J.G.S.M., Oliveira, P.T.S., Ballarin, A.S., Meira Neto, A.A., Gastmans, D., Jasechko, S., Fan, Y., Wendland, E.C. 2024. “Widespread potential for streamflow leakage across Brazil”. *Nature Communications*, 15, 10211. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54370-3>

Ullah, Z., Rashid, A., Ghani, J., Nawab, J., Zeng, X.C., Shah, M., Alrefaei, A.F., Kamel M., Aleya, L., Abdel-Daim, M.M. Iqbal, J. 2022. “Groundwater contamination through potentially harmful metals and its implications in groundwater management”. *Frontiers of Environmental Science*, 10: 1021596. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1021596

Vafaei, E., Ahangarkolaee, S.S., Lucas-Borja, M.E., Fami, R.S., Zema, D.A. 2021. “A framework to evaluate the factors influencing groundwater management in Water User Associations: The case study of Tafresh County (Iran)”. *Agricultural Water Management*, 255, 107013, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107013>

Vale, T. M., Santos, M.C. 2024. “Analysis and consistency of data on the purpose of use of water resource grants in the State of Tocantins in the Cnarrh40 system”. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, 9(2), 147–155. DOI: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v9i2.8087>

WPR – World Population Review. 2024. Cars by country 2025.

<https://worldpopulationreview.com/country-rankings/cars-by-country>

Yadav, S.K., Attry, B., Shukla, S., Dutta, S., Sharma, K., Rajak, R., Gupta, A., Baruah, B., Ranjan, R.K. 2024. “Distribution, toxicity load and risk assessment of heavy metals in the groundwater of Dhemaji, Assam, India”. *Chemosphere*, 358, 141979.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141979>

Yang, X., Dai, C., Liu, G., Meng, X., Li, C. 2024. “Evaluation of Groundwater Resources in the Middle and Lower Reaches of Songhua River Based on SWAT Model”. *Water*, 16, 2839.

<https://doi.org/10.3390/w1619283>

4 APÊNDICE

4.1 Questionário para Coleta de Informações sobre Lavagem de Veículos

1. Localização e nome do Empreendimento:

- Nome do estabelecimento: _____
- Coordenada Geográfica: _____

2. Nome Fantasia do Empreendimento:

- _____

3. Tipo de Lavagem (marcar as opções que se aplicam):

- ☐ Interna
- ☐ Externa
- ☐ Jato de Alta Pressão
- ☐ Rolo
- ☐ Outros: _____

4. Quantidade Semanal de Veículos Atendidos:

- _____

5. Tipos de Veículos Atendidos (marcar as opções que se aplicam):

- ☐ Carros
- ☐ Motos

- ☐ Caminhões
- ☐ Outros: _____

6. Fonte de Água Utilizada no Empreendimento:

- ☐ Subterrânea
- ☐ Rede Pública
- ☐ Outra: _____

7. O Empreendimento tem Captação de Água de Chuva?

- ☐ Sim
- ☐ Não

8. A Água Residuária é Lançada na (marcar a opção que se aplica):

- ☐ Rede Pública de Esgoto
- ☐ Fossa Séptica
- ☐ Outro: _____

9. Volume de Água Consumido por Dia/Semana:

- Volume diário: _____ litros.
- Volume semanal: _____ litros.

10. Capacidade da Caixa D'Água (se aplicável):

- _____ litros.

11. Quantidade de funcionários no estabelecimento:

- _____ Funcionários.