

Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3



Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Carneiro – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Ana Maria Aguiar Frias – Universidade de Évora

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva – Universidade de Coimbra

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
 Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof^ª Dr^ª Caroline Mari de Oliveira Galina – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
 Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
 Prof^ª Dr^ª Geuciane Felipe Guerim Fernandes – Universidade Estadual de Londrina
 Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadilson Marinho da Silva – Secretaria de Educação de Pernambuco
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. Jodeyson Islony de Lima Sobrinho – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof^ª Dr^ª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
 Prof^ª Dr^ª Kátia Farias Antero – Faculdade Maurício de Nassau
 Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal do Paraná
 Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Prof^ª Dr^ª Lucicleia Barreto Queiroz – Universidade Federal do Acre
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Universidade do Estado de Minas Gerais
 Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof^ª Dr^ª Marianne Sousa Barbosa – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^ª Dr^ª Marcela Mary José da Silva – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campina
 sProf^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pedro Henrique Máximo Pereira – Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 aProf^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
 Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
 Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^ª Dr^ª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Federal da Bahia / Universidade de Coimbra
 Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Luis Ricardo Fernandes da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
G342	<p>Geociências: desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 3 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0942-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.427231801</p> <p>1. Geociências. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 550</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA





A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

É com muito prazer que apresentamos a obra “Geociências: Desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 3”, que apresenta uma série de quatro artigos com diferentes propostas de análise espacial, com ênfase em estudos aplicados ou de cunho metodológico.

A obra é composta por trabalhos voltados para as geociências e que abordam diferentes perspectivas, desde análises voltadas para a perspectiva do ensino, análise geoespacial e dinâmica climatológica em áreas urbanas.

Convidamos os leitores a percorrer o sumário e conferir mais esse volume, com possibilidades e caminhos para a aplicação e disseminação das pesquisas em diferentes contextos e escalas de análise.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

CAPÍTULO 1	1
GEOTECNOLOGIA: UMA FERRAMENTA PARA USO EM CONTEÚDOS DE GEOGRAFIA E OUTRAS ELETIVAS NO ENSINO MÉDIO	
Katielle Ferreira Trindade	
Gilberto Aparecido Rodrigues	
Vanessa Amaro Vieira	
Jakeline Campos do Amorim	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318011	
CAPÍTULO 2	8
COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE DADOS ESPACIAIS POR GNSS PÓS PROCESSADOS E RTK	
Gerson Jonas Schirmer	
Rafael de Oliveira Cardoso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318012	
CAPÍTULO 3	22
ANÁLISE DE INDICADORES DINÂMICOS E TERMODINÂMICOS EM EVENTOS DE CHUVAS MUITO FORTES OCORRIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO ENTRE FEVEREIRO E ABRIL DE 2019	
Juliana Hermsdorff Vellozo de Freitas	
Fabrício Polifke da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318013	
CAPÍTULO 4	40
GÊMEOS DIGITAIS O METAVERSO PARA AS URBANIZAÇÕES INTELIGENTES	
Ísis Terezinha Santos de Santana	
Elcivan Bezerra Miranda	
Jhonata Jankowitsch Amorim	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318014	
SOBRE O ORGANIZADOR	52
ÍNDICE REMISSIVO	53

GEOTECNOLOGIA: UMA FERRAMENTA PARA USO EM CONTEÚDOS DE GEOGRAFIA E OUTRAS ELETIVAS NO ENSINO MÉDIO

Data de aceite: 02/01/2023

Katielle Ferreira Trindade

Curso Superior de Tecnologia em
Agronegócio
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga
– Taquaritinga – São Paulo – Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-2008-1939>

Gilberto Aparecido Rodrigues

Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga
– Taquaritinga – São Paulo – Brasil
Curso Superior de Tecnologia em
Agronegócio
<https://orcid.org/0000-0002-5123-9287>

Vanessa Amaro Vieira

Curso Superior de Tecnologia em
Agronegócio
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga
– Taquaritinga – São Paulo – Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-0454-5713>

Jakeline Campos do Amorim

Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal –
Taquaritinga – São Paulo – Brasil
Curso Superior de Tecnologia em
Biocombustíveis
<https://orcid.org/0000-0003-3753-1000>

complexa e ampla, indo além de aspectos físicos e ambientais. Deve-se considerar o ambiente como um local socialmente criado, compartilhado e sujeito a múltiplos interesses. O objetivo deste estudo foi identificar e mensurar a expansão urbana no distrito de Vila Negri, Taquaritinga, SP, fazendo-se o uso de imagens de satélite disponível no software Google Earth Pro (GEP). A metodologia utilizada nesse estudo foi o uso de imagens de satélite por comparação visual, usando-se o software livre GEP, para identificar e mensurar as variações na expansão urbana do referido distrito, por análise multitemporal, dentro do período 2004 a 2022. Os resultados mostraram que as alterações que ocorreram no distrito de Vila Negri nos últimos 18 anos foram marcadas muito mais pela alteração do uso e ocupação do solo, onde a cultura da cana-de-açúcar continua avançando e a citricultura resistindo.

PALAVRAS-CHAVE: Cobertura vegetal natural. Elementos urbanos. Espaço geográfico rural. Google earth pro. Mudanças urbanas.

RESUMO: Para compreender o ambiente urbano é importante que o meio ambiente seja entendido a partir de uma visão

GEOTECHNOLOGY: A TOOL FOR USE IN GEOGRAPHY CONTENT AND OTHER HIGH SCHOOL ELECTIVES

ABSTRACT: To understand the urban environment, it is important that the environment is understood from a complex and broad perspective, going beyond physical and environmental aspects. The environment must be considered as a socially created place, shared and subject to multiple interests. The objective of this study was to identify and measure urban sprawl in the district of Vila Negri, Taquaritinga, SP, using satellite images available in Google Earth Pro (GEP) software. The methodology used in this study was the use of satellite images by visual comparison, using the free software GEP, to identify and measure the variations in the urban expansion of that district, by multitemporal analysis, within the period 2004 to 2022. The results showed that the changes that occurred in the Vila Negri district in the last 18 years were marked much more by the change in land use and occupation, where the sugarcane culture continues to advance and the citrus industry is resisting.

KEYWORDS: Natural plant cover. Urban elements. Rural geographic space. Google Earth Pro. Urban Changes.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Maziero *et al.* (2021), relatam em seus estudos sobre o bom exemplo de ocupação humana no município de São Miguel do Oeste, SC, extremo oeste Catarinense, foram motivados por processos migratórios e curiosamente a cidade se estabeleceu próximo à cabeceira do Rio Guamirim, considerando intuitivamente características propícias, tais como relevo e proximidade de recurso hídrico. Tal estratégia de ocupação correspondem com Melo, Sousa e Moraes (2016), onde a ocupação de região urbanizada na cidade de Teresina, Piauí, se deu próximo a recursos hídricos, causando impactos significativos na paisagem natural, os quais foram facilmente detectados pela técnica de uso de imagens de satélite. A iniciativa de atração de investimentos para uma dada região, pode muitas vezes originar impactos econômicos, sociais e ambientais, podendo levá-los a um processo de êxodo rural e desterritorialização (VIANNA, 2020), muito semelhante aos relatos de Borges *et al.* (2020), que constataram um aumento da zona urbana e o surgimento dos problemas ambientais foram decorrentes de incentivos governamentais locais, devido à criação de conjunto habitacionais. Neste aspecto, Carvalho (2018) faz considerações importantes sobre a importância, uso e ocupação do solo em unidades hidrológicas, pois podem representar um importante indicador de qualidade do ambiente natural e de garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos do ecossistema urbano e rural.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no distrito de Vila Negri, município de Taquaritinga, SP, sob as coordenadas Latitude 21°23'40.74"S e Longitude 48°37'55.64"O. O clima da região é classificado como mesotérmico úmido de verão quente (Cwa). A constituição geológica da área pertence à formação Bauru e o relevo predominante e suave ondulado

(OLIVEIRA *et al.* 1999). A principal unidade de solo é classificada como Argissolos e a vegetação originária é composta pela Floresta Latifoliada Tropical.

Para a determinação da expansão urbana do distrito de Vila Negri, Taquaritinga-SP, foi utilizado o software livre *Google Earth Pro* (GEP), para o uso de práticas de demarcação territoriais adaptadas de Rodrigues, Ferrarezi e Bovério (2020), inicialmente no ano de 2003/2004 a expansão urbana foi iniciada através da determinação do local, dos quadrantes e do perímetro e área urbana do distrito, utilizando-se as ferramentas caminho, marcadores e polígono, respectivamente, para a realização dos transectos norte-sul, leste-oeste, identificação dos quadrantes 1, 2, 3 e 4, seguido dos contornos de área urbana e áreas de preservação permanente (APP)(Figura 1). Para obter imagens do passado (ano 2003/04) utilizou-se a ferramenta “Mostra de imagens históricas” e, em seguida, volta-se às imagens dos dias atuais com a mesma ferramenta, para permitir visualizar o contraste das mudanças nas duas imagens. As comparações multitemporais das imagens foram realizadas de acordo com Ongaratto e Rocha (2013).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fica bem evidenciado que o quadrante 1(Q1) tem como característica marcante uma grande área de preservação permanente (APP) com 5,6 km de perímetro e 21,8 ha de área, enquanto os quadrantes 2 e 4, apresentam uma área de APP bastante restrita e intimamente aderida ao ambiente urbano, o que faz com estas áreas sofram uma constante pressão ambiental intensa. Observa-se ainda nos quadrantes 1 e 2 da Figura 1 a instalação de área habitacional modesta, composta por 122 residências em fase inicial de construção, desprovida de infraestrutura urbana (asfalto e iluminação).

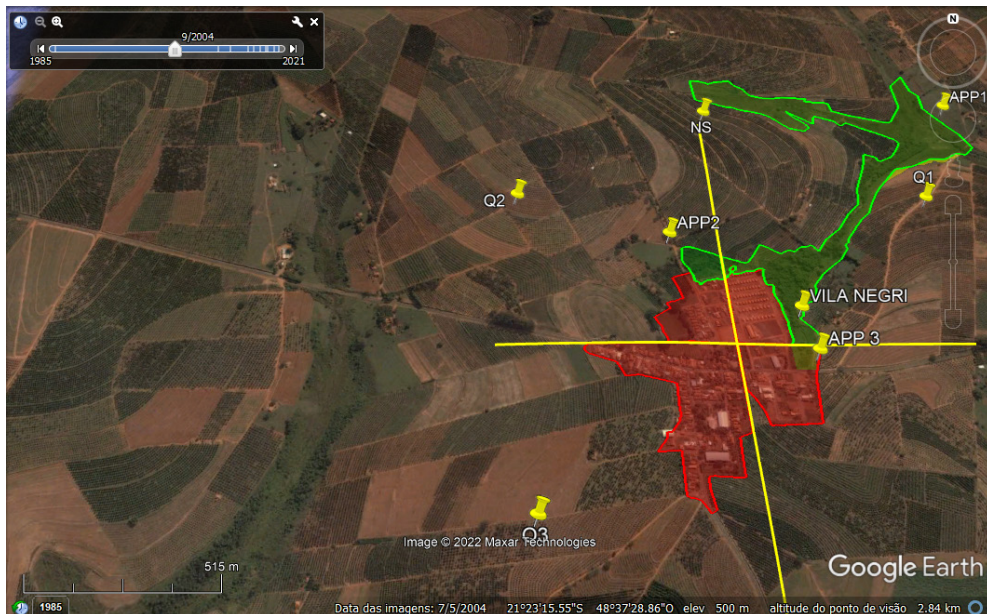


Figura 1. Linhas em amarelo representam os transectos norte-sul e leste-oeste. Linhas em vermelho indicam o contorno da área urbanizada. Em verde: contornos das Áreas de Preservação Permanente (APP); Q1, Q2, Q3 e Q4 representam os quadrantes. Círculo azul A: Ano de 2003/2004. Círculo azul B: Ano de 2022.

Fonte: Os autores (2022).

A mudança do uso e ocupação do solo foi mais expressivo como pode ser notada na Figura 1, a leste do distrito e mais ao norte, a cultura da cana-de-açúcar se faz mais presente. Estas mudanças ocorridas nestes 18 anos confirmam com Roma (2011), que verificou que tais mudanças no uso e ocupação do solo pela cultura da cana-de-açúcar alteraram significativamente a paisagem rural em várias regiões do Estado de São Paulo.

Quando se verifica a mesma imagem do distrito 18 anos depois (Figura 2), nota-se que as áreas de APP do quadrante 1 foram pouco alteradas. No entanto, destaca-se a área urbana nos quadrantes 1 e 2, onde houve ocupação humana, provavelmente oriunda das famílias agrícolas do ambiente rural próximo, ou mesmo da sede do município, por serem fonte de mão de obra de trabalho na área rural, principalmente para atender as demandas da das culturas de limão, laranja e goiaba, e assim evitar deslocamento constantes.

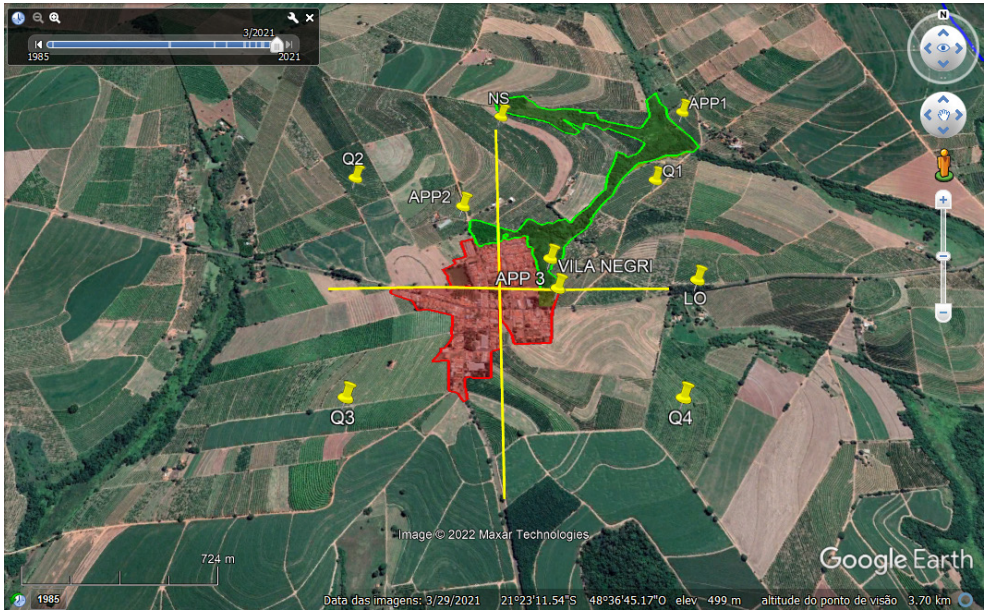


Figura 2. Linhas em amarelo representam os transectos norte-sul e leste-oeste. Linhas em vermelho indicam o contorno da área urbanizada. Em verde: contornos das Áreas de Preservação Permanente (APP); Q1, Q2, Q3 e Q4: representam os quadrantes. Círculo azul A: Ano de 2003/2004. Círculo azul B: Ano de 2022.

Fonte: Os autores (2022).

Borges *et al.* (2020) verificaram que as transformações urbanas de uma cidade pequena, com menos de 12000 habitantes, uma boa parte desta população se encontrava na zona rural em 2010, com o passar do tempo houve um aumento considerável da população na zona urbana, e os problemas ambientais que aconteceram foram em parte decorrentes de incentivos governamentais locais, principalmente o oferecimento de conjunto habitacionais.

A expansão urbana num distrito tão diminuto, ou as alterações que eventualmente ocorreram nos elementos urbanos sofreram poucas alterações no decorrer destes 18 anos. Mesmo rodeado por áreas de preservação, nota-se que a arborização no referido distrito é bastante rarefeita, e poderia ser melhor conduzida para garantir um melhor conforto térmico à população.

Ramos e Nunes (2018) resumiram o panorama das condições fundiárias e dos usos e parcelamentos do solo numa área específica de Goiânia-GO, usando Base Cartográfica Digital e georreferenciamento dos bairros, e assim foram identificados loteamentos regulares, irregulares e em processo de regularização. A organização do estudo foi executada basicamente na construção de mapas, e constataram que vários bairros e vilas estavam sem infraestruturas adequadas para a ocupação de um espaço urbano de qualidade, remetendo os munícipes a uma insegurança de posse da terra e do direito à

moradia.

Assis e Lopes (2013) ao utilizarem o software *Google Earth Pro* como ferramenta de orientação e de navegação, constataram uma interação expressiva com o *Google Earth Pro*, onde a visualização de imagens do espaço geográfico permitiu observar imagens, identificar, interpretar e analisar diferentes impactos causados pelas principais rodovias no estado do Paraná-PR. Além disso, notaram o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao uso da tecnologia e, simultaneamente, verificaram que a implementação do software possibilitou o aprofundamento de conteúdos geográficos.

4 | CONCLUSÕES

As técnicas empregadas neste estudo com o uso do software livre *Google Earth Pro* podem ser utilizadas por docentes do ensino médio em seus conteúdos curriculares de geografia, ciências, sociologia, entre outros conteúdos da rede pública de ensino. As alterações que ocorreram no distrito de Vila Negri nos últimos 18 anos foram marcados primeiramente muito mais pela alteração do uso e ocupação do solo, onde a cultura da cana-de-açúcar continua avançando e a citricultura resistindo.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Paula Souza (CPRJ) e a Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga por permitirem a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSIS, C. A. V. de e LOPES, C. S. Uso do google earth como ferramenta de aprendizagem no ensino de geografia. In: OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE. **Cadernos PDE**, vol. 1, 2013, 24p. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2013/2013_uem_geo_artigo_cristina_afonso_vieira_de_assis.pdf. ISBN 978-85-8015-076-6

BORGES, I.M. S.; LIMA, C. A. O.; FERNANDES, A. C. G.; NUNES, E. A. C.; ALVES, Á. E. F.; NUNES, E. A. C.; NUNES, F. J. B.; ROCHA, A. L. S. da; SANTOS JUNIOR, C. N. dos e BATISTA, C. dos S. O processo de urbanização e seus impactos ambientais na Cidade de Fagundes, Paraíba: recortes históricos. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5196>

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino De Geografia**, 1(36), 26–43, 2014. Recuperado de <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3172>

MAZIERO, C.; CAMPOS, J. R. R.; MELLO, N. A. e GODOY, C. M. T.; Expansão urbana do município de São Miguel do Oeste- SC, num contexto geomorfológico; **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, e300101421870,2021; DOI: <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21870>

MELO, J. C.; SOUSA, R. S. de e MORAES, M. V. A. R. Análise do espaço urbana no entorno da Ponte Estaiada; Teresina; Piauí através do uso de imagens do Google Earth. **REGNE**; vol.2; nº Especial (2016); p.1034 a 1044.

OLIVEIRA, J.B. de; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. e CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronômico, Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos, 1999, 64p. Mapa... Esc. 1:100.000. Color.

ONGARATTO, C. A. e ROCHA, P. S. M. Uso de imagens na transformação do e PMDRT. Plano Municipal de Desenvolvimento Rural de Taquaritinga – 2010-2013, 61p, 2013. Disponível em: http://www.cdrrs.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/592_

RAMOS, H. F. e NUNES, F. G. Expansão urbana e a questão fundiária: um reflexo da segregação territorial nas regiões Norte, Noroeste e Meia Ponte de Goiânia – GO. **Ateliê Geográfico** - Goiânia-GO, v. 13, n. 3, dez/2018, p. 94 – 116

ROCHA, A. C. L. da Transformações urbanas contemporâneas: uma análise sobre o município de Rio Bonito-Rio de Janeiro (RJ). **Espaço e Economia [Online]**, 9, 2016. Acesso em 30/07/2022.<http://journals.openedition.org/espacoeconomia/2324>.DOI: <https://doi.org/10.4000/espacoeconomia.2324>

RODRIGUES, F. M., PISSARRA, T. C. T. e CAMPOS, S. Análise temporal do uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do córrego da fazenda glória, município de Taquaritinga, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 314-324, julho-setembro, 2009. ISSN 1808-3765

RODRIGUES, G. A., FERRAREZI, L. A. e BOVÉRIO, M. A. Metodologia para determinação da abundância de árvores urbanas utilizando recursos de geotecnologias de acesso livre. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.8, n.3, 2020, p.172-178. DOI: <https://doi.org/10.20873>

ROMA, C. M. A expansão da cana-de-açúcar e do seu outro. **Geografia em questão**, v. 4, n.1, 2011, p. 95 -111. ISSN 2178-0234.

VIANNA, M. A.; As transformações no Espaço rural no município de Seropédica- RJ nas últimas décadas, **Espaço e economia** [online],19[2020]. <http://journals.openedition.org/espacoeconomia/16651>. ISSN: 2317-7837. DOI: 10.4000/espacoeconomia.16651

COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE DADOS ESPACIAIS POR GNSS PÓS PROCESSADOS E RTK

Data de aceite: 02/01/2023

Gerson Jonas Schirmer

GPS Pós-processado.

Rafael de Oliveira Cardoso

COMPARISON BETWEEN SPATIAL DATA COLLECTION TECHNIQUES BY PROCESSED GNSS AND RTK

RESUMO: O objetivo desta pesquisa consiste em apresentar as comparações entre as técnicas de obtenção de dados espaciais por GNSS Pós Processados e RTK. Na metodologia levou-se em consideração reflexões teóricas sobre as relações que envolvem os receptores GPS RTK e GPS pós-processado. Além disso, levou-se em consideração os trabalhos práticos realizados em campo para realização do comparativo entre as duas formas de georeferenciamento. Os trabalho de campo foram realizados no município de Santa Cruz do Sul, região central do estado do Rio grande do Sul. Conclui-se que a técnica RTK poderá ser empregada para determinação de pontos em áreas Urbanas, em diversas áreas do conhecimento como geografia, engenharias e arquitetura e Urbanismo, proporcionando maior rapidez na obtenção dos dados espaciais para posterior geração de mapas e apresentação de resultados de georeferenciamento.

PALAVRAS-CHAVE: Comparação, RTK,

ABSTRACT: The objective of this research is to present the comparisons between the techniques of obtaining spatial data by Post Processed GNSS and RTK. In the methodology, theoretical reflections on the relationships involving GPS RTK and post-processed GPS receivers were taken into account. In addition, the practical work carried out in the field was taken into account for the comparison between the two forms of georeferencing. The field work was carried out in the municipality of Santa Cruz do Sul, central region of the state of Rio Grande do Sul. It is concluded that the RTK technique can be used to determine points in urban areas in several areas of knowledge such as geography, Engineering and architecture, and Urbanism, providing greater speed in obtaining spatial data for later generation of maps and presentation of georeferencing results.

KEYWORDS: Comparison, RTK, GPS Post-processed.

1 | INTRODUÇÃO

A Topografia e a Geodésia, que de acordo com Espartel 1969, fazem parte da geografia matemática, desde os primórdios da ocupação do planeta pelo homem. São utilizadas na construção de estradas, sistematização de terrenos, delimitação de propriedades e cálculos astronômicos para melhor se localizar no espaço. Diante dos aprofundamentos científico ocorridos nessa área, atualmente utilização dos Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) torna-se imprescindível para elaboração de trabalhos que envolvem a área de geoprocessamento e georreferenciamento, tanto na ciência geográfica quanto nas engenharias e arquitetura.

Os estudos que envolvem Topografia e Geodésia vem crescendo muito nos últimos anos, passando a ter uma grande abrangência em todo território brasileiro devido à necessidade de regularização fundiária regulamentada por leis, normas e decretos, tendo como ferramentas de trabalho equipamentos eletrônicos, tais como, estações totais e receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de diferentes modelos e precisões. O presente trabalho foi realizado executando mensurações com GNSS Pós Processado e RTK (*Real Time Konstant*) para verificação de sua acurácia em levantamentos para fins de comprovação entre os dois métodos. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi demonstrar a qualidade dos dados obtidos com Receptores GNSS RTK, comparados aos dados de Receptores GNSS Pós Processados

Os equipamentos possíveis de serem utilizados para os trabalhos de georreferenciamento certificados pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) são estação total, GNSS Pós Processado e RTK, onde que os mesmos devem apresentar as precisões descritas na mesma (INCRA, 2010).

Os levantamentos com equipamentos pós-processados, consistem em utilizar uma base rastreadora de sinal de satélites que irá monitorar a movimentação dos mesmos durante o período de levantamento que é realizado nos vértices da área em estudo com observação das coordenadas, realizadas a cada cinco segundo.

Após os trabalhos concluídos, os dados obtidos dos receptores de base e móvel devem ser baixados e processados com software específico para a obtenção das coordenadas corrigidas e possibilitando assim a verificação da precisão horizontal e vertical das mesmas, sendo que para esse sistema o tempo de monitoramento varia entre 5 a 30 minutos para obtenção de um ponto estático rápido com precisão menor que 10 centímetros (INCRA, 2010).

Os equipamentos equipados com sistema de Real Time Kinematic (RTK) consistem em um par de receptores GNSS (Sistema Global de Levantamento por Satélite) que realizam levantamentos processados em tempo real, isentando o mesmo dos trabalhos de pósprocessamento, diminuindo o tempo de monitoramento em alguns segundos para obtenção de ponto fixo contendo precisão melhor que 10 centímetros, além de realizar

trabalhos de locação de pontos, linhas, altimetrias entre outros que não necessitem precisão melhor que um centímetro (INCRA, 2010).

Segundo López-Cuervo (1996), a topografia é uma ciência que utiliza de métodos e equipamentos topográficos para representar graficamente determinada área em estudo, com o máximo de detalhes naturais e artificiais, podendo ser utilizada também para locação exata de determinadas obras que necessitam de alta precisão com sondagem de solo, edifícios, barragens entre outros.

Segundo Teixeira (2010), o GNSS é uma tecnologia bastante avançada composta por dois sistemas principais: o GPS (Global Positioning System), desenvolvido pelos Estados Unidos; e o GLONASS, similar ao GPS, desenvolvido pela antiga URSS, hoje de total responsabilidade da Rússia. Os receptores têm por objetivo determinar as coordenadas geográficas de pontos sobre a superfície terrestre. Figueiredo (2005) afirma que o princípio utilizado pelo GPS e GLONASS é o conhecido como trilateração eletrônica, que consiste em determinar as distâncias de um ponto de posição não conhecido a outros três pontos de posição conhecida.

De acordo com Volpato et al. (2008), os receptores podem ser classificados de acordo com a precisão oferecida pelo equipamento como: receptores geodésicos sendo estes os mais acurados, com precisão de milímetros, capazes de captar duas frequências emitidas pelos satélites (L1 e L2); receptores topográficos, que têm características de trabalho semelhantes ao anterior, porém somente captam a frequência L1 e possuem precisão em centímetros

Os receptores GNSS são equipamentos rastreadores de sinal de satélite, onde este é emitido pelos mesmos direcionados sobre a superfície terrestre, os receptores calculam o tempo em que o sinal viaja do satélite até receptor calculando a distância entre eles, sendo assim com o monitoramento de no mínimo quatro satélites o receptor consegue calcular a sua posição com até três metros de erro, realiza-se então o pós-processamento para corrigir os vetores de ambiguidade e demonstra a coordenada correta de determinado ponto (LOCH & CORDINI, 2000).

Os receptores GNSS equipados com RTK possuem a capacidade de realizar o processamento das coordenadas em tempo real durante o levantamento, sendo assim demonstra no momento em que é realizada a demarcação, o erro horizontal e vertical referente à precisão do ponto marcado, porém, a correção da coordenada ocorre apenas na observação rastreada de segundo em segundo não havendo o armazenamento de diversas observações como ocorre no pós-processado (LOCH & CORDINI, 2000).

A importância desse trabalho se dá pelo fato que levantamentos topográficos podem apresentar erros que podem ocorrer durante o levantamento e também a precisão de cada método utilizado. Verificando a acurácia entre levantamento topográfico com GNSS pós-processado e RTK em áreas Urbanas.

Os erros dependentes de estação referem-se ao efeito do multicaminho e da

variação do centro de fase da antena. A escolha de um local livre de obstruções é a melhor forma de evitar o efeito multicaminho. O emprego de antenas calibradas ou de parâmetros de calibração, como por exemplo os fornecidos pelo NGS (National Geodetic Survey), propiciam a redução do erro provocado pela variação do centro de fase da antena. A antena do satélite GPS também sofre esses mesmos efeitos, que no posicionamento relativo podem ser desconsiderados. Para maiores detalhes sobre esses erros, consultar: Mader (1999) e Freiberger Jr. (2007)

A técnica de posicionamento diferencial RTK vem sendo aplicada em levantamentos preciso desde 1985 (MONICO, 2000), sendo que na última década foram realizados muitos testes para viabilizar o seu uso em atividades de levantamentos cadastrais, tanto no Brasil como em outros países.

O RTK é uma técnica de posicionamento rápida e precisa, o seu princípio de funcionamento é fundamentado na transmissão de correções diferenciais da estação de referência, para estação que se deseja conhecer as coordenadas denominadas de estação móvel (as estações devem ser equipadas com receptores GPS, e um meio de comunicação para transmissão dos dados). A transmissão dos dados é feita por meio de um enlace, que pode ser rádio de comunicação, linha telefônica, sub-portadora FM (RDS) ou satélites de comunicação (TALBOT, 1996 in FREIBERGER JUNIOR, 2002).

O que é exatamente o GPS RTK? Na prática com o GPS (ou GNSS) você pode fazer dois tipos de levantamento, o mais comum é o pós-processado, onde, com pelo menos um par de receptores, um na base (ponto previamente conhecido) e outro de levantamento, o profissional percorre os pontos a levantar gravando informações transmitidas pelos satélites GNSS (na base também) por um intervalo de tempo, pelo processo de posicionamento conhecido como “stop and go”. Após o término dos trabalhos de campo, você descarrega as leituras gravadas nos dois receptores em um computador e processa os dados em um programa específico, só aí irá saber se obteve êxito nos resultados calculados, (ou terá que repetir parte do serviço de campo).

Já o RTK (Levantamento em tempo real), além dos dois receptores L1/L2, estes devem também possuir um sistema de comunicação de rádio e processamento que permite que o aparelho que está na Base transmita as correções das leituras para o aparelho Móvel em tempo real. Isto permite que o resultado seja conhecido na hora, dando ao profissional a opção de só registrar os resultados quando estes estiverem dentro da precisão desejada, que geralmente acontece com muita rapidez, além do mais não é necessário calcular mais nada no escritório. Some-se a isso, o fato de ser possível fazer locações com o RTK, o que é impossível com receptores exclusivamente só pós-processado. Detalhe, os *Global Position System* (GPS) RTK também trabalham como pós-processado.

2 | METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com uma abordagem quantitativa. Sendo que para realização deste artigo levou-se em consideração reflexões teóricas sobre as relações que envolvem os receptores GPS RTK e GPS pós-processado. Além disso, levou-se em consideração os trabalhos práticos realizados em campo para realização do comparativo entre as duas formas de georreferenciamento. Os trabalhos de campo foram realizados no município de Santa Cruz do Sul, região central do estado do Rio Grande do Sul.

Afixou-se cinco (05) chapas metálicas em uma área de estudo de comprovação dos métodos Estático Pós Processado e RTK, dentro do centro da cidade de Santa Cruz do Sul, conforme mostra a figura 1. Procurou-se pontos onde possivelmente pudesse ter alguma influência como construções próximas, influência por edificações de grande porte, arbustos entre outros, para que assim pudesse contemplar toda e qualquer adversidade que foi encontrado no serviço de campo das Redes de Água da CORSAN.



Figura 1 - Espaçamentos dos pontos coletados

O processamento da Base e consequentemente dos pontos foi realizado com Base Navegada, com Base Triangulada, figura 2, com as antenas de Santa Maria, Porto Alegre e Pelotas, utilizando-se os métodos de triangulação com efemérides transmitidas e precisas, determinou-se também o posicionamento preciso. Todas essas formas de calcular a posição dos pontos foi aplicada ao Pós-Processamento e ao RTK. A Base foi determinada com tempo superior a 4 horas para determinar os demais pontos. Os pontos de enquadramento (Pt) foram obtidos através do modo estático. Para fins de Pós-Processamento coletaram-

se os pontos (Pt) com o tempo de rasteio de 20 minutos no Levantamento. Com o RTK procedeu-se a coleta de dados de forma estática, porém de duas maneiras, com tempo de 20 a 30 segundos

A fixação da Base foi realizada com Tripé, e a antena transmissora do RTK, foi anexada junto a Base, enquanto a Base coletava os dados foi feito o levantamento com o RTK e o Pós-Processado dos pontos e vértices, utilizando um bastão de 2,00 metros de altura, e o mesmo era posicionado sobre o ponto com um tripé especial para bastão, este tripé permitia aprumar os aparelhos, evitando erros grosseiros. Poderia ter sido utilizado um bastão de maior altura para melhorar o sinal, no entanto como o interesse do trabalho é precisão, uma maior altura do bastão, tipo 8 metros, melhoraria o sinal GPS e RTK, porém teríamos imprecisão na colocação do bastão pela altura, a taxa de gravação dos sinais recebidos pelos satélites pelo receptor GNSS foi de 1 segundo e a máscara de elevação 15 Graus.

Os pontos foram coletados em sistema estático Pós Processado e RTK, pois o equipamento possui as duas opções, de forma que não se precisou movimentar o bastão, permitindo que os pontos coletados fossem exatamente os mesmo e em dia e horário próximos, fazendo que com isto as constelações de satélites fossem as mesmas em cada ponto levantado.



Figura 2 - Receptor instalado próximo a grandes edificações

Para obtenção das coordenadas das chapas metálicas implantadas utilizou-se receptor GNSS Pós Processado e RTK, para esta finalidade de comparar a precisão da utilização de aparelho Receptor GNSS RTK no serviço de trabalho de campo da CORSAN. Neste caso, adota-se o uso da fase de batimento da portadora (receptores L1 e/ou L1/L2), pelo método relativo pós-processado, utilizando-se os métodos de posicionamento Estático, Rápido-Estático, Stop and Go e Cinemático.

O método Estático é caracterizado por tempos de posicionamento superiores a 20 minutos, enquanto no método rápido-estático os tempos de posicionamento são inferiores a 20 minutos. Nos dois métodos são gerados 1 arquivo de dados brutos para cada ponto levantado, os quais deverão ser processados a partir dos dados brutos coletados no ponto Base, onde nesta deve-se ter um receptor GNSS coletando as observáveis GNSS durante todo o tempo em que o receptor móvel estiver sendo utilizado. Estes dois métodos são mais indicados em áreas em que haja ocorrência significativa de obstruções necessitando, portanto, de um tempo maior de posicionamento para garantir a fixação das ambiguidades (solução fixa).

O método Stop and Go é indicado para o levantamento de áreas livres de obstruções, tornando-se vantajoso devido a possibilidade de redução no tempo de posicionamento. Normalmente adota-se um procedimento de inicialização, que consiste em posicionar sobre um ponto qualquer e deixá-lo rastreando as observáveis por pelo menos 5 minutos (podendo-se permanecer por um tempo maior caso julgue necessário). Em seguida, os demais pontos do levantamento serão observados com um tempo mais curto. Normalmente recomenda-se pelo menos 30 épocas para cada ponto. Nesse contexto, configurando-se os receptores Base e Rover com uma taxa de gravação de 1 segundo, bastariam 30 segundos de posicionamento nos demais pontos do levantamento. Vale salientar que caso haja perda de sinal durante o trajeto entre os pontos, haverá a necessidade de uma nova inicialização de pelo menos 5 minutos. Neste método será gerado apenas um arquivo de dados brutos, o qual deverá ser processado a partir dos dados brutos coletados no ponto Base.

Ainda se considerando a aplicação em Levantamentos Topográficos, pode-se utilizar das técnicas de posicionamento em tempo real (RTK). Estas se tornam mais produtivas e confiáveis uma vez que durante a etapa de levantamento tem-se as correções em tempo real, permitindo assim acompanhar a solução do vetor (fixo ou flutuante) e a precisão obtida no mesmo instante do levantamento. Nestas condições o tempo de posicionamento será rápido, uma vez que apenas uma época será necessária para registro de cada ponto de interesse.

2.1 Materiais utilizados

Utilizou-se de uma Furadeira e parafusadeira marca BOSCH GSB-14,4 V-Li Professional, para confecção de furos para implantação de chapas metálicas com o auxílio de buchas plásticas e parafusos. Fez-se o uso de uma broca de vídea de 8mm

para confecção de furos. Afixou-se as buchas plásticas com parafusos de Aço inox, com o auxílio de BITS de Aço inox.

Fez se o uso de receptores GNSS Pós Processado e de Receptores GNSS RTK, para obtenção das coordenadas dos pontos. No aparelho GNSS foram utilizados no rastreamento sinais da constelação de satélites GPS e GLONAS.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aparelho GNSS é o par medidor L1/L2 Pós-Processado e RTK composto de dois receptores e uma coletora de dados. A capacidade de rastreamento é de até 60 satélites simultaneamente, rastreia todos os sinais da constelação GPS (Código e Fase L1, L2, L2C e preparado para L5) e Glonass (código e Fase L1 e L2) e está preparado para o sistema Galileo e Compass, através de atualizações via software sem alteração de hardware. Permite levantamentos RTK e Pós-Processados nos modos Estático, Estático Rápido e Cinemático. A precisão possível é de 3 mm + 0,5ppm (horizontal), 6mm + 0,5ppm (vertical) para ocupações no modo Estático, 5mm + 0,5ppm (horizontal), 10mm + 0,5ppm (vertical) no modo Estático rápido, 10mm + 1ppm (horizontal), 20mm + 1ppm (vertical) no modo Cinemático e precisão típica de 25 cm para posicionamento em código diferencial DGNS.

O rastreamento da base foi realizado em uma seção e a quantidade de satélites foi de no mínimo sete satélites, usou-se a constelação GPS e GLONASS. A ocupação da Base, ocorreu no dia vinte e quatro de dezembro de 2016 com quatro horas da tarde vinte e dois minutos e vinte segundos.

O pós-processamento da base foi realizado utilizando-se o método de triangulação com as bases da RBMC de Santa Maria, Porto Alegre e Pelotas, com efemérides precisas final e transmitidas, tendo desta forma um resultado de triangulação e um segundo dado foi obtido pelo método PPP. Os resultados estão demonstrados a seguir.

Em análise aos relatórios emitidos pelos sistemas em que apresenta a solução de posicionamento do método estático Pós Processado e pelo método RTK, pode-se constatar que, os pontos apresentaram os parâmetros de acurácia similares conforme podemos observar nas Tabelas 2 – Dados obtidos pelo método Estático Pós Processados e Tabela 3 - Dados obtidos pelo método RTK.

Os dados dos arquivos obtidos pelo método Estático Pós Processado,

RELATÓRIO DOS PONTOS

Nome	Malha Este (m)	Malha Norte (m)	Alt Elip (m)	Código	Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)	Z (m)	Desv Padrão e (m)	Desv Padrão n (m)	Desv Padrão u (m)	Desv Padrão Hz (m)
BASE1	361290,677	6710280,03	99,964	BASE	29°43'47,7 1170"S	52°26'03,2 5457"W	3379563,109	-43938 81,008	-31444 60,689	0,016	0,017	0,048	0,023
POAL	488457,545	6673004,053	76,745	RBMC	30°04'26,5 5281"S	51°07'11,1 5319"W	3467519,403	-43003 78,533	-31775 17,731	0,002	0,001	0,002	0,002
RSPE	365804,969	6480585,96	37,13	RBMC	31°48'08,8 1801"S	52°25'03,4 6279"W	3309121	-42997 17,183	-334185 4,186	0,001	0,002	0,008	0,002
SMAR	237205,247	6709269,527	113,112	RBMC	29°43'08,1 2599"S	53°42'59,7 3531"W	3280748,411	-44689 09,743	-31434 08,685	0,001	0,001	0,001	0,001

OCUPAÇÕES GNSS

Nome Ponto	Tipo Antena	Altura Antena (m)	Hora Início	Hora Fim	Duração	Método	Interval (msec)	GPS week,-day	ÉpocaN
BASE1	GRX1	2,2	24/12/2016 08:20	24/12/2016 12:42	04:22:20	Estático	5000	1928,359	3148
POAL	TRM59 800.00 NONE	0,007	23/12/2016 21:00	24/12/2016 21:00	24:00:00	Estático	15000	1928,359	5760
RSPE	TRM59 800.00 NONE	0,008	23/12/2016 21:00	24/12/2016 21:00	24:00:00	Estático	15000	1928,359	5760
SMAR	TRM59 800.00 NONE	0,008	23/12/2016 21:00	24/12/2016 21:00	24:00:00	Estático	15000	1928,359	5760

OBSERVAÇÕES GNSS

Nome	Tipo Solução	Satélites GPS	Satélites GLO-NASS	PDOP	Distancia (m)	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	RMS	Status
BASE 1- POAL	Fixo,Pista Larga	15	13	1,711	132558,672	87956,281	93502,564	-33056,989	0,055	Auto-Rejected
BASE 1- RSPE	Flutuante,Pista Larga	15	13	1,711	229767,517	-70442,266	94164,058	-197393,337	0,073	Auto-Rejected
BASE 1- SMAR	Fixo,Pista Larga	15	13	1,706	124075,632	-98814,698	-75028,735	1052,004	0,053	Ajustado

Tabela 1 - Processamento da Base

RELATÓRIO DOS PONTOS

Nome	Malha Este (m)	Malha Norte (m)	Alt Elip (m)	Código	Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)	Z (m)	Desv Padrão e (m)	Desv Padrão n (m)	Desv Padrão u (m)	Desv Padrão Hz (m)
BASE1	3612 90,651	671028 0,032	99,98	BASE	29°43' '47,7 1162'S	52°2'6'03 ,25552"W	33795 63,098	-439 3881, 036	-314 4460 ,695	0,015	0,004	0,017	0,016
P2051	36160 3,297	6711546 ,477	57,782	MAR- CO- CHAPA	29°43' 06,7036 9'S	52°2'5'51 ,03706"W	33801 82,758	-439 4148 ,027	-3143 343, 222	0,015	0,005	0,02	0,016
P2052	361 588,462	671115 22,421	57,546	MAR- CO- CHAPA	29°43' '07,47 905'S	52°25'51, 60015"W	33801 63,421	-439 4147 ,711	-3143 363,8 39	0,015	0,005	0,018	0,016
P2053	36219 6,559	671118 44,336	67,762	MAR- CO- CHAPA	29°42' 57,26 735'S	52°2'5'28 ,82528"W	33807 49,044	-4393 905,0 29	-314 3095 ,825	0,015	0,005	0,018	0,016
P2054	362108 ,185	6711855 ,879	65,694	MAR- CO- CHAPA	29°42' 56,85 702'S	52°2'5'32, 10828"W	33806 81,833	-439 3962 ,378	-31 43083 ,827	0,015	0,005	0,02	0,016
P2055	3620 56,579	6711 852,814	62,202	MAR- CO- CHAPA	29°4'2'56 ,93592"S	52°25'34, 02987"W	33806 38,314	-439 3990 ,515	-3143 084,2 05	0,016	0,006	0,023	0,017

OCUPAÇÕES GNSS

Nome Ponto	Tipo Antena	Altura Antena (m)	Hora Início	Hora Fim	Duração	Método	Interval (msec)	GPS week,-day	Época N
BASE1	GRX1	2,2	24/12/2016 08:20	24/12/2016 12:42	04:22:20	Estático	5000	1928, 359	3148
P2051	GRX1	2	24/12/2016 09:01	24/12/2016 09:17	00:15:30	Estático	5000	1928, 359	186
P2052	GRX1	2	24/12/2016 09:33	24/12/2016 09:50	00:16:55	Estático	5000	1928, 359	203
P2053	GRX1	2	24/12/2016 10:19	24/12/2016 10:40	00:21:05	Estático	5000	1928, 359	253
P2054	GRX1	2	24/12/2016 11:11	24/12/2016 11:27	00:16:30	Estático	5000	1928, 359	198
P2055	GRX1	2	24/12/2016 11:38	24/12/2016 11:54	00:15:50	Estático	5000	1928, 359	190

OBSERVAÇÕES GNSS

Nome	Tipo Solução	Satélites GPS	Satélites GLO-NASS	PDOP	Distância (m)	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	RMS	Status
BASE1-P2051	Fixo	7	6	2,339	1305,377	619,66	-266, 991	1117, 473	0,012	Ajustado

BASE1-P2052	Fixo	6	7	1,76	1278,513	600,323	-266,675	1096,856	0,007	Ajustado			
BASE1-P2053	Fixo	9	5	2,233	1808,29	1185,946	-23,993	1364,87	0,008	Ajustado			
BASE1-P2054	Fixo	8	5	2,093	1775,936	1118,734	-81,342	1376,868	0,011	Ajustado			
BASE1-P2055	Fixo	8	4	2,264	1750,085	1075,216	-109,479	1376,489	0,017	Ajustado			

Tabela 2 – Dados obtidos pelo método Estático Pós Processados

RELATÓRIO DOS PONTOS

Nome	Malha Este (m)	Malha Norte (m)	Alt Elip (m)	Código	Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)	Z (m)	Desv Padrão e (m)	Desv Padrão n (m)	Desv Padrão u (m)	Desv Padrão Hz (m)
BASE1	361290,651	6710280,032	99,98	BASE	29°43'47,71162"S	52°26'03,25552"W	3379563,098	-4393881,036	-3144460,695	0,015	0,004	0,017	0,016
P2051_RTK	361603,288	6711546,477	57,799	CHAPA	29°43'06,70368"S	52°25'51,03739"W	3380182,76	-4394148,044	-3143343,23	0,015	0,005	0,018	0,016
P2052_RTK	361588,468	6711522,427	57,517	CHAPA	29°43'07,47888"S	52°25'51,59992"W	3380163,413	-4394147,69	-3143363,82	0,015	0,005	0,018	0,016
P2053_RTK	362196,561	6711844,336	67,754	CHAPA	29°42'57,26736"S	52°25'28,82520"W	3380749,041	-4393905,021	-3143095,82	0,015	0,005	0,017	0,016
P2054_RTK	362108,184	6711855,877	65,642	CHAPA	29°42'56,85710"S	52°25'32,10833"W	3380681,803	-4393962,342	-3143083,803	0,015	0,005	0,018	0,016
P2055_RTK	362056,571	6711852,804	62,184	CHAPA	29°42'56,93623"S	52°25'34,03017"W	3380638,295	-4393990,503	-3143084,205	0,015	0,005	0,018	0,016

OCUPAÇÕES GNSS

Nome Ponto	Tipo Antena	Altura Antena (m)	Hora Início	Hora Fim	Duração	Método	Interval (msec)	GPS week, -day	ÉpocaN
BASE1	GRX1	2,2	24/12/2016 08:20	24/12/2016 12:42	04:22:20	Estático	5000	1928,359	3148
BASE1	GRX1	2,2	24/12/2016 08:18	24/12/2016 12:24	04:06:31	Base		1928,359	
P2051_RTK	GRX1	2	24/12/2016 09:00	24/12/2016 09:01	00:00:30	Topo	1000	1928,359	30
P2052_RTK	GRX1	2	24/12/2016 09:32	24/12/2016 09:32	00:00:30	Topo	1000	1928,359	30

P2053_ RTK	GRX1	2	24/12/ 2016 10:18	24/12/ 2016 10:19	00:00 :30	Topo	1000	1928, 359	30				
P2054_ RTK	GRX1	2	24/12/ 2016 11:10	24/12/ 2016 11:10	00:00 :30	Topo	1000	1928 ,359	30				
P2055_ RTK	GRX1	2	24/12/ 2016 11:54	24/12/ 2016 11:55	00:00 :30	Topo	1000	192 8,359	30				

OBSERVAÇÕES GNSS

Nome	Tipo Solução	Satélites GPS	Satélites GLO-NASS	PDOP	Distância (m)	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	RMS	Status
BASE1- P2051_ RTK	Fixo,Dif de Fase	7	4	2,145	1305,3 81	619,556	-266, 871	1117, 564	0,007	Ajustado
BASE1- P2052_ RTK	Fixo,Dif de Fase	5	6	2,518	1278,5 28	600,209	-266,5 16	1096, 974	0,006	Ajustado
BASE1- P2053_ RTK	Fixo,Dif de Fase	8	3	1,922	1808,2 96	1185, 838	-23,848	1364, 974	0,004	Ajustado
BASE1- P2054_ RTK	Fixo,Dif de Fase	8	5	2,689	1775, 939	1118,6	-81,169	1376,9 91	0,007	Ajustado
BASE1- P2055_ RTK	Fixo,Dif de Fase	6	4	2,565	1750,0 78	1075, 091	-109,33	1376, 589	0,006	Ajustado

Tabela 3 - Dados obtidos pelo método RTK

Com as novas observáveis nos satélites e a etapa da modernização do GPS contempla a introdução de mais um código civil na portadora L1, um código civil na portadora L2 e uma terceira frequência civil denominada L5. As principais vantagens que estas novas observações trarão aos usuários civis estão relacionadas com a qualidade dos novos códigos, redução dos efeitos da ionosfera e melhoria na solução das ambiguidades.

Dentre as novas observações civis previstas na modernização do GPS, a primeira a ser implementada é o código civil na portadora L2, denominado de L2C. Comparado com o código C/A, o L2C é menos suscetível a interferências e a multicaminho.

A estrutura do outro código civil na portadora L1, a L1C, foi definida para ser similar ou idêntica ao código aberto do Galileo, sistema de navegação europeu em desenvolvimento. Isto facilitará a integração entre estes sistemas (HUDNUK e TITUS, 2004).

As principais vantagens da inclusão da terceira frequência L5 estão relacionadas com a redução dos efeitos da ionosfera e a solução da ambiguidade (SANTOS, 2000; JPO, 2002).

PONTOS OBTIDOS PELO MÉTODO RTK						
Ponto	BASE1	P2051_RTK	P2052_RTK	P2053_RTK	P2054_RTK	P2055_RTK
Coord. E	361290,651	361603,288	361588,468	362196,561	362108,184	362056,571
Coord. N	6710280,032	6711546,477	6711522,427	6711844,336	6711855,877	6711852,804
PONTOS OBTIDOS PELO MÉTODO PÓS PROCESSADO						
Ponto	BASE1	P2051	P2052	P2053	P2054	P2055
Coord. E	361290,651	361603,297	361588,462	362196,559	362108,185	362056,579
Coord. N	6710280,032	6711546,477	6711522,421	6711844,336	6711855,879	6711852,814
COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS						
Diferença E	0,000	-0,009	0,006	0,002	-0,001	-0,008
Diferença N	0,000	0,000	0,006	0,000	-0,002	-0,010

Tabela 4 - Comparação de resultados entre os métodos

As diferenças apresentadas nos pontos do Levantamento conforme observados na Tabela 4 - Comparação de resultados entre os métodos, seguem um padrão igual ou inferior a um centímetro (01 cm), em termos de variação por métodos de pós-processamento utilizados. Quando comparados os dados obtidos com RTK, entre os dois métodos utilizados, temos uma variação muito baixa, dando uma maior segurança nos dados obtidos, a variação entre o RTK e posicionamento do GNSS pós-processado com efemérides (efemérides precisas final) aumenta, porém, sem comprometer a boa qualidade do posicionamento, confirmando que o RTK e o GNSS, apresentam as mesmas soluções de qualidade.

4 | CONCLUSÃO

Ao realizar o trabalho prático e analisar os resultados obtidos percebeu-se que o uso da técnica RTK e pós- processamento de dados espaciais levantados com receptores GNSS, possuem grande relação complementar com a área de geoprocessamento. Além disso são técnicas que permitem maior precisão no cadastramento e georreferenciamento de dados espaciais.

Os resultados obtidos foram valores quantificados de modo consistente e seguros em termos de precisão e acurácia, aprovam o uso da Técnica *RTK*, pois são resultados das comparações com coordenadas dos pontos levantados.

O uso desta técnica proporciona vantagens em relação aos métodos tradicionais de levantamento, destacando-se a alta produtividade (menor tempo de trabalho em campo), facilidade de execução devido a facilidade de acesso a base e correção em tempo real.

Conclui-se que a técnica *RTK* poderá ser empregada para determinação de pontos em áreas Urbanas, proporcionando maior rapidez na obtenção dos dados espaciais para

posterior geração de mapas e apresentação de resultados de georeferenciamento para diversas áreas do conhecimento.

REFERÊNCIAS

ESPARTEL, L. Curso de Topografia. Porto Alegre. Editora Globo. 1969.

FREIBERGER, J. Jr. **Análise da degradação do posicionamento em tempo real com o emprego do GNRT**. Universidade Federal do Paraná, Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná, 2002, 136p.

FREIBERGER JR.,J. Investigações sobre a calibração de antenas GPS. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2007

JPO. Navstar GPS Space Segment / User Segment L5 Interfaces. ICD-GPS-705, 2ª ed., dezembro, 2002. p. 67. Disponível em: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/Number.pdf> Acesso em: 02 JAN 2017.

LOCH, C; CORDINI, J. Topografia contemporânea: planimetria. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000.

LÓPEZ-CUERVO, S. Y. E. Topografia. 2.ed. Espanha: Editora Mundi-Prensa, 1996.

MADER,G.L. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey, GPS Solutions, Volume 3, Number 1, July 1999, p. 50-58.

Norma Técnica Para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. INCRA. 2. ed. 2010.

SANTOS, M. C. Impacto do 3º Sinal no GPS, InfoGeo, nº15 , p.22, 2000.

TEIXEIRA, N. N. Posicionamento e Navegação por Satélites. Apostila do Curso de PósGraduação em Geotecnologias – Soluções de Inteligência Geográfica. EEEMBA, Salvador, BA, 2010.

VOLPATO, M. M. L.; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; SOUZA, V. C. O. GPS de navegação: dicas ao usuário. Circular Técnica. EPAMIG. Belo Horizonte, 2008. 4p.

ANÁLISE DE INDICADORES DINÂMICOS E TERMODINÂMICOS EM EVENTOS DE CHUVAS MUITO FORTES OCORRIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO ENTRE FEVEREIRO E ABRIL DE 2019

Data de submissão: 01/11/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Juliana Hermsdorff Vellozo de Freitas

Universidade Federal do Rio de Janeiro
– UFRJ, Departamento de Meteorologia,
Instituto de Geociências - CCMN
Rio de Janeiro – RJ
<https://lattes.cnpq.br/8449226071933523>

Fabrcio Polifke da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro
– UFRJ, Departamento de Meteorologia,
Instituto de Geociências - CCMN
Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/6798831594413989>

RESUMO: Eventos de chuvas muito fortes são responsáveis por ocasionar inúmeros transtornos à sociedade como, por exemplo, impactos na mobilidade urbana, múltiplos alagamentos, inundações, deslizamentos de terra, e, nos casos mais severos, perda de vidas. Neste contexto, o conhecimento das condições atmosféricas associados a eventos de chuvas muito fortes que ocorreram no passado pode fornecer diretrizes para um melhor reconhecimento de novos possíveis eventos de chuva no futuro. Este trabalho procurou caracterizar as condições atmosféricas associadas à formação de seis eventos de chuvas

muito fortes que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e março de 2019 utilizando as saídas do modelo *Weather Research and Forecasting (WRF)* utilizando os dados de previsão do *Global Forecasting System (GFS)*. Através das análises, verificou-se que as variáveis termodinâmicas apresentaram, em média, valores favoráveis à chuva intensa poucas horas antes à ocorrência de precipitação, principalmente associadas à disponibilidade de umidade nos baixos níveis da atmosfera. Os resultados das variáveis dinâmicas caracterizaram a presença de uma circulação vertical média favorável ao movimento ascendente do ar. Através da análise de agrupamento verificou-se que o aumento da umidade específica e a diminuição da intensidade dos ventos entre os baixos e médios níveis da atmosfera apresentaram a maior similaridade à ocorrência de precipitação. Para um estudo de caso referente ao evento de chuva muito forte ocorrido em 08 de abril de 2019 foi possível observar a presença concomitante de gatilhos dinâmicos, instabilidade atmosférica e disponibilidade de umidade nos horários em que foram observadas as maiores taxas de precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas muito fortes;

ANALYSIS OF DYNAMIC AND THERMODYNAMIC INDICATORS IN HEAVY RAINFALL EVENTS OVER RIO DE JANEIRO CITY BETWEEN FEBRUARY AND APRIL 2019

ABSTRACT: Heavy rainfall events are responsible for causing numerous disruptions to society, such as impacts on urban mobility, multiple floods, landslides, and, in the most severe cases, loss of life. In this context, knowledge of the weather conditions associated with heavy rainfall events occurred in the past can provide guidelines for a better recognition of possible future rainfall events. This work aimed to characterize the atmospheric conditions associated to the formation of six heavy rainfall events that occurred in the city of Rio de Janeiro between February and March of 2019 using the Weather Research and Forecasting (WRF) model outputs using the forecast data of the Global Forecasting System (GFS). Through the analyzes, it was verified that the thermodynamic variables showed, in average, maximum values a few hours before the occurrence of precipitation, mainly associated with the availability of humidity in the low levels of the atmosphere. The results of the dynamic variables characterized the presence of an average vertical circulation favorable to the upward movement of the air. Through the cluster analysis it was verified that the increase of the specific humidity and the decrease of the intensity of the winds between the low and middle levels of the atmosphere presented the greater similarity to the occurrence of precipitation. From a case study analysis referring to the event of very strong rain that occurred on April 8, 2019, it was possible to observe the concomitant presence of dynamic triggers, atmospheric instability and humidity availability at the times when the highest precipitation rates were observed.

KEYWORDS: Heavy rainfall; extreme events; atmospheric indicators; Rio de Janeiro; Alerta Rio warning system.

1 | INTRODUÇÃO

O entendimento dos sistemas meteorológicos que favorecem a ocorrência de chuvas intensas e suas consequências em diversas escalas espaço-temporais tem sido estudado por um maior número de cientistas nos últimos anos. Assim, a busca por previsões de chuvas intensas mais precisas tornou-se um tema a ser abordado não somente pela comunidade científica das ciências atmosféricas, mas multidisciplinar devido à capacidade das chuvas em modificar as características do ambiente natural e urbano com o qual interage (Lemos & Calbete, 1996).

A ocorrência de altos acumulados de precipitação no estado do Rio de Janeiro está principalmente associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul, passagem de sistemas frontais (Seluchi & Chou, 2009; Dereczynski *et al.*, 2009) ou o desenvolvimento de sistemas convectivos isolados (Teixeira & Satyamurty, 2006). A cidade do Rio de Janeiro, sempre esteve exposta a eventos de chuvas intensas, principalmente os meses de verão e outono, ocasionando inúmeros transtornos para a população residente (Luz Barcellos, 2009; Dereczynski *et al.*, 2017).

Devido às consequências das chuvas na cidade do Rio de Janeiro, criou-se em 1996 o Sistema Alerta Rio (<http://alertario.rio.rj.gov.br>), com uma rede de medição de precipitação e com o objetivo de emitir avisos para os órgãos da Prefeitura da cidade do Rio e população.

A distribuição dos acumulados pluviométricos mensais coletados pelas 33 estações telemétricas do Sistema Alerta Rio entre 1998 e 2018 pode ser visto através da Figura 1. Os meses com maiores acumulados pluviométricos se encontram entre novembro e março, apresentando os maiores valores médios mensais para o mês de janeiro com aproximadamente 200 mm.

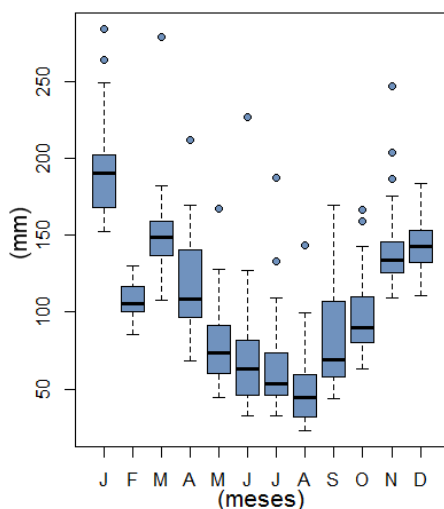


Figura 1 Acumulados pluviométricos mensais médios observados na rede de monitoramento do Sistema Alerta Rio.

O Sistema Alerta Rio, atualmente sediado no Centro de Operações Rio (COR), encontra neste ambiente, uma maior ampliação dos seu boletins e avisos de chuva. O COR foi criado pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro para fornecer um melhor serviço operacional à população (<http://cor.rio/>).

Visando aprimorar a previsão e monitoramento das condições do tempo, especialmente da chuva, na cidade do Rio de Janeiro, o COR sediou no dia 18 de outubro de 2018, o I Workshop “Desafios da Meteorologia na Gestão Urbana” (<http://cor.rio/1workshop/>). Após este evento, verificou-se a necessidade de pesquisas voltadas diretamente para os desafios relativos à identificação das características atmosféricas locais associadas à eventos de chuvas intensas, que possam ocorrer na cidade do Rio de Janeiro. O primeiro esforço desta iniciativa resultou na análise de seis casos de chuvas fortes que atingiram a cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e abril de 2019. A metodologia aplicada e os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

2 I VARIÁVEIS DINÂMICAS E TERMODINÂMICAS DA ATMOSFERA

Índices de instabilidade ou indicadores termodinâmicos e dinâmicos, são comumente utilizados para o diagnóstico e previsão de tempestades de maneira contínua e/ou dicotômica. Consideram-se como indicadores termodinâmicos da atmosfera aqueles que expressam as suas propriedades térmicas, isto é, variações de temperatura e umidade (Teixeira & Satyamurti, 2007; Busuioc *et al.*, 2015). As variáveis dinâmicas buscam relacionar os gatilhos favoráveis ao desenvolvimento de chuvas fortes a partir dos movimentos da atmosfera (Rudolph & Friedrich, 2014). Nesse contexto, a coexistência desses indicadores pode potencializar as condições físicas presentes na atmosfera para o desenvolvimento de chuvas intensas.

A Tabela 1 apresenta alguns dos indicadores termodinâmicos e dinâmicos utilizados nesta pesquisa. Variáveis representando o estado da atmosfera também são consideradas para análise. Entre elas, incluem-se: direção e velocidade do vento em 850 hPa (WD850 e WS850), em 500 hPa (WD500 e WS500) e em 250 hPa (WD250 e WS250); umidade a 2 metros (UM2M) em 850 hPa (UM850) e 500 hPa (UM500).

Nas fórmulas apresentadas na Tabela 1, T e Td, ambos medidos em graus centígrados (°C), caracterizam a temperatura do ar ambiente e a temperatura do ponto de orvalho, respectivamente, enquanto os números subscritos dessas variáveis referem-se aos níveis isobáricos (hPa) nos quais são medidos. Tp refere-se à temperatura da parcela levantada da superfície até 500 hPa, de acordo com a teoria das parcelas; Tvp e Tv (também em °C) referem-se, respectivamente, às temperaturas virtuais de uma parcela de ar e de seu ambiente circundante; LFC é o nível de convecção espontânea de uma parcela elevada; e o LNB fornece seu nível de equilíbrio. Interpretações físicas das variáveis na Tabela 1 são apresentadas em detalhe a seguir.

Variável	Fórmula
Índice K	$K=(T_{850}+Td_{850})-(T_{700}-Td_{700})-T_{500}$
Índice TT	$TT=(T_{850}+Td_{850})-2\cdot T_{500}$
Convective available potential energy	$CAPE=g\int_{LFC}^{LNB}\frac{T_{vp}(z)-T_v(z)}{T_v(z)}dz$
Convective inhibition	$CIN=g\int_{SFC}^{LFC}\frac{T_{vp}(z)-T_v(z)}{T_v(z)}dz$
Convergência	$CV=\left(\frac{\partial u_{850}}{\partial x}+\frac{\partial v_{850}}{\partial y}\right)<0$
Divergência	$DV=\left(\frac{\partial u_{250}}{\partial x}+\frac{\partial v_{250}}{\partial y}\right)>0$
Movimento vertical	$MV=-\frac{\partial Z_{500}}{\partial t}$

Tabela 1 Indicadores dinâmicos e termodinâmicos

O índice K é dado pela soma das temperaturas do bulbo seco e do ponto de orvalho em 850 hPa, subtraído da depressão do ponto de orvalho em 700 hPa e da temperatura do bulbo seco em 500 hPa (George, 1960). Valores de K acima de 30°C são considerados como um indicativo de alto potencial para a ocorrência de tempestades com chuvas intensas. O índice Total Totals (TT) é similar ao índice K, porém não considera a depressão do ponto de orvalho em 700 hPa (Miller, 1972). Em geral, valores de TT a partir de 40°C indicam situações favoráveis à formação de tempestades.

O índice energia potencial disponível para convecção, do inglês *convective available potential energy* (CAPE), por sua vez, é uma integração vertical da diferença entre a temperatura virtual da parcela $T_{vp}(z)$ e a temperatura virtual do ambiente circundante $T_{vp}(z)$ entre o nível de convecção livre (LFC) e o nível de flutuabilidade neutra (LNB). Quando o índice CAPE é maior que zero (tipicamente acima de 1000 J.kg⁻¹), a atmosfera apresenta potencial para convecção e tempestades severas podem ser esperadas na presença de uma forçante dinâmica. O índice inibição convectiva, do inglês *convective inhibition* (CIN), representa a quantidade de energia (trabalho) necessária para levantar uma parcela de ar da superfície (SFC) através de uma camada atmosférica mais quente e promover um movimento ascendente da parcela até chegar ao LFC. Assim, quanto menor o CIN, menor energia deverá ser fornecida a parcelas de ar para que possam ascender na atmosfera (Nascimento, 2005).

A convergência dos ventos (CV) nos níveis mais baixos de atmosfera (850 hPa), a divergência dos ventos (DV) nos níveis atmosféricos superiores (250 hPa) e movimento vertical nos níveis médios da atmosfera (500 hPa) são mecanismos dinâmicos desencadeadores para promover o movimento ascendente do ar (Doswell, 1987; Tajbakhsh *et al.*, 2012)

Diante desta breve revisão teórica, este trabalho procurou explorar e investigar o comportamento desses indicadores termodinâmicos e dinâmicos relacionados ao desenvolvimento das tempestades e chuvas muito fortes que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e março de 2019.

3 | METODOLOGIA

3.1 Identificação dos eventos de chuvas muito fortes entre fevereiro e abril de 2019 na cidade do Rio de Janeiro

Entre fevereiro e abril de 2019, destacaram-se seis em que foram observadas altas taxas horárias de precipitação na rede de monitoramento do Sistema Alerta Rio. Para todos os seis eventos, verificou-se a ocorrência de chuvas classificadas como muito fortes, isto é, chuvas acima de 50 mm por hora. A Tabela 2 mostra os acumulados pluviométricos observados em cada um dos seis eventos de chuvas muito fortes identificados, considerando o início e o fim da precipitação nas 33 estações do Sistema Alerta Rio.

Além das grandes taxas horárias de chuva observadas, verificou-se a grande variabilidade dos acumulados entre cada um dos eventos nas estações do Sistema Alerta Rio. No dia 04 de fevereiro de 2019, observa-se que o maior valor registrado foi de aproximadamente 165,8 mm na estação Sepetiba, em 06 de fevereiro 161,8 mm na estação Rocinha, em 17 de fevereiro 52,0 mm no Grande Méier, em 01 de março 109,2 no Alto da Boa Vista, em 03 de março 85,4 mm em Guaratiba e em 08 de abril um máximo de 345 mm na Rocinha.

Buscou-se também verificar, através das cartas sinóticas disponibilizadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha (<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>) e pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (<http://tempo.cptec.inpe.br/>) quais sistemas atmosféricos estiveram associados aos seis eventos de chuvas muito fortes encontrados. Verificou-se que a presença de uma frente fria favoreceu as chuvas em 04/02, o transporte marítimo, associado a uma alta pós-frontal em 06/02, uma Zona de Convergência de Umidade e um sistema de baixa pressão próximo ao litoral em 17/02, uma nova Zona de Convergência de Umidade nos dias 01/03 e 03/03, e a passagem de uma frente fria no dia 08 de abril. Tais resultados mostram inicialmente que chuvas muito fortes na cidade do Rio de Janeiro tende a ocorrer associados a um sistema atmosférico de grande escala.

Estações	04/fev	06/fev	17/fev	01/mar	03/mar	08/abr
Alto da Boa Vista	121,2	144,0	21,8	109,2	70,6	339,6
Anchieta	83,0	17,6	28,6	75,0	8,2	101,0
Av. Brasil/Mendanha	85,2	22,4	9,8	58,6	14,0	113,6
Bangu	87,2	28,6	47,6	56,2	6,2	135,0
Barra/Barinha	145,4	143,6	7,4	87,0	28,6	325,2
Barra/Riocentro	91,6	111,8	13,4	93,2	33,8	302,0
Campo Grande	77,6	27,0	10,4	48,6	11,6	170,0
Copacabana	79,8	88,0	10,6	45,8	67,8	315,4
Est. Grajaú/Jacarepaguá	64,6	47,8	26,0	99,2	24,6	176,6
Grajaú	53,8	30,6	26,0	79,2	46,0	139,0
Grande Méier	45,4	23,6	52,0	67,0	47,4	95,2
Grota Funda	113,2	92,8	43,4	84,0	26,2	179,0
Guaratiba	124,8	84,4	21,0	70,4	85,4	110,8
Ilha do Governador	101,2	23,6	27,8	56,6	33,2	124,0
Irajá	59,6	14,4	19,0	62,8	44,0	79,6
Jacarepaguá/Cidade de Deus	91,0	63,6	19,6	48,2	28,0	285,4
Jacarepaguá/Tanque	90,4	47,4	30,2	73,2	45,6	151,2
Jardim Botânico	116,2	126,8	7,4	70,0	80,0	339,6
Laranjeiras	35,2	51,0	12,8	53,2	26,8	179,8
Madureira	58,2	27,8	33,4	94,6	43,4	119,4
Penha	52,8	24,2	27,8	47,6	67,6	75,2
Piedade	52,2	27,4	40,0	91,4	53,4	100,0
Recreio dos Bandeirantes	100,6	86,2	20,2	92,4	33,6	222,4
Rocinha	31,6	161,8	13,4	84,0	60,8	345,0
Santa Cruz	131,8	21,8	14,8	72,2	18,4	200,8
SantaTeresa	58,4	51,2	14,0	54,6	25,6	151,4
São Cristóvão	37,8	24,6	36,2	54,8	46,8	96,8
Saude	25,8	18,6	28,4	58,4	13,6	113,2
Sepetiba	165,8	16,6	8,6	70,0	8,6	169,4
Tijuca	60,4	38,4	18,0	70,6	44,0	194,4
Tijuca Muda	45,4	59,4	22,4	81,6	54,4	182,8
Urca	46,6	49,6	9,6	46,8	29,0	256,0
Vidigal	95,2	161,2	11,4	69,4	66,2	315,2
Média	79,7	59,3	22,2	70,5	39,2	188,0
Máximo	165,8	161,8	52,0	109,2	85,4	345,0

Tabela 2 Acumulados pluviométricos observados nos eventos de chuvas muito fortes

3.2 Padrões meteorológicos

A identificação de padrões meteorológicos possibilita caracterizar a tendência do comportamento, ou configuração, da atmosfera associada à formação e desenvolvimento da chuva em diferentes cenários.

Para a identificação dos padrões meteorológicos associados aos seis eventos de chuvas fortes identificados (Tabela 2), foram utilizadas as saídas do modelo numérico

Weather Reserach and Forecasting (WRF) (Skamarock *et al.*, 2008), utilizado no Sistema Alerta. Foram utilizadas as saídas com as integrações realizadas com os dados do *Global Forecasting System* (GFS) às 00 UTC para a grade de 03 km para calcular as variáveis dinâmicas e termodinâmicas (Tabela 1) para os pontos de grade localizados nas estações Guaratiba, Sepetiba, Jacarepaguá/Tanque, Ilha do Governador e Urca. Estas estações foram selecionadas por estarem localizadas nas extremidades e ponto central da cidade do Rio de Janeiro.

A análise dos padrões meteorológicos necessita que os cálculos sejam estabelecidos considerando as condições atmosféricas antes do início da precipitação e durante sua ocorrência (Silva *et al.*, 2018). Levando esses aspectos em conta, os eventos de chuvas fortes foram agrupados de forma a caracterizar o instante inicial de tempo (T_0) como o momento correspondente a 12 horas antes do início da precipitação para cada evento, enquanto, como tempo final, foi levada em consideração a duração da precipitação observada para o evento de chuva mais prolongado.

O método de Ward foi aplicado com o resultado das variáveis dinâmicas e termodinâmicas em relação à ocorrência da precipitação com a finalidade de avaliar qual, dentre as variáveis analisadas, poderia apresentar uma maior similaridade com relação à formação e ao comportamento da precipitação durante os seis eventos de chuvas fortes identificados (Tabela 2).

O método de variância mínima de Ward ou simplesmente o método de Ward (1963) foi usado para agrupar as variáveis termodinâmicas, dinâmicas e a chuva observada. O método de Ward é um método de agrupamento hierárquico aglomerativo, em que o critério para escolha de grupos é aquele que calcula as médias de todas as variáveis para cada grupo, escolhendo aquele que apresenta a menor variância (Wilks, 1995; Fox, 1997):

$$d_e = \sqrt{\sum_{k=1}^K (x_k - y_k)^2}$$

onde d_e é a distância euclidiana entre os elementos nos pontos x_k e y_k , respectivamente. Nesse método, uma estação é considerada similar à outra se a união entre elas fornecer o menor aumento de dissimilaridade entre si. O quadrado da distância euclidiana, baseada nas médias do agrupamento, é, então, calculado para cada objeto. Essas distâncias são adicionadas para todos os objetos. Em cada estágio, são combinados os dois grupos que apresentam o menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos (Wilks, 1995). O método de Ward minimiza a soma, sobre as dimensões K de x , das variâncias dentro de grupos. No primeiro estágio (grupo 1), essa variância é zero, e, no último estágio (grupo n), a seguinte expressão é aplicada como:

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^K (x_{i,k} - \bar{x}_{j,k})^2$$

4 | RESULTADOS

A Figura 2 mostra a evolução temporal média de cada uma das variáveis calculadas utilizando as saídas do modelo numérico WRF para os cinco pontos de grade definidos. A linha vertical em azul caracteriza o início da precipitação na rede pluviométrica do Sistema Alerta Rio. Assim, foram consideradas 12 horas antecedentes à chuva e 25 horas após o seu início, pois foi a duração do evento de chuva mais prolongado (ocorrido em 08/04/2019).

O padrão termodinâmico pode ser observado através das 2A-2G onde são apresentados os comportamentos da umidade específica a 2 metros (UM2M), umidade específica em 850hPa (UM850) e em 500 hPa (UM500), CAPE, CIN, K e TT. O comportamento médio dos gatilhos dinâmicos são apresentados entre as Figuras 2H e 2T: convergência do vento a 10 metros (CV10M) e 850 hPa (CV850), a divergência do vento em 250 hPa (DV250) e 300 hPa (DV300), movimento vertical em 500 hPa (MV500), direção do vento a 10 metros (WD10M), 850 hPa (WD850), 500 hPa (WD500) e 250 hPa (WD250) e a velocidade do vento a 10 metros (WS10M), 850 hPa (WS850), 500 hPa (WS500) e 250 hPa (WS250).

Através das Figuras 2A-2C, verifica-se um aumento da umidade na atmosfera antes e durante a ocorrência da precipitação, com maiores taxas de crescimento para as camadas atmosféricas mais próximas a superfície simulados pelo modelo numérico WRF. Para a UM2M (Figura 2A), observam-se valores acima de 15,0 kg/kg e uma elevação de aproximadamente 2,5 kg/kg ocorrendo aproximadamente seis horas antes do início da precipitação. Um comportamento similar é observado para as variáveis UM850 (Figura 2B) e UM500 (Figura 2C), entretanto, menores variações (aproximadamente 0,8 kg/kg) foram observados em comparação a UM2M (Figura 2A).

É possível observar também que os picos de umidade entre os três níveis atmosféricos analisados ocorreram em diferentes instantes de tempo. Para a UM2M (Figura 2A), verifica-se um máximo cerca de duas horas após a ocorrência da precipitação, enquanto que para UM850 (Figura 2B) e UM500 (Figura 2C) observa-se que os máximos ocorreram cerca de 4 e 8 horas após o início da chuva, respectivamente. Tal característica sugere que, dentre os casos simulados pelo WRF, o transporte vertical da atmosfera dos níveis em direção aos níveis superiores da atmosfera ocorreu em diferentes fases para o suprimento da atividade convectiva e chuvas intensas.

O índice K (Figura 2D) apresentou uma taxa de aumento de aproximadamente 2°C, antes do início da precipitação. O índice TT (Figura 2E), apresentou um comportamento similar ao K, entretanto, uma menor taxa de variação (aproximadamente 0,8 °C) antes

da precipitação é observada. Apesar das diferentes taxas de crescimento observadas para os dois índices, ressalta-se que ambos apresentaram valores considerados como significativos para a formação de chuvas intensas, segundo Silva Dias (2000) e Nascimento (2005). Silva *et al.* (2016) utilizando também o modelo numérico WRF verificaram que valores de K acima de 36°C e TT acima de 45°C eram considerados como significativos para a formação de chuvas extremas na cidade do Rio de Janeiro. Através das Figuras 2D e 2E verifica-se que ambos os índices alcançaram os limiares obtidos por Silva *et al.* (2016) no início da precipitação.

Ao contrário dos índices K e TT, a CAPE (Figura 2F) apresentou um gradiente negativo antes do início da precipitação, assim como os valores simulados estiveram abaixo dos limiares (variando entre 200 J/kg e 300 J/kg) considerados como significativos (acima de 1000 J/kg) para a formação de chuvas intensas, segundo Nascimento (2005). O CIN (Figura 2G), entretanto, apresentou um comportamento oposto a CAPE (Figura 2F). Segundo Silva *et al.* (2017), a presença do CIN pode favorecer uma aumento da instabilidade atmosférica em superfície devido a inibição do movimento vertical do ar. Assim, na presença de um posterior gatilho dinâmico, este ar com uma maior quantidade de umidade, pode favorecer a formação de sistemas convectivos mais intensos na disponibilidade de suporte termodinâmico.

Através das Figuras 2H a 2L, verifica-se a presença de uma circulação vertical atmosférica favorável ao movimento convectivo, com valores negativos de CV10M (Figura 2H) e CV850 (Figura 2I) e valores positivos de DV300 (Figura 2J) e DV250 (Figura 2K). Tal característica pode ser corroborada através da evolução temporal do MV500 (Figura 2L), onde se observam valores positivos, indicando o movimento vertical ascendente, após o início da precipitação.

Nos níveis atmosféricos mais próximos a superfície, isto é, WD10M (Figura 2M) e WD850 (Figura 2N), verifica-se que a direção do vento apresentou uma tendência de giro anti-horário com componentes predominantes de sudoeste (em torno de 225°) antes do início da precipitação girando para sul (em torno de 180°) durante a sua ocorrência. Nos níveis atmosféricos superiores, WD500 (Figura 2O) e WD250 (Figura 2P), verifica-se uma tendência oposta de giro do vento, com sentido horário para WS10M (Figura 2Q) e WS850 (Figura 2R) verifica-se uma tendência de diminuição da intensidade dos ventos antes e durante as primeiras horas da precipitação. WS500 (Figura 2S) e WS250 (Figura 2T), entretanto, caracterizaram uma tendência oposta, isto é, de aumento. Tais características sugerem que o cisalhamento vertical entre os níveis baixos e médios simulado pelo modelo WRF pode ter favorecido um aumento do ciclo de vida das nuvens associadas à precipitação observada na rede do Sistema Alerta Rio, conforme observados nos trabalhos de Pilorz *et al.* (2016), Dennis & Kumja (2017) e Miller & Mote (2018).

Além dos padrões meteorológicos qualitativos (Figura 2), ressaltam-se os resultados quantitativos, isto é, os valores nos quais as variáveis dinâmicas e termodinâmicas

apresentavam antes e durante a ocorrência da precipitação. De forma sumarizada, verifica-se que, em média, a UM2M esteve acima de 15,8 kg/kg, UM850 acima de 12 kg/kg, UM500 acima de 3,2 kg/kg, K acima de 36°C, TT acima de 45°C, CIN acima de 30 J/kg, CAPE acima de 200 J/kg, WS10M abaixo de 3,5 m/s, WS850 abaixo de 5,5 m/s, WS500 acima de 6,5 m/s e WS250 acima de 14 m/s. Para a direção dos ventos, verificou-se que WD10M e WD850 apresentaram uma tendência de giro anti-horário do vento, enquanto que WD500 e WD250 apresentaram uma tendência de giro do vento no sentido horário.

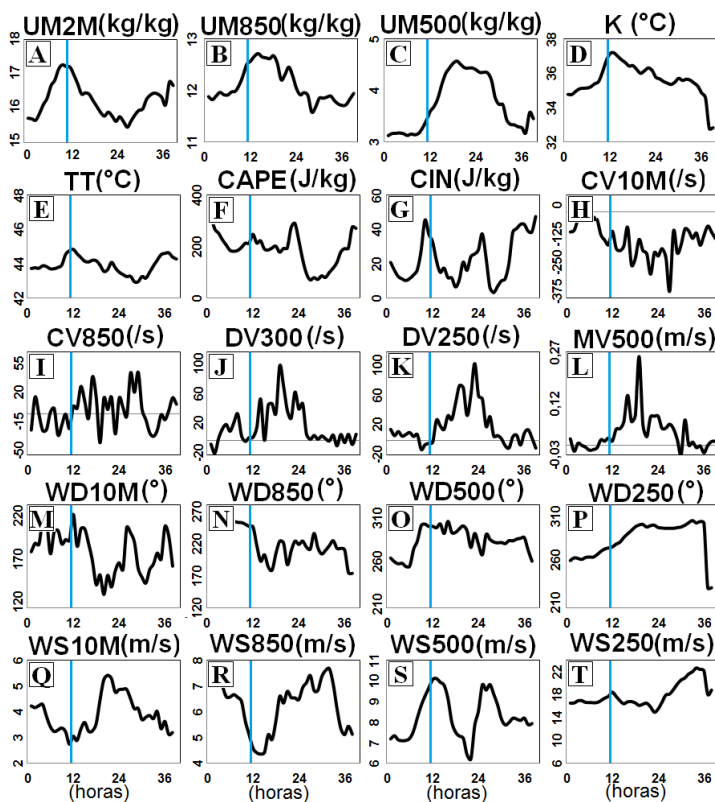


Figura 2 Evolução temporal média dos indicadores dinâmicos e termodinâmicos analisados a partir das saídas do modelo WRF. A linha vertical azul indica o início da precipitação.

A Figura 3 mostra a análise de agrupamento obtida entre os dados de chuva das estações Guaratiba, Sepetiba, Jacarepaguá/Tanque, Ilha do Governador e Urca e cada uma das variáveis dinâmicas e termodinâmicas. Através dos resultados, verifica-se que a chuva apresentou maior similaridade as variáveis de umidade específica e intensidade do vento nos baixos e médios níveis da atmosfera. Posteriormente, verifica-se uma maior similaridade com as variáveis CV850, DV250, DV300 e CV10M, seguidos pelos índices K e TT. Uma menor similaridade com relação à ocorrência da precipitação foi observada para a

CAPE e as variáveis associadas à direção do vento (WD500, WD250, WD10 M e WD850).

Através de uma análise comparativa entre a evolução temporal de cada uma das variáveis analisadas e os resultados da análise de agrupamento, verifica-se que o aumento da disponibilidade de umidade específica e diminuição da intensidade dos ventos apresentou maior similaridade com relação à ocorrência da precipitação.

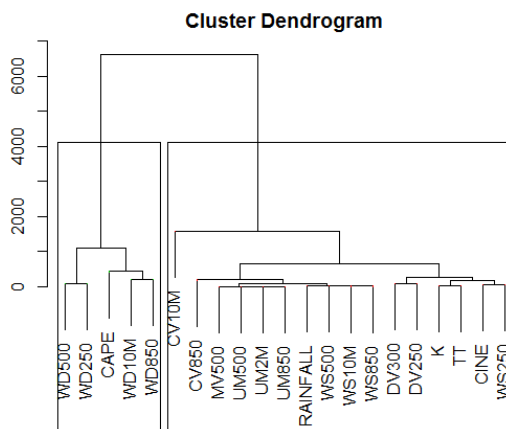


Figura 3 Análise de agrupamento entre as variáveis analisadas e a chuva para os eventos de chuvas muito fortes ocorridos na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e abril de 2019.

5 | ESTUDO DE CASO: EVENTO 08 DE ABRIL DE 2019

Devido aos altos acumulados pluviométricos observados no evento de chuva ocorrido em 08 de abril de 2019 (Tabela 2), um breve panorama das imagens do radar do Sumaré, assim como das regiões que apresentaram os maiores acumulados pluviométricos será apresentado. Posteriormente, uma discussão referente a algumas variáveis analisadas nesta pesquisa, calculadas através das saídas do modelo WRF, será realizada. Foram escolhidos os horários das 20h e 21h por terem apresentando os maiores registros pluviométricos horários na rede do Sistema Alerta Rio em 08/04/2019.

Através das imagens georreferenciadas do radar do Sumaré (Figura 4), verifica-se a presença de nuvens convectivas, isto é, com refletividade acima de 40 dBZ (Hagen *et al.*, 2000) atuando sobre a Zona Oeste da cidade do Rio às 17h00 do dia 08/04/2019 (Figura 4A) e através das Figuras 4B-5I que estes núcleos convectivos se intensificavam a medida que se deslocavam sobre a cidade do Rio de Janeiro. Devido à atuação destes núcleos convectivos sobre a cidade, o COR informou a mudança para o estágio operacional de Atenção (2 estágio de uma escala de 3) em toda a cidade às 18h35 deste dia.

A partir das 18h20 (Figura 4I), entretanto, verificou-se que os núcleos convectivos permaneceram estacionários sobre os bairros adjacentes ao Maciço da Tijuca favorecendo a ocorrência de grandes acumulados pluviométricos horários, com os maiores valores nas

estações do Alto da Boa Vista (89,6 mm) e Rocinha (79,4 mm) às 20h00 e nas estações Barra/Barrinha (91,4 mm), Barra/Riocentro (80,2 mm) às 21h00. Assim, devido aos altos acumulados pluviométricos previamente observados na rede do Sistema Alerta Rio, a permanência de núcleos de chuva em diferentes pontos do município e a previsão de continuidade das chuvas no decorrer da noite, o COR informou a mudança para o estágio de Crise (terceiro estágio em uma escala de três) em toda a cidade às 20h55 (23h55) deste dia.

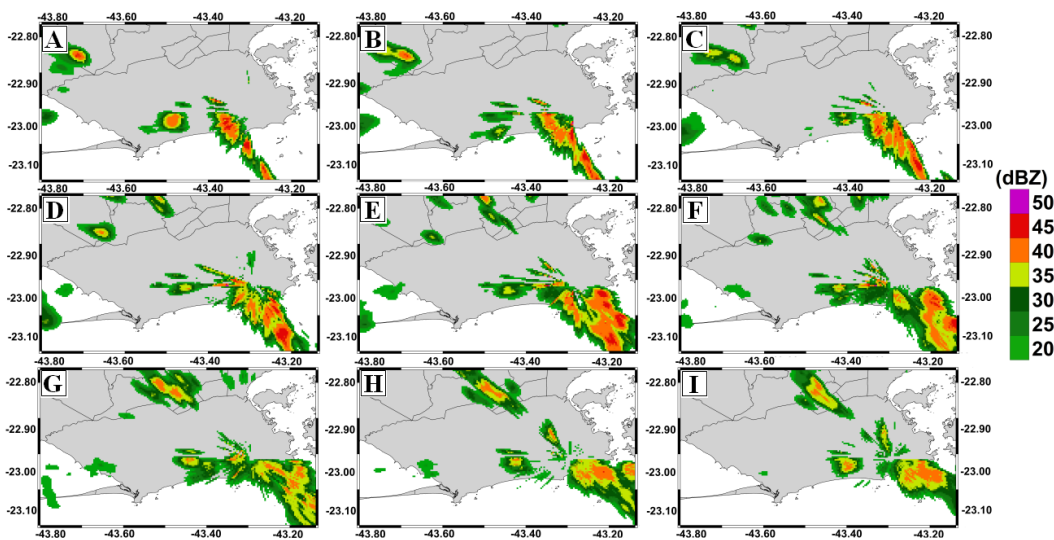


Figura 4 Imagens georreferenciadas do radar do Sumaré às A. 17h00; B. 17h10; C. 17h20; D. 17h30; E. 17h40; F. 17h50; G. 18h00; H. 18h10; I. 18h20 do dia 08/04/2019.

Através da Figura 5 verifica-se a distribuição do acumulado pluviométrico total coletado entre o início e o fim da precipitação em cada uma das 33 estações do Sistema Alerta Rio entre às 18h00 do dia 08/04/2019 e 18h00 do dia 09/04/2019. Em vermelho, destacam-se as estações que apresentaram acumulados pluviométricos acima de 300 mm, em amarelo entre 200 mm e 300 mm, em azul entre 100 mm e 200 mm e em verde abaixo de 100 mm. É possível observar que as regiões localizadas no trecho compreendido entre a região da Barra da Tijuca e Zona Sul foram os que apresentaram os maiores acumulados pluviométricos registrados.

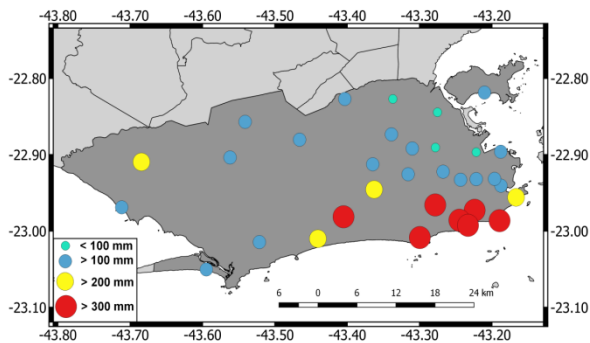


Figura 5 Acumulado pluviométrico coletado em cada uma das estações da rede pluviométrica do Sistema Alerta Rio para o evento de chuva muito forte ocorrido em 08/04/2019.

Os campos combinados de CV850 e DV250 (Figura 6), K e TT (Figura 7) e UM850 e vento em 850 hPa (Figura 8) para às 20h (esquerda) e 21h (direita) serão apresentados. Um acoplamento vertical entre CV850 e DV250 é observado (Figura 6), criando um gatilho dinâmico favorável para a formação da precipitação sobre a região do entorno do Maciço da Tijuca em ambos os horários. Através dos campos de K e TT (Figura 7), verificam-se maiores valores destas variáveis nas regiões da Barra e Zona Sul da cidade do Rio, comportamento similar também é observado na umidade específica em 850 hPa (Figura 8). Através do campo de vento em 850 hPa (Figura 8), verifica-se a presença da componente de sudoeste favorecendo o deslocamento da umidade sobre a cidade do Rio. Através destes resultados verificou-se durante o evento analisado a presença de três ingredientes atmosféricos básicos para a formação de chuvas intensas: gatilhos dinâmicos (Figura 6), instabilidade atmosférica (Figura 7) e disponibilidade de umidade (Figura 8).

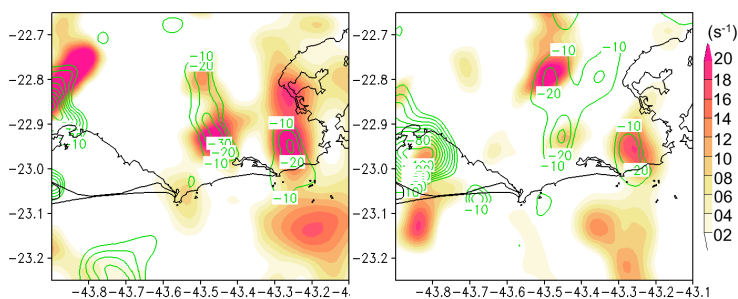


Figura 6 Convergência em 850 hPa (linhas em verde) e Divergência em 250 hPa (sombreado em rosa) às 20h (esquerda) e 21h (direita) simulados pelo modelo WRF.

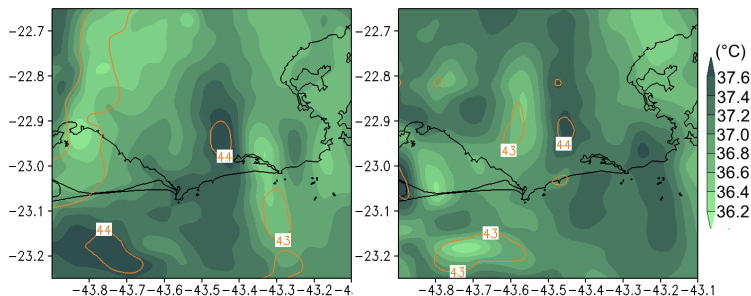


Figura 7 Índice K (tons de verde) e índice TT (linhas em laranja) às 20h (esquerda) e 21h (direita) simulados pelo modelo WRF.

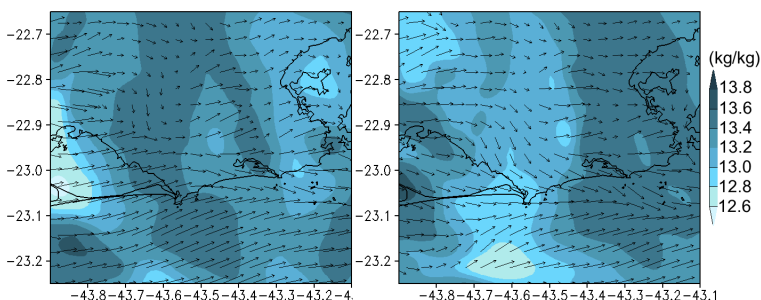


Figura 8 Umidade específica em 850 hPa (sombreado em azul) e vento em 850 hPa (setas em preto) às 20h (esquerda) e 21h (direita) simulados pelo modelo WRF.

6 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, uma análise meteorológica para seis eventos de chuvas muito fortes ocorridas na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e abril de 2019 foi realizada. Avaliou-se a evolução temporal dos padrões meteorológicos de indicadores dinâmicos e termodinâmicos associados à formação da precipitação, a identificação dos sistemas atmosféricos que favoreceram à formação das chuvas e uma análise de agrupamento entre as variáveis analisadas e os registros pluviométricos.

Utilizando as saídas do modelo WRF, que roda de forma operacional no Sistema Alerta Rio, foram calculados e avaliados vinte parâmetros dinâmicos e termodinâmicos presentes começando doze horas antes do começo das chuvas e 25 horas após o início da mesma, pois este último foi a duração da chuva mais prolongada. Através dos resultados, verificou-se que, em média, as variáveis termodinâmicas apresentaram valores máximos poucas horas antes à ocorrência de precipitação, principalmente associadas à disponibilidade de umidade nos baixos níveis da atmosfera (UM2M e UM850). Os resultados das variáveis dinâmicas caracterizaram a presença de uma circulação vertical média favorável ao movimento ascendente do ar com valores negativos de convergência dos ventos nos baixos níveis da atmosfera (CV10M, CV850), e valores positivos de movimento

vertical (MV500) e divergência dos ventos (DV250), nos níveis médios e altos da atmosfera respectivamente.

Através da aplicação da análise de agrupamento entre as variáveis dinâmicas e termodinâmicas e a chuva, verificou-se que o aumento da umidade específica (UM2M) e a diminuição da intensidade dos ventos entre os baixos e médios níveis da atmosfera (WS10M, WS850 e WS500) apresentaram a maior similaridade à ocorrência de precipitação. Para um estudo de caso referente ao evento de chuva muito forte ocorrido em 08 de abril de 2019 foi possível observar a presença concomitante de gatilhos dinâmicos, instabilidade atmosférica e disponibilidade de umidade nos horários em que foram observadas as maiores taxas de precipitação. Apesar da pequena amostra de dados utilizada (somente seis eventos analisados), acredita-se que as informações analisadas nesta pesquisa poderão ser de grande utilidade para uma melhor identificação das condições atmosféricas associadas a eventos de chuva forte a partir das saídas numéricas do numérico WRF utilizado diariamente no âmbito do Sistema Alerta Rio.

REFERÊNCIAS

BUSUIOC, A.; BIRSAN, M.V.; CARBUNARU, D.; BACIU, M.; ORZAN, A. 2015. Changes in the large scale thermodynamic instability and connection with rain shower frequency over Romania: verification of the Clausius–Clapeyron scaling. **International Journal of Climatology**, 36:2015-2034, 2015.

DENNIS, E.J.; KUMJIAN, M.R. The impact of vertical wind shear on hail growth in simulated supercells. **Journal of Atmospheric Science**, 74:641–663, 2017.

DERECZYNSKI, C.P.; CALADO, R.N.; BODSTEIN, A. Chuvas extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. **Anuário do Instituto de Geociências**, 40(2):17–30, 2017.

DERECZYNSKI, C.P.; OLIVEIRA, J.S; MACHADO, C.O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24(1):24-38, 2009.

DOSWELL, C.A. The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example. **Weather and Forecasting**, 2:3-16, 1987.

FOX, J. Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods. Alabama, USA, **Sage Publications**, 1997.

GEORGE, J.J. Weather Forecasting for Aeronautics. New York, **Academic Press**. 684 p. 1960.

HAGEN, M.; SCHIESSER, H.H.; DORNINGER, M. Monitoring of mesoscale precipitation systems in the Alps and the northern Alpine foreland by radar and rain gauges. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 72:87-10, 2000.

LEMOS, C.F. & CALBETE, N.O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995. **Climanálise Especial, edição comemorativa de 10 anos**, 1996.

LUZ BARCELLOS, Priscila da Cunha. **Precipitações intensas na cidade do Rio de Janeiro: Probabilidade e Previsibilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós – graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 186p, 2009.

MILLER, R.C. Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Center. Technical Report 200 (Rev.). **Springfield, Air Weather Service of United States Air Force**, 190 p, 1972.

MILLER, P.W.; MOTE, T.L. Characterizing severe weather potential in synoptically weakly forced thunderstorm environments. **Natural Hazards and Earth System Science**, 18:1261–1277, 2018.

NASCIMENTO, E.L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20(1):121-140, 2005.

PILORZ, W.; LASKOWSKI, I.; LUPIKASZA, E. ;TASZAREK, M. Wind shear and the strength of severe convective phenomenon preliminary results from Poland in 2011–2015. **Climate**, 4(4):51-68, 2016.

RUDOLPH, J.V.; FRIEDRICH, K. : Dynamic and thermodynamic predictors of vertical structure in radar-observed regional precipitation. **Journal of Climate**, 27:2143–2158, 2014.

SELUCHI, M.E.; CHOU, E.S.C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 98:67-77, 2009.

SILVA DIAS, M.A.F. Índices de Instabilidade para Previsão de Chuva e Tempestades Severas, 2000. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/static/downloads/apostilas/indices.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SILVA, F.P.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; MENEZES, W.F ; ALMEIDA, V.A. Atmospheric Indicators Evaluation Using WRF Numerical Model in Rainfall Events in the City of Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, 38 (2): 81-90, 2016.

SILVA, F.P.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; ROTUNNO FILHO, O.C., PIRES, G.D., SAMPAIO, R.J.; ARAÚJO, A.A.M. Synoptic thermodynamic and dynamic patterns associated with Quitandinha River flooding events in Petropolis, Rio de Janeiro (Brazil). **Meteorology and Atmospheric Physics**, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00703-018-0609-2>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SILVA, F.P.; ROTUNNO FILHO, O.C.; SAMPAIO, R.J.; DRAGAUD, I.C.D.V.; ARAÚJO, A.A.M; JUSTI DA SILVA, M.G.A.;PIRES, G.D. Evaluation of atmospheric thermodynamics and dynamics during heavy-rainfall and no-rainfall events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-017-0570-5>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SKAMAROCK W.C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O.; BARKER, D.M.; DUDA, M.; HUANG, X.Y.; WANG, W.; POWERS, J.G. A description of the advanced research WRF version 3. Tech. Rep. TN-475+STR, **NCAR**, 2008.

TAJBAKSHI, S.; GHAFARIAN, P.; SAHRAIAN, F. Instability indices and forecasting thunderstorms: the case of 30 April 2009. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 12:1-11,2012.

TAVARES, J.P.N.; MOTA, M.A.S. Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém – PA durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 27(2): 207-218, 2012.

WARD, J.H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function”. **Journal of the American Statistical Association**, 58:236-244,1963.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction**. Vol. 59. San Diego, USA, Academic Press,1995.

GÊMEOS DIGITAIS O METAVERSO PARA AS URBANIZAÇÕES INTELIGENTES

Data de aceite: 02/01/2023

Ísis Terezinha Santos de Santana

Mestranda em Administração pela Mestranda em Administração pela Unilogos, Tecnóloga em Administração de Redes, Professora Licenciada em Matemática, Especialização em Docência do Ensino Básico e Superior pela Faculdade Estratego. Especialista em Gestão Estratégica do Comportamento, Marketing e Varejo

Elcivan Bezerra Miranda

Mestrando em Administração pela BS TechShool (EUA), Docente do Ensino Superior pela Faculdade São Marcos. MBA em Controladoria e Finanças pela Anhanguera, MBA em Gestão Estratégica Empresarial pela Universidade do Sul do Maranhão - UNISULMA / IESMA. MBA em Gestão de Operações Logística pela Universidade do Sul do Maranhão - UNISULMA / IESMA. Graduado em Administração pela Universidade do Sul do Maranhão - UNISULMA/IESMA. Atua como docente no ensino superior, técnico e profissionalizante desde 2016. Experiências nas áreas da Administração, atuando principalmente nos seguintes temas: Gestão Empresarial, Logística, Marketing, Planejamento Estratégico e Desenvolvimento Empresarial

Jhonata Jankowitsch Amorim

Graduado em Gestão Financeira pela Universidade Norte do Paraná, Graduado em Administração pelo Centro Universitário Cidade Verde, Graduado em Ciências Contábeis pela Faculdade Paraíso do Norte, Doutorado em Doctor of Business Administration - Logos University International, Doutor em Gestão de Negócios pela IIBMRT, Doutor H.C pela Logos University International. Atualmente é perito judicial - Tribunal de Justiça do Estado de Rondônia. Tem experiência na área de Administração, com ênfase em Administração, atuando principalmente nos seguintes temas: música, técnica vocal, coral, administração, voz, logística 4.0; inteligência artificial em logística e perícia mercadológica. Atualmente atua como Controlador Interno da AGERJI-Agência Reguladora de Serviços Delegados de JiParaná, Rondônia. [Orientador]

RESUMO: Este estudo aborda a conceituação dos gêmeos digitais, do metaverso, das cidades inteligentes, as oportunidades e aplicações que essas tecnologias podem trazer para as urbanizações. O método utilizado foi uma

revisão de bibliográfica em que foram estudadas múltiplas fontes de informações científicas, tendo como principais escritores Serec, (2022), Vogel (2018), Schlemmer; Trein; Oliveira (2008), Trauer *et al.*, (2020), Singh *et al.*, (2021), Weiss; Bernardes; Consoni, (2015, 2017), Allam *et al.*, (2022), juntamente com Sadhu, Yanambaka e Abdelgawad (2022). Diante dos esclarecimentos dos autores, compreende-se que as oportunidades representadas pela aplicação dos gêmeos digitais nas urbanizações inteligentes são numerosas, sua aplicabilidade pode representar avanços nas áreas da segurança pública, saúde, locomoção urbana e na gerência pública dos municípios. Os exemplos citados no estudo mostram um enorme potencial por permitir uma variedade de experimentos e simulações sem afetar o cotidiano das pessoas.

PALAVRAS-CHAVE: Metaverso. Gêmeos Digitais. Cidades Inteligentes.

ABSTRACT: This study addresses the conceptualization of digital twins, metaverse, smart cities and the opportunities and applications that these technologies can bring to urbanizations. The method used was a literature review in which multiple sources of scientific information were studied, having as main authors Serec, (2022), Vogel (2018), Schlemmer; Trein; Oliveira (2008), Trauer *et al.*, (2020), Singh *et al.*, (2021), Weiss; Bernardes; Consoni, (2015, 2017), Allam *et al.*, (2022), along with Sadhu, Yanambaka and Abdelgawad (2022). Given the clarifications of the authors, it is understood that the opportunities represented by the use of digital twins in smart urbanizations are numerous, its applicability can represent advances in the areas of public safety, health, urban mobility and in the public management of municipalities. The examples cited in the study show enormous potential by allowing a variety of experiments and simulations without affecting people's lives.

KEYWORDS: Metaverse. Digital Twins. Smart Cities.

1 | INTRODUÇÃO

A evolução histórica da tecnologia começa com a primeira invenção do homem. Com o tempo, os humanos desenvolveram ferramentas de caça, descobriram o fogo e criaram rodas para auxiliar na locomoção, tudo para facilitar a vida. A lógica sempre foi criar invenções que possam colaborar com o corpo social, como telefones, luz elétrica, televisão, rádio e internet. Ao longo das décadas, a tecnologia evoluiu de forma revolucionária, uma dessas revoluções é o metaverso.

De forma concisa, o metaverso é uma caracterização que combina realidade virtual e aumentada. É um universo alternativo que contém influências da vivência do mundo real por intermédio da experiência imersiva. O vocábulo metaverso tem sido usado há anos. Foi criado em 2003 com o livro ficcional de Neal Stephenson “*Snow Crash*”. A obra literária narra à crônica de um trabalhador autônomo que se torna um samurai no metaverso, um mundo interativo de apólogo científico (SCHLEMMER; TREIN; OLIVEIRA, 2008; GOMES, 2020).

Diversas tecnologias e inovações são utilizadas pelo metaverso, realidade aumentada e virtual, 3D, inteligência artificial (IA), *machine learning* (ML) e dada à amplitude

de viabilidade de uso que o metaverso apresenta, outro conceito o complementa e ganha relevância: os gêmeos digitais. Idealmente, um gêmeo digital pode ser visto como uma projeção fiel da entidade fonte no ciberespaço, sem perda de informação, complexidade e simplificação funcional em sua descrição digital (SEREC, 2022; VOGEL, 2018; QUINALHA, 2018).

No entanto, além de ser uma redarguição virtual, os gêmeos digitais também são capazes de usar uma variedade de recursos tecnológicos para interpretar o comportamento do mundo real em um ambiente digital. A fusão das tecnologias metaverso e gêmeo digital e sua aplicabilidade podem ser utilizadas pelas cidades, desde que as localidades passem de cidades informatizadas (cidades digitais) para urbanizações inteligentes (CAPRARI, 2022; QUINALHA, 2018).

As urbanizações inteligentes vêm de uma interpelação geográfica contemporânea do progresso urbano, baseada em políticas que implicam mudanças territoriais, estimulam a participação efetiva e o esforço conjunto dos habitantes, e a observância de diferentes inteligências humana, coletiva e artificial, esta última mediante o emprego de inteligências de comunicabilidade e informação (WEISS; BERNARDES; CONSONI, 2015).

O gêmeo digital de uma urbanização é sua representação virtual. Então, assim sendo, é uma realidade simulada como uma proposta de metaverso. A somatória dessas duas concepções sugere oportunidades para a desenvolvimento urbana inteligente (TRAUER *et al.*, 2020).

Com o propósito de demonstrar a convergência entre o metaverso e a tecnologia dos gêmeos digitais foi realizado um estudo na literatura científica para revelar seus conceitos e particularidades. Em seguida, são resumidos os possíveis impactos e benefícios do seu uso nas cidades inteligentes.

O propósito dessa pesquisa é demonstrar a significância do tema do metaverso e os gêmeos digitais, e aprovisionar informações sobre a adoção dessa tecnologia nas urbanizações inteligentes.

2 | METODOLOGIA

A abordagem empregada neste artigo é um estudo bibliográfico, que reúne informações relevantes ao contexto do tema selecionado (GIL, 2018). O material usado como referência foi pesquisado, resultando em um novo texto com citações apropriadas. Os métodos de revisão bibliográfica permitem a incorporação de pesquisas experimentais e não experimentais, combinando a aquisição de dados empíricos e teóricos, o que pode levar à definição de conceitos, identificação de lacunas nas zonas de estudo, revisões teóricas e análise de métodos de pesquisa sobre determinados temas. Desenvolver essa abordagem requer recursos, conhecimentos e habilidades (GIL, 2018). Para desenvolver esta revisão de literatura com foco no metaverso, gêmeos digitais e suas perspectivas

para as urbanizações inteligentes foram utilizados uma ferramenta de procura de estudos científicos nas bases de conhecimentos do Google Acadêmico, MPDI e Scielo utilizando as conceito-chaves: “gêmeos digitais”, “cidades inteligentes”, “metaverso”, “metaverse”, “digital twins”, “smart cities” e a combinação do termo das palavra-chaves mencionada.

3 | BASES TEORICAS

Muitas mudanças importantes ocorreram na história da humanidade. Essas transformações podem ser observadas ao longo de uma linha do tempo que se estende desde a história antiga até os dias atuais. Essas mudanças incluem a desenvolvimento da escrita e das ciências na Grécia antiga, o desenvolvimento do capitalismo durante a idade média e as notáveis ascensões tecnológicas e digitais feitos na era moderna (FONTANA, 2021). Uma dessas mudanças notáveis é a confecção de uma realidade paralela conhecida como metaverso (VOGEL, 2018).

3.1 O Metaverso

A representação de metaverso, ainda que caracterizada em outros termos, apareceu em livros como *Neuromancer*, de William Gibson, em 1984. Conquanto, o próprio termo metaverso foi mencionado pelo cronista Neil Stephenson no início dos anos 1990 em um romance pós-moderno chamado “*Snow Crash*” (traduzido como *Samurai* português, mas chamado *Nevasca* na época de seu lançamento). Os personagens estavam localizados em um gênero específico de realidade, que eram acessados através de um entrecruzamento de computadores e interação por intermédio de uma representação virtual, chamada de avatar. Foi lá que esse ser virtual teórico ficou conhecido como metaverso (SCHLEMMER; TREIN; OLIVEIRA, 2008).

Embora o termo seja relativamente recente, é uma tecnologia emergente que foi mencionada em 1992. Esse vislumbre chamou a atenção de entusiasta e especialista da área para aprimorar e descobrir formas de tornar essa tecnologia viável no cotidiano dos cidadãos municipais e empresas. Todavia, a idealização ganhou mais força e tem sido usado com mais frequência nos últimos dois anos (FERNANDES, 2022).

O lexema “metaverso” vem das raízes gregas “meta”, que significa “além”, e “verso”, que significa universo, por extensão, metaverso é a união desses dois termos, que descreve um espaço além do nosso próprio universo (SEREC, 2022).

Em 2003, foi apresentada uma versão beta do metaverso com o *Second Life*, que perdeu sua relevância devido a fatores como limitações técnicas e falta de identidade para usuários que não se reconheciam nesses avatares (GOMES, 2020). Desde então, passamos por um encadeamento de fatores que nos levaram a uma nova visão de metaverso com a evolução tecnológica geral, a introdução de smartphones, o aumento da velocidade da internet (4G e 5G), a explosão das mídias sociais e melhorias gráficas a datar da introdução de filtros ilimitados, extensões de jogos e autômatos de realidade

umentada (AR) e realidade virtual (VR) (SEREC, 2022).

Para Schlemmer; Trein; Oliveira (2008) o metaverso concerne em um arquétipo de realidade cibernética que usa dispositivos digitais para replicar a percepção de estar no mundo físico. Esses dispositivos não precisam ser imersivos, podem ser telas ou outros dispositivos que permitam que os usuários experimentem uma versão digital da realidade.

Segundo Vogel (2018) também pode ser definido como um entrecruzamento de mundos virtuais que tenta replicar a realidade, com ênfase nas conexões sociais compartilhada, capaz de exibir imagens 3D, onde os espaços físicos e virtuais se fundem e persistem.

À medida que novas tecnologias inevitavelmente se juntam ao metaverso, além de locais para jogos, reuniões ou eventos, seu enorme potencial de aplicação deverá ser cotidianamente explorado e não contido. Uma idealização que ultrapassa os jogos ou espaços sociais, naturalmente vindo do metaverso, será também a estruturação de gêmeos digitais (*digital twings*) para ambientes urbanos (SINGH *et al.*, 2021).

3.2 Gêmeos Digitais (*digital twings*)

Em 1973, a missão Apollo 13 que ficou sem propulsores, e por isso não conseguiu pousar na lua, teve que retornar à Terra a bordo de um foguete do módulo lunar. A missão foi salva em parte, usando a concepção rudimentar de gêmeo digital. Partindo do acidente, simulações computacionais foram utilizadas pela *National Aeronautical Space Administration* (NASA), para promover possíveis soluções, encontrando assim uma configuração que aumentasse a probabilidade de sobrevivência da tripulação (OGURA, 2021).

A idealização de gêmeos digitais foi originalmente criada no início dos anos 2000 por Michael Grieves, cuja experiência em design de produto inicialmente enraizou a idealização na engenharia de manufatura, no entanto, desde seu início, a concepção foi expandida de modo que agora é aplicado para descrever vários modelos análogos digitais que se referem com processos instantaneamente pertencentes a sistemas sociais e econômicos que atuam em conjunto de sistemas físicos (BATTY, 2018).

Este conceito surgiu junto com a nova perspectiva tecnológica, visando trazer uma réplica do mundo real para um ambiente digital, permitindo a investigação de seus objetos, equipamentos, processos, aspectos e sua abordagem, testando cenários e possibilidades antes de implementar em sua cópia física, tornando as tomadas de decisões mais rápidas, eficientes e mais econômicas (QUINALHA, 2018).

Para Trauer *et al.*, (2020) como o nome sugere, gêmeo digital é uma réplica exata de algo do mundo físico, mas com o *know-how* de ajudar a fornecer *feedbacks* mais preciso sobre a sua versão no mundo real, fazendo uso de extensas simulações e hipóteses de um determinado produto ou serviço.

Para Quinalha (2018) a tecnologia de gêmeos digitais é amplamente utilizada na fabricação de vários produtos, mas também na desenvolvimento de procedimentos e sistemas.

Existem atualmente três níveis de simuladores para objetos e ambientes reais, que são:

- Modelo Digital (*Digital Model*) - É uma ilustração digital simples de um objeto físico, sem interação entre modelos físicos e virtuais. O intuito é analisar a performance da linha de produtos sob diferentes condições, avaliando o que pode dar errado para que os ajustes necessários possam ser feitos. Dessa forma, a tecnologia ajuda a diminuir os custos de manufatura e controlar a qualidade do produto (SINGH *et al.*, 2021);
- Sombra Digital (*Digital Shadow*) - É reconhecida por uma ligação entre objetos físicos e digitais, mas de forma unidirecional, com objetos físicos atualizando objetos digitais (SINGH *et al.*, 2021);
- Gêmeo Digital (*Digital Twin*) - No sistema, gêmeos digitais são usados para coletar grandes quantidades de dados operacionais desenvolvidos por produtos, ambientes e ou dispositivos abarcados no sistema. Isso permite que as empresas obtenham *insights* que ajudam a desenvolver novas oportunidades de negócios, com o intento de aperfeiçoar os processos utilizando a bidirecionalidade para que os objetos físicos possam atualizar os objetos virtuais mutuamente (SINGH *et al.*, 2021).

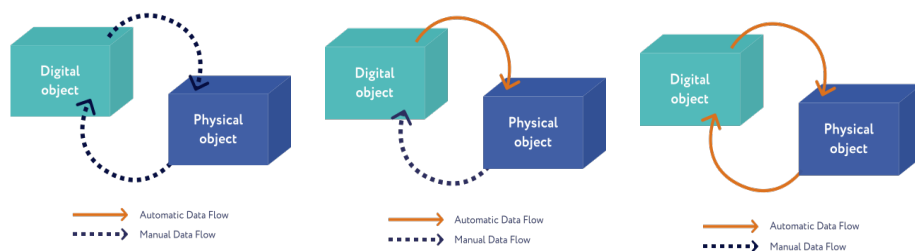


Figura 1: Tipos de Gêmeos Digitais

Fonte: Justaposto de Singh *et al.*, (2021).

O emprego desses *softwares* e da automação de dados permite que inúmeros processos sejam simulados ou executados digitalmente. Usando protótipos de gêmeos digitais, abre-se uma ampla gama de possibilidades que pode ser aplicada em diferentes campos, uma das quais é a aplicabilidade de gêmeos digitais para aperfeiçoar o bem-estar populacional, a sustentabilidade e a utilização eficiente de recursos das chamadas cidades inteligentes (ALLAM *et al.*, 2022).

3.3 As Cidades Intéligentes (*Smart Cities*)

O aumento da população mundial e a crescente concentração de indivíduos nos ambientes urbanos exigem que as localidades comecem a enfrentar desafios complexos de diferentes naturezas. A reivindicação por serviços de qualidade acessíveis a todos propende á crescer, como resultado, a capacidade dos governos locais de acolher a tais

requisitos é desafiada. Questões como transmutações climáticas, congestionamento de tráfego, poluição, falta de moradia adequada e acessível, instrução e saúde de qualidade, assim como governança participativa são pautas gradativamente mais inqueridas (JONEK-KOWALSKA, 2022).

As cidades digitais operam a tecnologia para facilitar a vida dos habitantes e modernizar a administração pública. Isso é alcançado, por exemplo, por intervenção da disponibilização de softwares de acesso online aos serviços de usufruto comum, o que simplifica as solicitações e agiliza os serviços em diversos setores. Este é o primeiro passo para tornar uma cidade digital em uma localidade de inteligência (WEISS; BERNARDES; CONSONI, 2015).

Muitas cidades brasileiras já estão se adaptando a essa realidade, em grande parte graças ao projeto cidades digital do *Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações* (MCTIC). No primeiro semestre de 2022, o programa implementou 198 cidades digitais distribuídas pelas regiões do Brasil, sendo 42% delas na localizadas no nordeste brasileiro (BRASIL, 2020). A digitalização de nossos sistemas ainda é incipiente em relação às 5.568 localidades em todo o território brasileiro.

A conceituação de uma urbanização inteligente surgiu entre as décadas de 1990 e 2000 para beneficiar-se das mudanças que a tecnologia acarreta para o corpo social, trazer maior dinamismo, reconhecer as urgências, e os pleitos sociais que são enfrentadas pelos gestores públicos (RIZZON *et al.*, 2017).

Segundo Lazzaretti *et al.*, (2019), embora a definição de um município inteligente ainda não seja consensual e amplamente aceita, seu objetivo final é promover um melhor uso dos instrumentos coletivos e aprimorar a qualidade das incumbências prestadas aos cidadãos, reduzindo os custos operacionais administrativos.

Em concordância com João, Souza e Serralvo (2019) e Sadhu, Yanambaka e Abdelgawad (2022), as localidades inteligentes são áreas metropolitanas tecnologicamente avançadas que usam diferentes tecnologias eletrônicas e diferentes dispositivos de monitoramento e processamento para geração de relatórios e coleta de elementos informacionais para gerenciar com eficiência os seus recursos de sua infraestrutura.

A principal característica dessas cidades é a *know-how* de implementar tecnologias de comunicabilidade que facilite amplo acesso a dispositivos, argumentos e modelos de administração para atender os desprovidos das autoridades públicas e seus colaboradores, cidadãos e organizações (WEISS; BERNARDES; CONSONI, 2015).

Urbanizações inteligentes utilizam os avanços da tecnologia para facilitar a vida de seus municípios, gerenciando melhor a iluminação pública, o transporte e os cuidados de saúde. Isso permite que usem de forma mais eficiente os recursos públicos em cada departamento. Nesse contexto, insere-se na definição de uma urbanização inteligente a fusão de três fatores: tecnologia da comunicabilidade e informação (TIC), gestão dos atributos dos espaços públicos e sustentabilidade (GERMANO; MEDEIROS, 2022).

Todas as urbanizações inteligentes são informatizadas (digitais), mas nem todas as localidades digitais são inteligentes. Isso porque, para uma cidade ser considerada inteligente, ela precisa estar conectada aos seus serviços computacionais, e o serviço deve estar plenamente disponível para ser manuseado pelo seu corpo social. Essa conexão permite que eles se unam para facilitar diversas melhorias de procedimentos e auxilia os municípios na tomada das decisões (ANDRADE *et al.*, 2020).

Localidades inteligentes são lugares com o olhar no futuro com amplas comodidades. Uma das primordiais razões para a edificação dessas cidades é oferecer oportunidades para novos serviços de coordenação e planejamento digital. As cidades gêmeas digitais são uma parte essencial desses projetos, que por definição, é uma imagem exata de uma localidade real (WEISS; BERNARDES; CONSONI, 2017).

No que concerne a esse conceito, cidades gêmeas digitais consistem em uma réplica virtual da localidade e está diretamente relacionada a municípios inteligentes. Isso tudo porque o gêmeo digital usa dados coletados em tempo real, muitos recursos de aprendizado de *machine learning* (ML), recalibração dinâmica e raciocínio para análise. Isso expressa que podem aprender continuamente de várias fontes para obter informações críticas sobre o andamento dos projetos do município, o desempenho e suas operações, se e quando foram concluídos e até mesmo sua lucratividade (YANG; LV; WANG, 2022).

Ao fornecer uma base estável para esses planos, a ideação de cidades gêmeas digitais trará oportunidade para os profissionais realizarem o planejamento e gerenciamento das atividades urbanas inteligentes (BATTY, 2018).

3.4 Oportunidades na Utilização dos Gêmeos Digitais Urbano

Os avanços na tecnologia permitiram uma análise mais profunda da vivência urbana. Alguns dos benefícios dessa tecnologia são as atualizações automatizadas das estatísticas gerais e expansão dos serviços à comunidade (BRÍGITTE; COSTA; BACILI, 2021).

Essas impressões digitais serão construídas com o agrupamento de informações que têm o potencial para serem filtradas e processadas mediante a uma sequência de algoritmos sofisticados e modelos informatizados. Não é possível construir essa realidade na formação dessas localidades inteligentes sem um investimento sólido em meios para a coleta dessas informações. Isso exigirá *cloud computing* (computação em nuvem), a *internet of things* (internet das coisas) e sensores em terra para coletar dados (ALLAM *et al.*, 2022). Na medida em que muitos fenômenos urbanos têm uma componente espacial, o *Sistema de Informação Geográfica* (SIG) assume especial importância nesta conjunção. Os sensores conectam a cidade real ao gêmeo digital e os atuadores conectam o gêmeo digital à localidade real (ISRAEL, 2022).

Segundo Allam *et al.*, (2022), a bidirecionalidade entre o cibernético e o físico pode facilitar a pesquisa sobre quais respostas são mais eficientes, verificando se uma ocorrência pode ser evitada, ou na sua inevitabilidade como poderia ser controlada e solucionada. Os

eventos do mundo *on-line* tendem a consumir menos recursos, custam menos, são mais fáceis de operar, geram menos resíduos e são mais resistentes a distrações, assim as aplicações práticas desse novo arquétipo para as localidades são inúmeras.

Na área da segurança pública, pode-se gerar e analisar mediante aos dados históricos e estudos, mapear acidentes assim como ocorrências policiais, utilizando o conhecimento gerado por esses dados e eventualmente direcionar as forças policiais com maior rapidez e eficiência, empregando melhor esses recursos (ALLAM *et al.*, 2022).

Aprimorar as incumbências de transporte promovendo a locomobilidade urbana e desenvolvendo novos modelos que sejam sustentáveis e acessíveis a toda a população. Simulações e análises de tráfego poderiam ser realizadas em *real time* seria possível por exemplo, que sensores de exaçoão de dados ajustassem os semáforos em resposta ao fluxo de carros nas estradas, esse mesmo sistema pode ajudar a entender o uso e as rotas ideais de ônibus utilizando os dados para compreender onde há setores com excesso de usuários melhorando assim locomoção populacional, penetrando nas diferentes camadas do tráfego urbano e visualizando quando este for irregular e ajustando seu fluxo (NETTO *et al.*, 2020).

Conforme Do Rosário, Salvador e De Barros (2021), a estação chuvosa no sudeste do Brasil concentra-se entre outubro e março, 80% da precipitação anual ocorre nesse período. Um gêmeo digital de um local como São Paulo pode usar dados em tempo real do terreno, solo, da cadeia de corredores de águas pluviais e pluviômetros com sensores espalhados por toda a extensão longitudinal da rota para determinar quais áreas serão afetadas por um possível alagamento. Com base nos dados coletados, simulações podem ser feitas para ajudar a encontrar elucidacões para as contrariedades causadas pelas enchentes na cidade (Deren; Wenbo e Zhenfeng, 2021).

No campo da saúde pública, um serviço de emergência mais eficiente e organizado, em particular, pode otimizar o decurso de resposta, e a virtualização impulsionada por gêmeos digitais ajuda a simular eventos como deslizamentos de terra causadas por temporais, enchentes, ou um rompimento de baragens, que exigem resposta rápida dos serviços de emergência, e estas simulações deve promover em uma resposta mais eficiente ao processo (JONEK-KOWALSKA, 2022; SINGH *et al.*, 2021).

Embora a tecnologia ainda esteja em seu principio exemplos mostram um enorme potencial e é particularmente útil porque permite uma variedade de experimentos sem afetar a rotina das pessoas (ALLAM *et al.*, 2022). Cenários hipotéticos podem ser gerados com base em dados históricos e os resultados gerariam possibilidades e previsões determinando a direção e as tendências futuras dessas localidades.

Consequente, a renovação das ferramentas cognitivas do governo municipal, das quais o gêmeo digital é a maior manifestação presente, parece estar intimamente relacionada ao contexto geopolítico e à necessidade de desenvolvimento de “impacto zero” visando à transformação ecológica e a transição digital dos métodos de planejamento

(CAPRARI, 2022).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo visou destacar a conceituação do metaverso, gêmeos digitais, elementos das urbanizações inteligentes, e as perspectivas, apresentadas pela combinação da tecnologia metaverso e gêmeos digitais aplicados à urbanização inteligente.

No estudo atual definiu-se que um gêmeo digital urbano como um mecanismo inovador no campo do planejamento urbano de localidades inteligentes que pode (embora potencialmente) fornecer aos formuladores de políticas públicas novas diretrizes escolhendo o caminho que ofereça os melhores resultados. Os avanços nos gêmeos digitais como metaverso para as urbanizações inteligentes, sem dúvida, permitirão obter uma compreensão mais profunda da natureza da realidade e de suas formas virtuais.

Destacou-se que os gêmeos digitais representam uma maneira conveniente de representar dados e ajudam a preparar o caminho para projetos maiores que abordam o crescimento urbano. Ao imitar as propriedades dos municípios no metaverso, promove-se o aperfeiçoamento da urbanização ao fornecer mecanismos para simulações digitais, proporcionando uma maneira de reduzir seus custos e aumentar a taxa de sucesso de seus processos, prevendo erros ou falhas e fazendo os reparos necessários em um ambiente virtual, antes de replicá-los no ambiente físico.

Um relevante obstáculo será integrar os sistemas existentes nas cidades com a multidisciplinaridade necessária para atualizar os sistemas e usar a tecnologia dos gêmeos digitais, as dificuldades incluem o baixo investimento em tecnologia e falta de capacidade técnica para coletar dados de muitas cidades que ainda não foram completamente informatizadas, que podem representar um dos basilares contratempos a serem enfrentados, há a indispensabilidade de fundir engenharia urbana, operações e tecnologia da informação para criar um ambiente de dados conectado.

Assim, conclui-se que este trabalho atinge os objetivos traçados na sua introdução e desperta, no seu desenvolvimento, uma área que evidencia a importância do tema no contexto acadêmico de suma importância social.

REFERÊNCIAS

ALLAM, Zaheer; SHARIFI, Ayyoob; BIBRI, Simon Elias; JONES, David Sydney; KROGSTIE, John. **The Metaverse as a Virtual Form of Smart Cities: opportunities and challenges for environmental, economic, and social sustainability in urban futures**. *Smart Cities*, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 771-801, 8 jul. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/smartcities5030040>.

ANDRADE, Diogo Calasans Melo et al. **CIDADES DIGITAIS E SOCIEDADE EM REDE: interseções e desafios de uma construção sociotécnica**. *Interfaces Científicas - Educação*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 66-79, 16 nov. 2020. Universidade Tiradentes. <http://dx.doi.org/10.17564/2316-3828.2020v10n2p66-79>.

BATTY, Michael. **Digital twins. Environment And Planning B: Urban Analytics and City Science**, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 817-820, set. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/2399808318796416>.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Ações e Programas: cidades digitais. Cidades Digitais**. 2020. Departamento de Projetos de Infraestrutura. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcom/pt-br/ acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cidades-digitais>>. Acesso em: 08 out. 2022.

BRÍGITTE, Giovanna Tomczinski Novellini; COSTA, Júlia Ramos; BACILI, Laura Aronchi. **Cidades Hackeáveis a partir de Gêmeos Digitais: uma proposta para o Smart Campus Facens**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, v. 3, p. 1-10, 2021.

CAPRARI, Giorgio. **Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: a state of the art and future perspectives**. Sustainability, [S.L.], v. 14, n. 10, p. 6263, 20 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su14106263>.

DEREN, Li; WENBO, Yu; ZHENFENG, Shao. **Smart city based on digital twins**. Computational Urban Science, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2021. <https://doi.org/10.1007/s43762-021-00005-y>

DO ROSÁRIO, Gabriel Feloni Martins; SALVADOR, Nemesio Neves Batista; DE BARROS, Daiane Raimundo. **Varição da qualidade das águas em um rio na região Sudeste do Brasil no longo prazo (1978-2018) segundo os índices IQA e IVA**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 7, p. 475-486, 2021.

FERNANDES, Afonso Fonseca. **NOVIDADES DO MUNDO VIRTUAL: METAVERSO O QUE HÁ DE NOVO?**. BIUS-Boletim Informativo Unimotrisaúde em Sociogerontologia, v. 32, n. 26, p. 1-3, 2022.

FONTANA, Clarissa Peres. **A EVOLUÇÃO DO TRABALHO: DA PRÉ-HISTÓRIA ATÉ AO TELETRABALHO**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 7, n. 7, p. 1155-1168, 2021.

GERMANO, Fabrício; MEDEIROS, Bruna Agra de. **CIDADANIA E DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL SOB A PERSPECTIVA DO DIREITO À LOCOMOÇÃO NAS CIDADES BRASILEIRAS**. Revista de Direito da Cidade, v. 13, p. 1957-1979, 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GOMES, Laura Graziela. **Avatares: o maravilhoso e o estranho no second life**. Estudos Históricos (Rio de Janeiro), v. 33, p. 173-195, 2020.

ISRAEL, Carolina Batista. **Um excuro sobre a Geografia da Internet e do ciberespaço**. Boletim Campineiro de Geografia, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 221-236, 6 abr. 2022. Boletim Campineiro de Geografia. <http://dx.doi.org/10.54446/bcg.v11i2.541>.

JOÃO, Belmiro do Nascimento; SOUZA, Crisomar Lobo de; SERRALVO, Francisco Antonio. **Revisão sistemática de cidades inteligentes e internet das coisas como tópico de pesquisa**. Cadernos Ebape.Br, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 1115-1130, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395174442>.

- JONEK-KOWALSKA, Izabela. **Health Care in Cities Perceived as Smart in the Context of Population Aging—A Record from Poland**. Smart Cities, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 1267-1292, 26 set. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/smartcities5040065>.
- LAZZARETTI, Kellen et al. **Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, 2019.
- NETTO, Vinicius Moraes et al. **A revolução dos dados e a nova ciência das cidades**. Revista de Morfologia Urbana, v. 8, n. 1, p. e00173-e00173, 2020.
- OGURA, Victorino. **Gêmeos digitais em telecomunicações: o desenvolvimento de um estudo de caso**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- QUINALHA, Eduardo. **Gêmeos digitais, o futuro da indústria 4.0: estudo de caso**. 2018.
- RIZZON, Fernanda et al. **Smart City: um conceito em construção**. Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233), v. 7, n. 3, p. 123-142, 2017.
- SADHU, Pintu Kumar; YANAMBAKA, Venkata P.; ABDELGAWAD, Ahmed. **Internet of Things: Security and Solutions Survey**. Sensors, v. 22, n. 19, p. 7433, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22197433>.
- SCHLEMMER, Eliane; TREIN, Daiana; OLIVEIRA, Christoffer. **Metaverso: a telepresença em Mundos Digitais Virtuais 3D por meio do uso de avatares**. In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). 2008. p. 441-450.
- SEREC, Fernando Eduardo. **Metaverso: Aspectos Jurídicos**. Grupo Almedina, 2022.
- SINGH, Maulshree; FUENMAYOR, Evert; HINCHY, Eoin; QIAO, Yuansong; MURRAY, Niall; DEVINE, Declan. **Digital Twin: origin to future**. Applied System Innovation, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 36, 24 maio 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/asi4020036>.
- TRAUER, J.; SCHWEIGERT-RECKSIEK, S.; ENGEL, C.; SPREITZER, K.; ZIMMERMANN, M.. **WHAT IS A DIGITAL TWIN? – DEFINITIONS AND INSIGHTS FROM AN INDUSTRIAL CASE STUDY IN TECHNICAL PRODUCT DEVELOPMENT**. Proceedings Of The Design Society: DESIGN Conference, [S.L.], v. 1, p. 757-766, maio 2020. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/dsd.2020.15>.
- VOGEL, Denis. **A holografia como tecnologia instrucional na educação corporativa: a telepresença nas salas de aula**. 2018.
- WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. **Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanas: a experiência da cidade de Porto Alegre**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 7, p. 310-324, 2015.
- WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. **Cidades inteligentes: casos e perspectivas para as cidades brasileiras**. 2017.
- YANG, Bin; LV, Zhihan; WANG, Faming. **Digital Twins for Intelligent Green Buildings**. Buildings, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 856, 19 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings12060856>.

LUIS RICARDO FERNANDES DA COSTA - Professor do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES. Atualmente é Coordenador Didático do Curso de Licenciatura em Geografia (gestão 2021/2022). Doutor em Geografia (2017) pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, com período sanduíche na Universidade de Cabo Verde - Uni-CV. É Licenciado (2012) e Mestre (2014) em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Foi bolsista de Iniciação Científica com o projeto Megageomorfologia e Geomorfologia Costeira do Nordeste Setentrional Brasileiro (Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande Norte e Paraíba), com ênfase nos estudos sobre geomorfologia fluvial no sertão de Crateús e áreas adjacentes. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, na modalidade Apoio Técnico (AT). É pesquisador do Laboratório de Geomorfologia da UNIMONTES, atuando principalmente na área da geografia física com ênfase em geomorfologia, mapeamento geomorfológico e análise ambiental em áreas degradadas/desertificadas.

A

Ambiente natural 2, 23

Aparelho móvel 11

Arborização 5

B

Base 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 47, 48

C

Características atmosféricas 24

Chuvas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37

Cidades inteligentes 40, 41, 42, 43, 45, 50, 51

Cobertura vegetal natural 1

Comparação 1, 8, 20, 30

D

Desterritorialização 2

E

Ecosistema urbano 2

Elementos urbanos 1, 5

Espaço geográfico rural 1

Eventos extremos 23

G

Galileo 19

Gêmeos digitais 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51

Geodésia 9

Google Earth Pro 1, 2, 3, 6

GPS pós-processado 8, 12

I

Indicadores atmosféricos 23

Ionosfera 19

M

Machine learning 41, 47

Mapas 5, 8, 21

Metaverso 40, 41, 42, 43, 44, 49, 50, 51

Método de triangulação 15

Métodos estático 12

Mudanças urbanas 1

N

Navegação 6, 19, 21

P

Ponto de orvalho 25, 26

Precipitação 22, 23, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 48

R

Receptores 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 20

Redes de água 12

Revoluções 41

Rio de Janeiro 7, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 31, 33, 36, 37, 38, 50

Rio Grande do Sul 8

Rio Guamirim 2

RTK 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20

S

São Paulo 1, 4, 7, 48, 50

Sistema Alerta Rio 23, 24, 26, 27, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37

Software 1, 2, 3, 6, 9, 15

T

Topografia 9, 10, 21

Trabalhos práticos 8, 12

Tripé 13

V

Variáveis dinâmicas 22, 25, 29, 31, 32, 36, 37

Vila Negri 1, 2, 3, 6

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3

