

A high-magnification electron micrograph showing several SARS-CoV-2 virus particles. The particles are roughly spherical with a distinct 'crown' or 'peplomeric' layer composed of spike proteins, appearing as red, protruding structures. Some yellow and orange particles are also visible.

Informe Semanal nº11 de Evidências sobre Variantes de Atenção de SARS-CoV-2

DECIT/SCTIE/MS

29 de abril de 2021



2021 Ministério da Saúde

Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Sem Derivações 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total dessa obra, desde que citada a fonte.

A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, no site do Ministério da Saúde: www.saude.gov.br.

Tiragem: 1^a edição – 2020 – versão eletrônica.

Elaboração, distribuição e informações:

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde

Departamento de Ciência e Tecnologia

Esplanada dos Ministérios, Bloco G, Edifício Sede, Sobreloja

CEP: 70.058-900 – Brasília/DF Tels.: (61) 3315-8975

Site: www.saude.gov.br/sctie

E-mail: genbr@saude.gov.br

Supervisão geral e organização:

Augusto Barbosa Júnior – DECIT/SCTIE/MS

Max Nóbrega de Menezes Costa – DECIT/SCTIE/MS

Elaboração e Revisão:

Alef Janguas da Costa – DECIT/SCTIE/MS

Arthur Kenji Akimoto – DECIT/SCTIE/MS

Augusto Barbosa Júnior – DECIT/SCTIE/MS

Amanda Nogueira Brum Fontes – DECIT/SCTIE/MS

Julianna Peixoto Treptow – DECIT/SCTIE/MS

Rodrigo Theodoro Rocha – DECIT/SCTIE/MS

Projeto gráfico, diagramação e figuras:

Alef Janguas da Costa – DECIT/SCTIE/MS

Augusto Barbosa Júnior – DECIT/SCTIE/MS

Rodrigo Theodoro Rocha – DECIT/SCTIE/MS

Ficha Catalográfica

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde. Departamento de Ciência e Tecnologia.

Informe Semanal nº 11 de Evidências sobre Variantes de Atenção de SARS-CoV-2 [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde. Departamento de Ciência e Tecnologia - Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

69 p.: il.

-
1. SARS-CoV-2
 2. Variantes de atenção - VOCs
 3. Política pública
-

Sumário

1 Apresentação	3
2 Contextualização	3
3 Variantes circulantes	8
3.1 Cenário Mundial	8
3.2 Cenário Brasileiro	10
4 Variantes de Preocupação	12
4.1 Variante VOC 202012/01, linhagem B.1.1.7	12
4.1.1 Identificação, distribuição e características	13
4.1.2 Transmissibilidade e diagnóstico	15
4.1.3 Severidade e manifestações clínicas	19
4.1.4 Imunidade, reinfecção e vacinação	21
4.2 Variante 501Y.V2, linhagem B.1.351	23
4.2.1 Identificação, distribuição e características	23
4.2.2 Transmissibilidade	26
4.2.3 Imunidade, reinfecção e vacinação	26
4.3 Variante P.1, linhagem B.1.1.28.1	31
4.3.1 Transmissibilidade	33
4.3.2 Severidade e manifestações clínicas	35
4.3.3 Imunidade, infecção e vacinação	35

4.4 Outras variantes de atenção para a saúde pública	37
4.4.1 Variante P.2, linhagem B.1.1.28.2	38
4.4.2 Novas VUIs	39
Referências	46

1 Apresentação

O Informe Semanal de Evidências sobre Variantes de Atenção do SARS-CoV-2 é uma produção organizada pelo Departamento de Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde do Ministério da Saúde (DECIT/SCTIE/MS), que possui o objetivo de acompanhar e relatar as mais recentes evidências de publicações científicas e da literatura cinzenta sobre as principais variantes de SARS-CoV-2 circulantes no Brasil e no mundo, bem como as suas implicações para a saúde. Para tanto, são realizadas buscas estruturadas em bases de dados de indexação de periódicos científicos revisados pelos pares, de artigos no formato pré-print e de literatura cinzenta. Este Informe não avalia a qualidade metodológica das evidências encontradas, mas as organiza de modo a informar os gestores e profissionais da saúde sobre as mais recentes descobertas em relação às variantes do SARS-CoV-2 e o seu impacto na saúde. Cabe ressaltar que o presente documento tem caráter unicamente informativo e não representa uma recomendação oficial do MS sobre a temática. Todas as frases destacadas em itálico no corpo do texto consistem em novas informações oriundas de documentos científicos e da literatura cinzenta publicados no período de 12 a 18 de abril de 2021. As frases não destacadas em itálico consistem em informações que já foram fornecidas em Informes anteriores.

2 Contextualização

A pandemia causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2) vem gerando inúmeros desafios para os sistemas de saúde e importantes impactos sócio-econômicos em todo o mundo. Segundo informações da Organização Mundial de Saúde (OMS), até a data de elaboração deste informe (29 de abril de 2021), o mundo registrou mais de 148,99 milhões de casos confirmados de Covid-19 e mais de 3,14 milhões de

óbitos relacionados à doença, o que traduz a maior e mais desafiadora crise mundial de saúde pública já enfrentada pela geração atual [1]. No Brasil já foram notificados mais de 14,52 milhões de casos e 398,1 mil óbitos pela doença [2].

Como esperado para um vírus de RNA, o SARS-CoV-2 vem sofrendo um acúmulo natural, espontâneo e contínuo de mutações, que são mudanças na sequência de nucleotídeos do seu genoma. As mutações no genoma do vírus de RNA podem ocorrer por meio de três mecanismos principais, sendo eles: (a) erros ocorridos durante o processo de replicação do genoma; (b) recombinação ou rearranjo com o material genético de outros vírus que co-infectam a mesma célula; e (c) induzidos por sistemas de modificação de RNA do hospedeiro, como parte de sua resposta imunológica. Cabe destacar que a maioria das mutações são irrelevantes, podendo algumas delas inclusive conferir uma pressão seletiva negativa para o vírus. Entretanto, existem algumas mutações que podem conferir vantagens seletivas positivas, tais como maior transmissibilidade e escape da resposta imunológica do hospedeiro.

Assim, as variantes virais surgem quando determinadas mutações se fixam e começam a serem disseminadas. Desta forma, o vírus original (ancestral) pode ter inúmeras variantes, cada uma com um grupo distinto de mutações. Já a linhagem é caracterizada como um conjunto de variantes que se originaram de um vírus ancestral comum. Em outras palavras, a linhagem seria um grupo de variantes virais que se diferenciaram entre si, mas que possuem o mesmo ancestral. Assim, as linhagens caracterizam-se como um sistema de classificação onde as variantes virais são agrupadas em ramos, de acordo com o seu ancestral comum. Rambault e colaboradores, em uma publicação no periódico científico *Nature Microbiology* em julho de 2020, propuseram um sistema de classificação em linhagens, tendo como base grandes ramos que receberam a denominação de letras do alfabeto (A, B, C, D, etc), de acordo com o vírus ancestral [3]. Assim, à medida que forem surgindo diferenciações genéticas aliadas às evidências epidemiológicas dentro de cada grande ramo, são designadas novas linhagens

A.1, A.2, B.1, B.1.1, e assim sucessivamente (Figura 1).

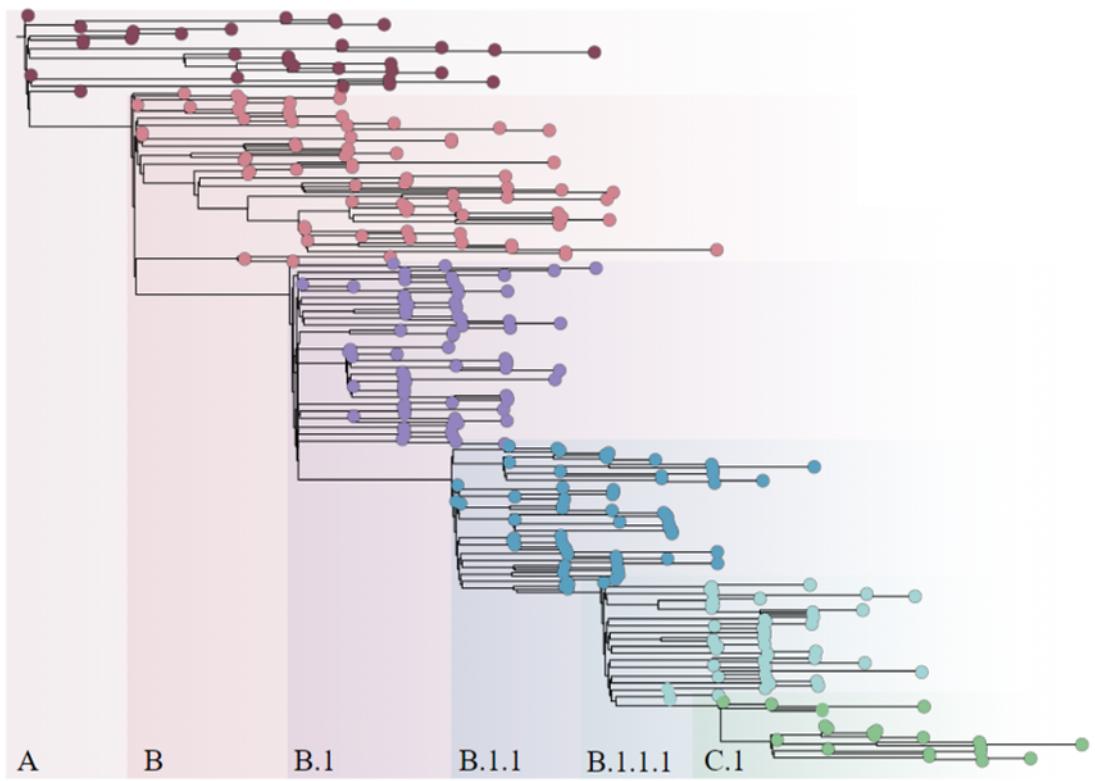


Figura 1: Sistema hierárquico de classificação de Rambault representando a evolução das linhagens virais e suas ramificações (Fonte: [4]). .

Considerando que em uma pandemia milhões de pessoas são infectadas em diferentes locais do mundo, é natural supor que o processo evolutivo culminará com o surgimento de diversas variantes e linhagens virais. Por este motivo, a informação contida nos genomas virais serve como ferramenta essencial para a realização de uma vigilância epidemiológica genômica, que fornecerá dados cruciais para entender o caminho que um vírus percorreu até chegar em uma determinada localidade e os impactos de suas mutações em relação a sua transmissibilidade, contágio e escape de resposta imunológica do hospedeiro. Além disso, a caracterização genômica em larga escala, como vem sendo realizada para o SARS-CoV-2, e que não possui precedentes na história da humanidade, ajudará a

identificar os perfis de dispersão e as potenciais consequências das variantes de preocupação ou atenção (VOCs, do inglês *variants of concern*).

O presente informe traz informações summarizadas da literatura técnico-científica e cinzenta sobre as características, dispersão e o impacto das mutações das VOCs e das variantes sob investigação (VUIs, do inglês variants under investigation) do SARS-CoV-2, também denominadas de variantes de interesse de saúde pública, visando auxiliar a tomada de decisão baseada em evidência. Cabe destacar que, se uma variante possuir mutações com potencial de lhe conferir vantagens evolutivas, como maior patogenicidade, essas passam então a serem investigadas e são consideradas como VUIs. Quando a investigação científica gera evidência sobre a vantagem seletiva propiciada pelas mutações da VUI, essa passa então a ser designada como VOC.

Atualmente existem 3 linhagens classificadas como VOCs pelo PANGO Lineages [4] em circulação no mundo, cujas informações sobre as suas distribuições geográficas, características e potenciais impactos para à saúde estão summarizadas na Figura 2.

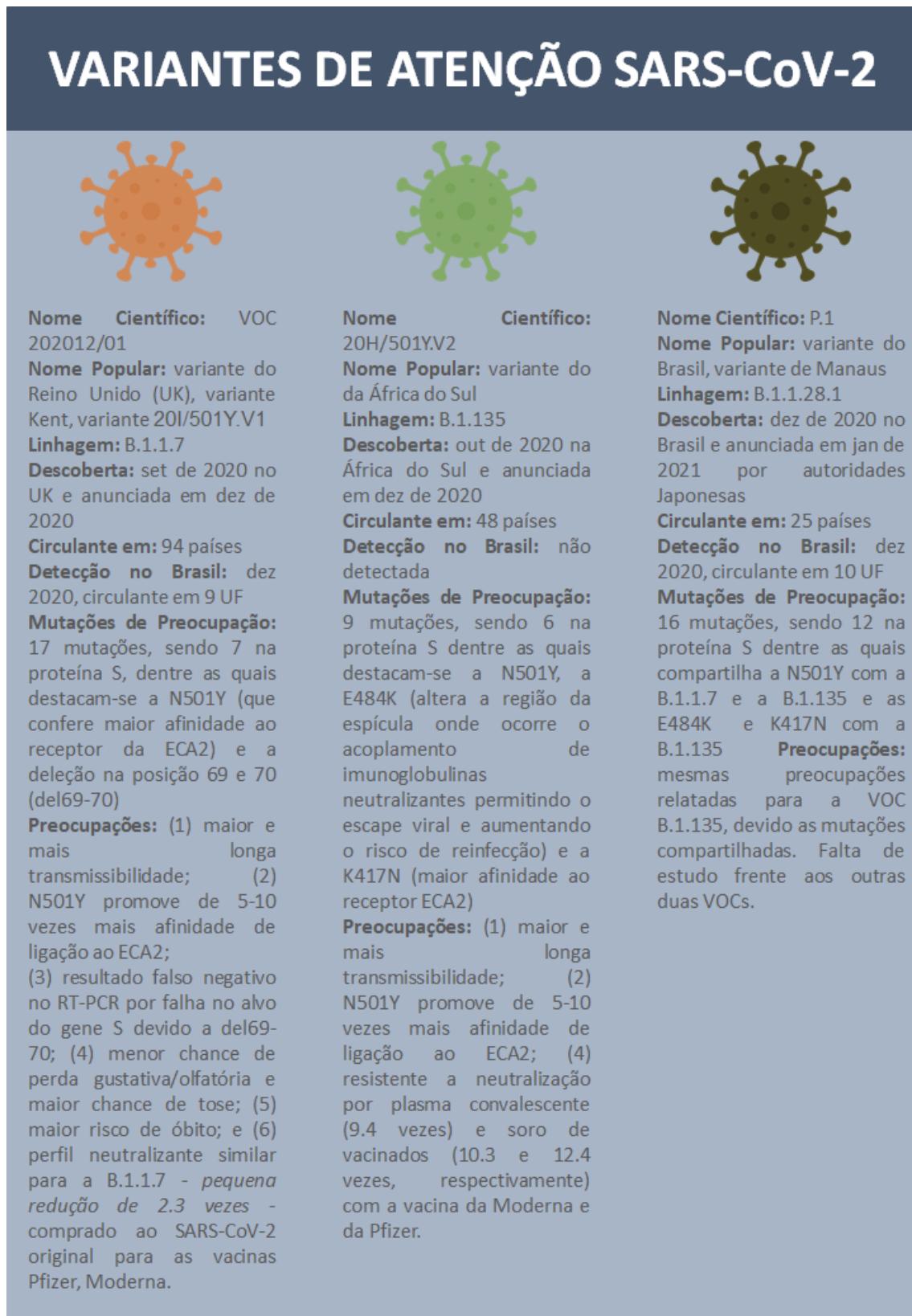


Figura 2: Infográfico sumarizando as informações sobre as VOCs do SARS-CoV-2.

3 Variantes circulantes

3.1 Cenário Mundial

Desde o surgimento do SARS-CoV-2, foram identificadas, por meio do sequenciamento do genoma viral, 1.520 variantes circulantes no mundo [4]. Dentre a multíitude de variantes, algumas estão sob a vigilância de inúmeros países devido, principalmente, a possível associação com os aumentos repentinos de novos casos de Covid-19, aumento da severidade da doença e por seus efeitos prejudiciais sobre a eficácia das vacinas disponíveis no mercado e em desenvolvimento.

Atualmente, três linhagens virais foram elencadas como sendo VOCs por, possivelmente, suas mutações propiciarem vantagens seletivas ao SARS-CoV-2.

Tabela 1: Detecção das variantes de preocupação (VOCs) de SARS-CoV-2 no distrito federal e estados brasileiros.

Estado	Número de Genomas Sequenciados	B.1.1.7	B.1.351	P.1
Acre	25			
Alagoas	160			
Amapá	38			
Amazonas	535			
Bahia	371			
Ceará	162			
Distrito Federal	26			
Espírito Santo	166			
Goiás	86			
Maranhão	108			
Mato Grosso	12			
Mato Grosso do Sul	81			
Minas Gerais	370			
Pará	231			
Paraíba	239			
Paraná	312			
Pernambuco	251			
Piauí	2			
Rio de Janeiro	1237			
Rio Grande do Norte	60			
Rio Grande do Sul	841			
Rondônia	33			
Roraima	13			
Santa Catarina	344			
São Paulo	1969			
Sergipe	156			
Tocantins	26			

3.2 Cenário Brasileiro

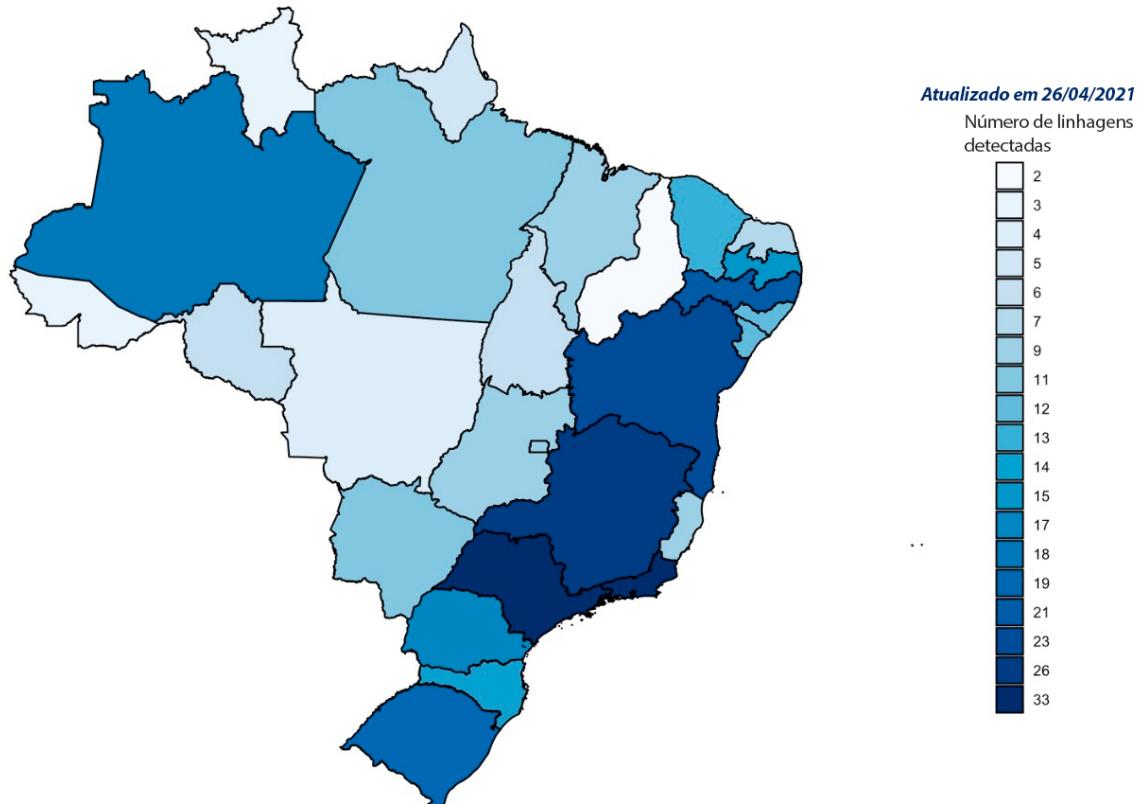


Figura 3: Quantidade de linhagens do SARS-CoV-2 detectadas nas Unidades da Federação (UF) brasileira (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5]).

No Brasil, até 33 diferentes linhagens do SARS-CoV-2 foram identificadas circulando no estado de São Paulo (Figura 3). A medida que mais genomas vem sendo sequenciados, observa-se uma mudança temporal na prevalência de circulação das principais linhagens de SARS-CoV-2 em circulação no país (Figura 4). Mesmo que até o presente momento o Brasil tenha realizado o sequenciamento de uma quantidade reduzida de genomas do SARS-CoV-2 (3.917 genomas completos sequenciados), observa-se que a linhagem circulante predominante atualmente no país é a P.1 (82,6% dos genomas sequenciados), seguido pela P.2 (5,1% dos genomas sequenciados), B.1.1.28 (5,6% dos genomas sequenciados), B.1.1.33 (0,7% dos genomas sequenciados) e outras linhagens (6% dos genomas sequenciados) (Figura 4 e 5).

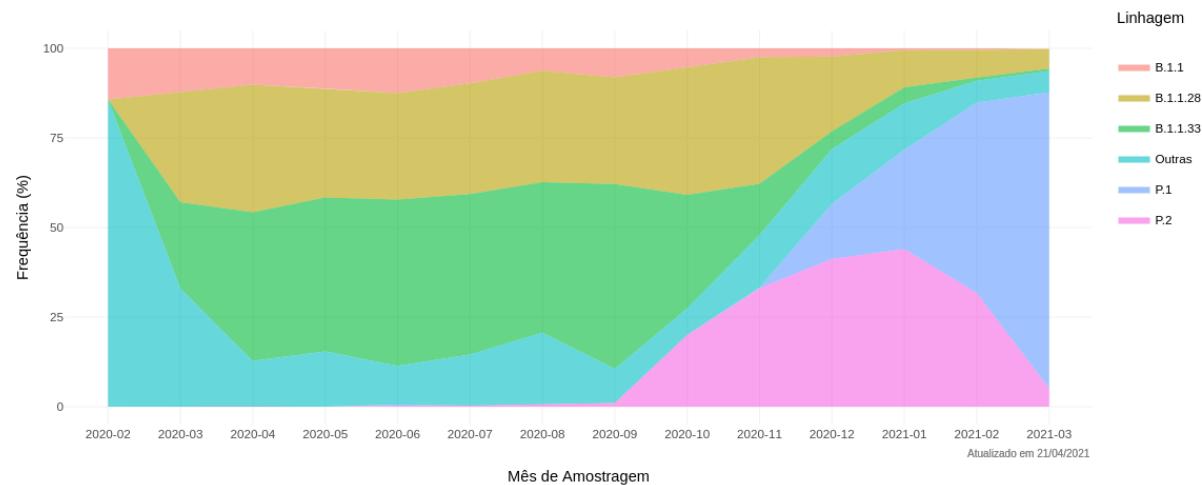


Figura 4: Evolução temporal da frequência de circulação das linhagens de SARS-CoV-2 em território brasileiro (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5]) .

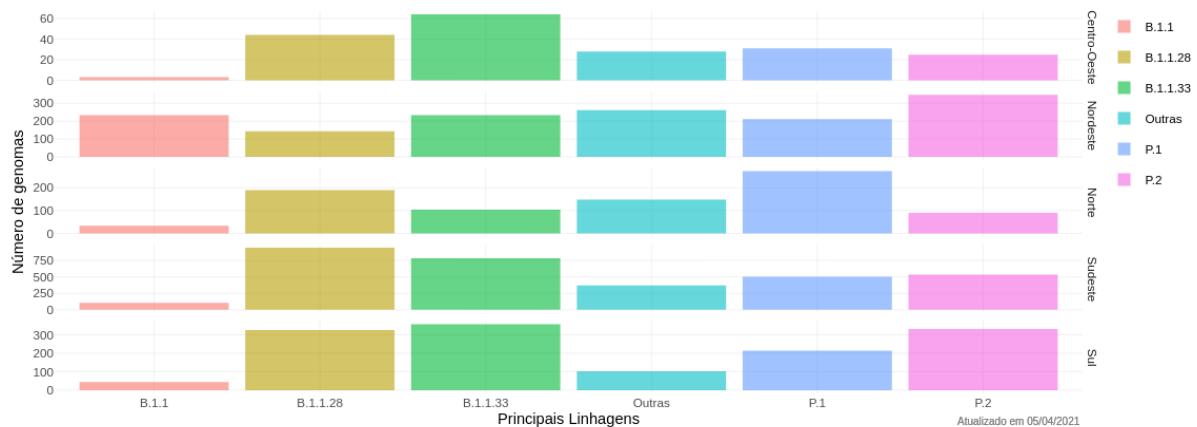


Figura 5: Distribuição do número de linhagens encontradas nas 5 macro-regiões do Brasil (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5]) .

4 Variantes de Preocupação

4.1 Variante VOC 202012/01, linhagem B.1.1.7

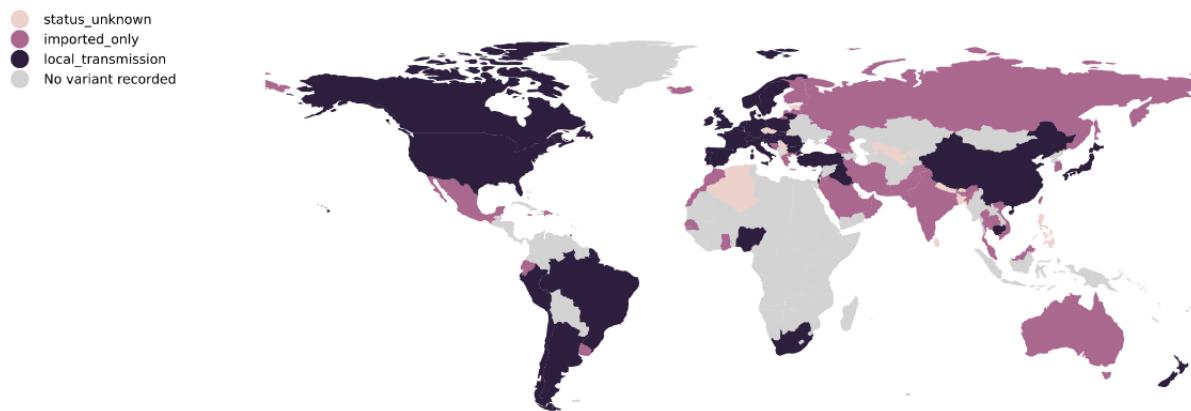


Figura 6: Prevalência mundial da linhagem B.1.1.7 (Fonte: [4]).

4.1.1 Identificação, distribuição e características

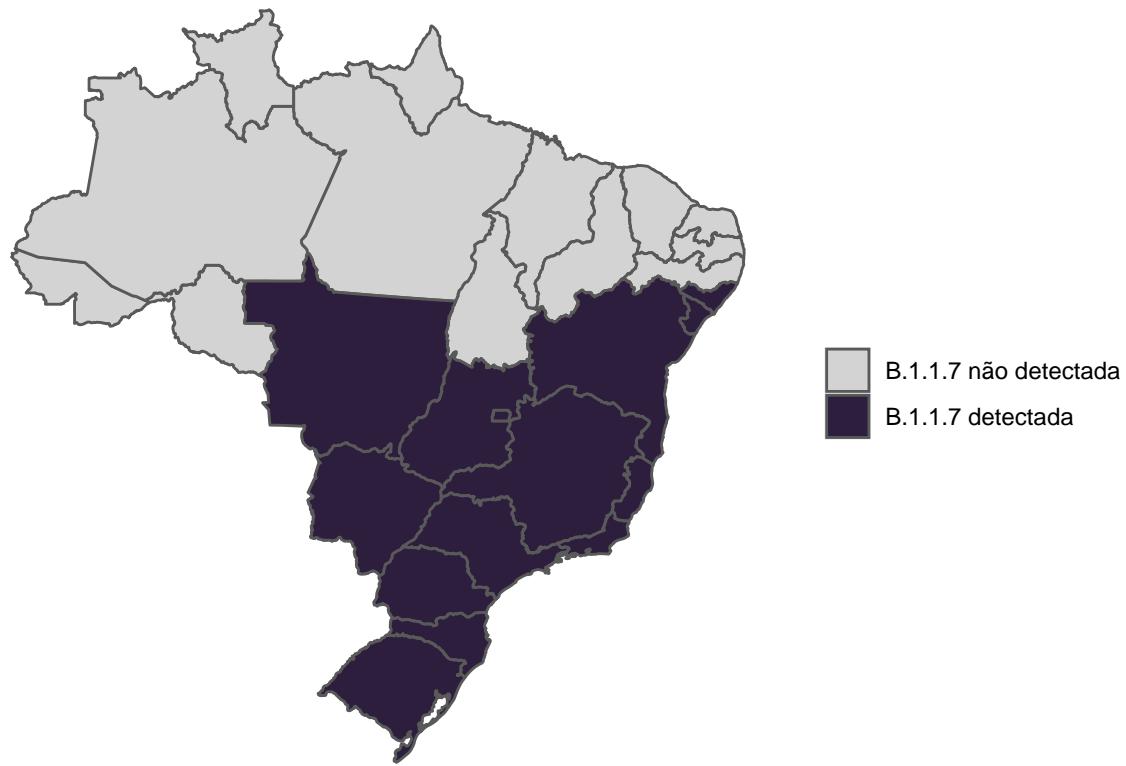


Figura 7: Distribuição da linhagem B.1.1.7 nas UF brasileiras, incluindo o DF (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5], [6], [7] e GISAID)

Em dezembro de 2020, foi relatado no Reino Unido (UK, do inglês *United Kingdom*), principalmente no condado de Kent e na cidade de Londres, um aumento repentino (em torno de 4 vezes maior do que no período anterior) do número de novos casos de Covid-19 [8]. Este aumento acentuado de novos casos da doença foi associado ao surgimento da VOC 202012/01 - também conhecida como 20I/501Y.V1, linhagem B.1.1.7, variante Kent ou variante do UK- nessas regiões entre os meses de setembro e novembro de 2020 [8,9]. Apesar de terem sido implementadas medidas de contingenciamento, anunciadas pelo Governo Britânico em dezembro de 2020, mais de 16.800 novos casos de Covid-19 foram associados a essa VOC. Atualmente, a B.1.1.7 já foi identificada em 115 países [4].

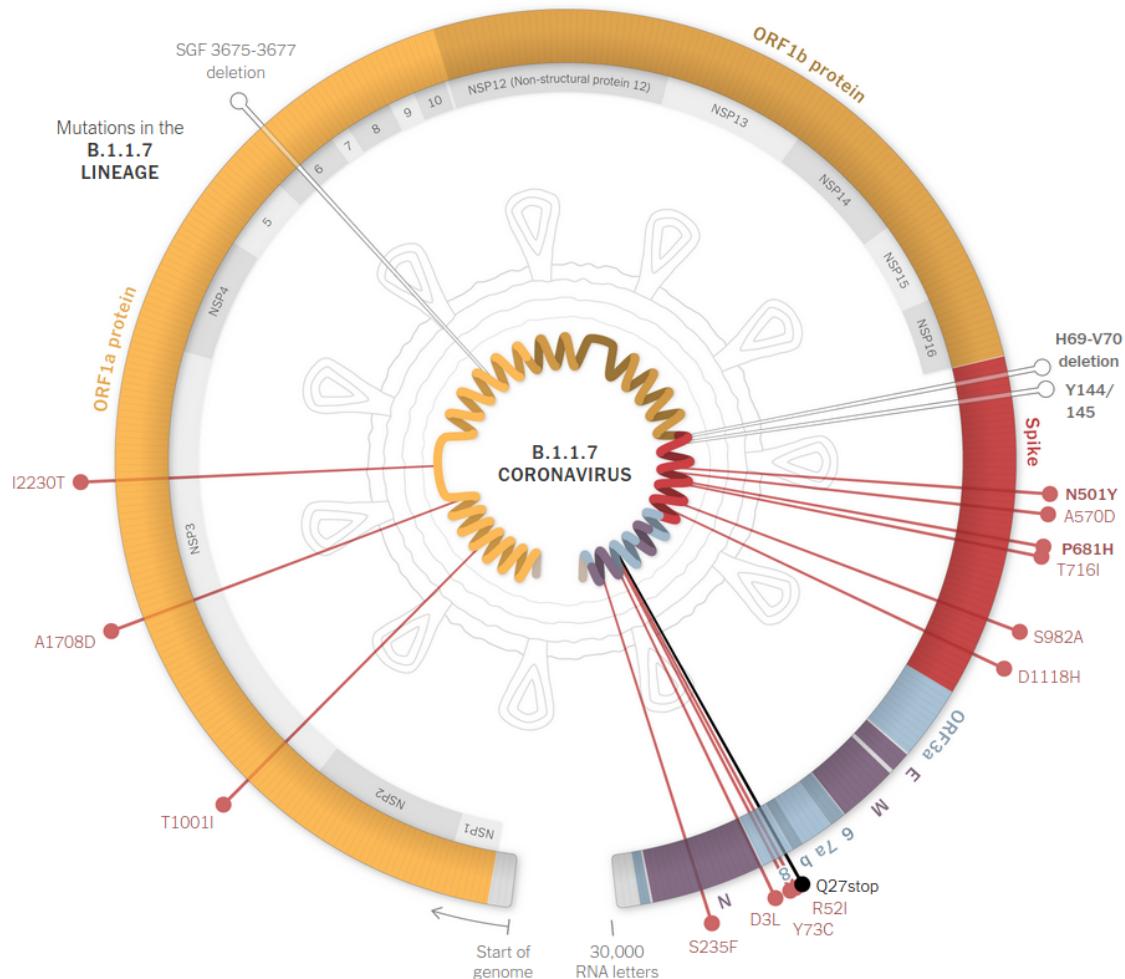


Figura 8: Perfil de mutações da VOC B.1.1.7 (Fonte: [10]).

Os dois primeiros casos de infecção no Brasil com a B.1.1.7 foram identificados em dezembro de 2020 pelo Laboratório de Diagnósticos DASA. Atualmente, a B.1.1.7 já foi identificada em 14 UF brasileiras, que incluem Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal e Rio Grande do Sul (Figura 7).

4.1.2 Transmissibilidade e diagnóstico

Estudos recentes identificaram que a taxa de reprodução (R_0) do SARS-CoV-2, anteriormente relatado como sendo abaixo de 1 para o estado norte-americano da Carolina do Norte e para o condado de Guilford, pode vir a exceder este valor após a introdução da B.1.1.7 nos EUA [11,12]. Um estudo correlacionou os dados clínicos de uma coorte com 341 pacientes, incluindo 198 (58%) com infecção por B.1.1.7, observando que estas infecções estão associadas com aumento da carga viral [13]. Outro estudo estimou que a infectividade da B.1.17 é aumentada em comparação com outras variantes não-VOCs, estimando aumento de 1,35 vezes (95% IC 1,02-1,69) no número de reprodução [14].

Projeções a partir de modelagem computacional indicam que esta VOC pode se tornar a linhagem predominante em circulação nos EUA a partir de março de 2021 [15]. Outros estudos que utilizaram uma variedade de abordagens de modelagens estatísticas, estimaram que a B.1.1.7 tem uma R_0 cerca de 43% a 90% maior [16] do que as variantes preexistentes, corroborado pelo aumento de 52% a 69% na sua taxa de transmissibilidade [17]. Um modelo de transmissão dinâmica mostra que a B.1.1.7 poderá levar a grandes ondas de ressurgimento da Covid-19 em todo o mundo [16]. Um estudo que analisou 19.912 amostras de pessoas com Covid-19 em Toronto, Canadá, observou que aproximadamente 25,5% das amostras eram VOCs, dentre as quais 93% pertenciam à linhagem B.1.1.7 [18]. Dados de rastreamento de contato em Oslo, na Noruega, foram usados para estimar a transmissibilidade relativa da B.1.1.7, tendo sido observado um aumento na taxa de ataque secundário em 60% (IC de 95% 20% - 114%) em comparação com outras variantes de SARS-CoV-2. Também foi relatado um aumento significativo no número de reprodução estimado de 24% (IC 95% 0% - 52%), que corresponde a um aumento absoluto de 0,19 em comparação com outras variantes de SARS-CoV-2 [19]. Um estudo evidenciou que a linhagem P.1 não foi capaz de superar B.1.1.7 na Itália em mais de um mês de co-circulação, sob as medidas de mitigação existentes. Sugere-se que isso pode ser devido a uma transmissibilidade mais

baixa de P.1, independentemente de sua capacidade de reinfectar indivíduos previamente infectados por linhagens anteriores [20].

Um estudo relatou que pacientes infectados com a B.1.1.7, cujas amostras de swab para RT-PCR exibem um perfil de falha no alvo do gene S (que codifica a proteína spike - proteína S), têm maior probabilidade de apresentarem cargas virais elevadas, o que pode explicar a maior transmissibilidade e rapidez de disseminação promovidos por esta VOC [21]. Esta falha de detecção no alvo do gene S no RT-PCR ocasionado pela B.1.1.7 foi corroborada por outro estudo que não observou a geração de sinal de amplificação para o alvo desse gene, mas manteve a detecção para os alvos dos genes RF1ab e N [22]. Ao avaliar 88.375 valores de Ct (Cycle threshold) de testes de RT-PCR no período de 26 de janeiro a 13 de março, foi observado que em 12 de março quase 85% das infecções na França estavam relacionadas a B.1.1.7, sendo a sua taxa de transmissão cerca de 38% a 44% maior do que as cepas do tipo selvagem [23]. Foi demonstrado que a variante B.1.1.7 se replica de forma mais eficiente, o que pode explicar o motivo pelo qual essa variante se dispersa tão rapidamente em vários países [24]. Outro estudo recente demonstrou que a B.1.1.7 é capaz de se replicar e fixar-se de forma mais eficiente na cavidade nasal com menos concentração viral e por períodos de exposição ao hospedeiro menores do que o observado para as linhagens anteriores. [25].

Um estudo in silico demonstrou que a B.1.1.7 possui maior afinidade com o receptor da enzima conversora de angiotensina 2 (ECA2) e, portanto, esta característica lhe pode conferir maior transmissibilidade e possivelmente maior patogenicidade [26]. O domínio do receptor de ligação (RBD) da proteína S é a região do SARS-CoV-2 que interage com as células do hospedeiro, por meio da ligação com o receptor da ECA2, permitindo a entrada do vírus nas células humanas. O RBD da B.1.1.7 apresenta a mutação N501Y (que consiste na substituição do aminoácido asparagina (N) por tirosina (Y) na posição 501) que confere a esta VOC cerca de 5 a 10 vezes mais afinidade ao receptor ECA2 em com-

paração ao RBD do vírus original de Wuhan. Outro estudo estimou que a afinidade do RBD da B.1.1.7 ao receptor da ECA2 é cerca de 1,8 vezes maior do que a afinidade observada para o RBD do vírus original [27]. O aumento da afinidade do RBD viral ao receptor da ECA2 foi relacionado a N501Y, indicando que esta é uma mutação crítica e que, possivelmente, promoveria o aumento da transmissibilidade do SARS-CoV-2 [28,29]. Também já foi avaliado o efeito de mutações individuais da proteína S na capacidade de ligação ao receptor de ECA2. Para tanto, foram construídos pseudovírus em laboratório contendo a mutação D614G (que consiste na substituição do aminoácido aspartato (D) por glicina (F) na posição 614), que é característica da linhagem B.1.1.7. Os resultados demonstraram que a mutação D614G foi capaz de promover um incremento de, aproximadamente, 3,5 vezes na atividade de entrada celular em comparação ao vírus original. Salienta-se a necessidade de que sejam conduzidos ensaios experimentais adicionais utilizando o vírus wild type e suas VOCs para corroborar os achados destes estudos, visto que foram empregados pseudovírus construídos a partir de um lentivírus expressando inúmeras variações da proteína S encontradas nas VOCs do SARS-CoV-2 [30–32]. Um estudo de dinâmica molecular observou que a mutação D614G favorece uma ligação molecular do tipo ponte de salina que auxilia na flexibilidade em torno da proteína de fusão viral. Além disso, as mutações A570D e N501Y também favorecem a superfície de interação entre a RBD da B.1.1.7 e a interface ECA2 das células hospedeiras [33]. Adicionalmente, um estudo de dinâmica molecular identificou que a interação entre o RBD com o receptor da ACE2 da B.1.1.7 é mais forte, estável e seletiva do que as observadas para outras variantes do SARS-CoV-2 e para outros betacoronavírus. Assim, este estudo apresentou evidências sobre a existência de uma rota de evolução funcional molecular que ocorre na interface da interação entre o RBD e o receptor da ACE2 no qual o vírus, antes de infectar humanos e configurar um problema zoonótico, deve apresentar um estado de “pré-adaptação” no qual ele seja capaz de se ligar a proteínas humanas de maneira não seletiva. Uma vez que atinjam as células humanas, esses

vírus provenientes de animais evoluem no sentido de adquirir adaptações importantes, como maior estabilidade de interação dos RBD em relação aos alvos proteicos humanos, como o receptor da ACE2. Assim, o surgimento de novas variantes de SARS-CoV-2, como a B.1.1.7, indica claramente a evolução funcional de interações mais estáveis do RBD viral com os alvos proteicos humanos [34]. Um estudo forneceu uma compreensão sobre o impacto de mutações que evoluíram naturalmente durante o curso da pandemia na estrutura da proteína S, auxiliando para a compreensão de seu impacto funcional. Foi demonstrado que as mutações na proteína S presentes na B.1.1.7 apresentam um balanço entre estabilizar e desestabilizar a proteína, influenciando na ligação ao receptor do ECA2 e na reatividade à anticorpos [35].

Outra mutação de atenção na proteína S da B.1.1.7 é a L18F, que consiste na substituição do aminoácido leucina (L) por fenilalanina (F) na posição 18. Através da modelagem das informações genômicas do GISAID, um estudo estimou que a mutação L18F pode conferir a B.1.1.7 uma vantagem replicativa de, em média, 1,7 vezes (IC 95%: 1,56-1,96) maior, em relação as outras VOCs [36].

Um estudo testou a hipótese se a infecção causada pela B.1.1.7 está associada a concentrações virais nasofaríngeas maiores ou mais sustentadas, a partir de uma coorte de 65 indivíduos infectados com SARS-CoV-2, dos quais 7 foram infectados com a B.1.1.7. Para os indivíduos infectados com B.1.1.7, a fase de proliferação foi de 5,3 dias (enquanto que para outras variantes foi de 2,0 dias), a duração média da fase de eliminação foi de 8,0 dias (enquanto que para outras variantes foi de 6,2 dias) e a duração média global da infecção (proliferação mais eliminação) foi de 13,3 dias (enquanto que para outras variantes foi de 8,2 dias). Assim, estes resultados oferecem evidências de que a B.1.1.7 pode causar infecções mais prolongadas do que outras variantes do SARS-CoV-2 e, portanto, contribuir para o aumento da transmissibilidade [37]. Apesar disso, outros estudos apontam que parece não haver aumento na taxa de replicação da B.1.1.7 nas células epiteliais das vias aéreas humanas [38]. Entretanto,

outro estudo demonstrou que a B.1.1.7 apresenta vantagem replicativa duplicada em relação à 20A.EU1, que era a variante predominante em circulação no UK no ano de 2020 [39].

Recentemente, foi demonstrada pela primeira vez a capacidade de animais domésticos (cães e gatos) serem infectados pela B.1.1.7. Dada a infectividade e transmissibilidade dessa VOC para humanos, a descoberta aponta para o fato de que esses animais podem desempenhar um papel importante na dinâmica de transmissão do SARS-CoV-2 [40].

Um estudo focou na análise dos genomas de SARS-CoV-2 que possuem disrupturas no gene ORF8. Acredita-se que este gene esteja relacionado com aumento da transmissibilidade da variante B.1.1.7. Esse estudo argumenta que outros estudos indicam que variantes com disruptura da ORF8 ocasionam um período de infecção mais prolongado, influenciando indiretamente no aumento da transmissibilidade. Foi sugerido que, além das mutações da proteína S, deve-se considerar a co-ocorrência com mutações da ORF8 ao avaliar potenciais variantes de interesse. [41] [41].

4.1.3 Severidade e manifestações clínicas

O perfil de sintomas clínicos da infecção com a B.1.1.7 é diferente das outras variantes identificadas até o presente momento. Pacientes infectados com a B.1.1.7 reportam menos perda/ausência de senso gustativo/olfativo e mais tosse quando comparados aos sintomas de pacientes infectados por outras linhagens [42]. Um estudo que comparou dados hospitalares da primeira e segunda ondas da pandemia no interior de Londres, observou que o número de admissão de casos com hipóxia foi maior nos indivíduos infectados com a B.1.1.7, suportando a evidência de que a B.1.1.7 está associada a sintomas mais severos da Covid-19 [43]. Entretanto, um estudo observacional conduzido no UK não encontrou nenhuma evidência de manifestação clínica mais severa em crianças e jovens quando comparou dados da primeira e da segunda onda de Covid-19 no país, sendo que na segunda onda a

linhagem circulante predominante era a B.1.1.7. Assim, os dados deste estudo sugerem que a infecção pela B.1.1.7 não resulta em um curso clínico apreciavelmente diferente em crianças e jovens quando comparada à infecção por outras linhagens [44]. Entretanto, outro estudo que comparou dados da primeira e da segunda onda em na região de Londres observou que o número de crianças e jovens internados na segunda onda, onde a B.1.1.7 era a variante predominante em circulação, triplicou em relação a primeira onda. Também observou-se que o número total de internações contando toda a população cresceu na mesma proporção, indicando que esse aumento seja decorrente da prevalência dessa VOC [45]. Em Nice, sudoeste na França, estimou-se que a B.1.1.7 afeta pacientes mais jovens e saudáveis [46].

Outros estudos também têm demonstrado que existe uma alta probabilidade do aumento de risco de óbito e da necessidade de internação hospitalar quando infectado com a B.1.1.7 [47–49]. A disseminação da B.1.1.7 teve um impacto significativo nas taxas de mortalidade durante a segunda onda da pandemia de Covid-19 na Europa [50]. A taxa de risco de mortalidade associada à infecção pela B.1.1.7, em comparação as linhagens do SARS-CoV-2 circulantes anteriormente, é de 1,64, que representa um aumento de 2,5 para 4,1 mortes para cada 1.000 casos detectados [51]. Outro estudo, identificou que a B.1.1.7 apresenta taxa de mortalidade mais elevada que outras variantes, sobretudo em homens com idade acima dos 85 anos e que possuem duas ou mais comorbidade (24,3% para B.1.1.7 contra 16,7% em não B.1.1.7) [52]. Apesar de um estudo ter associado a infecção pela B.1.1.7 com o aumento da carga viral, este não observou nenhuma correlação do nível de severidade da doença com esta variante [13].

4.1.4 Imunidade, reinfecção e vacinação

Com base na avaliação do potencial neutralizante do soro de 48 indivíduos vacinados com 1 ou 2 doses da BNT162b2 (Pfizer) ou da mRNA-2173 (Moderna) contra pseudovírus preparados para mimetizar as principais mutações das VOCs do SARS-CoV-2, demonstrou-se que a neutralização contra a B.1.1.7 permanece com perfil similar (decréscimo de 2,3 vezes) ao observado contra o vírus original. As vacinas de mRNA da Pfizer-BioNTech (BNT162b2) e da Moderna (mRNA-1273) induzem uma intensa resposta imune celular de células T CD4+, que confere proteção contra sintomas severos da Covid-19 mesmo quando anticorpos neutralizantes já não são mais efetivos [53]. Em um ensaio de 50% de redução do foco (FRNT50) - que avalia qual a concentração de anticorpos neutralizantes requerida para inativar um vírus - demonstrou que a vacina BNT162b2 (Pfizer) é capaz de estimular a produção de anticorpos no hospedeiro, apresentando potência de neutralização reduzida em 2,6 vezes contra a B.1.1.7 em comparação ao vírus original (sublinhagem americana WA1). O mesmo estudo também observou uma correlação negativa entre idade e concentração de anticorpos neutralizantes contra a B.1.1.7 em vacinados. Além disso, a análise com soro de convalescentes mostrou que, aparentemente, não há declínio da potência de neutralização de anticorpos em períodos de até 300 dias após a infecção por SARS-CoV-2 [54]. Resultados similares foram obtidos em outro estudo que utilizou soro de 24 vacinados com a BNT162b2 (Pfizer) e experimentos envolvendo isolados reais da B.1.1.7 [55]. O mesmo foi corroborado por estudo que demonstrou que, embora essa VOC seja mais contagiosa, foi verificado em soros de indivíduos imunizados com a vacina Pfizer-BioNTech o bloqueio eficiente da ligação de RDB viral o receptor de ACE2 [56]. Assim, apesar da B.1.1.7 possuir a mutação N501Y na proteína S, esta parece ainda apresentar potencial neutralizante [57]. Outro estudo observou que a B.1.1.7 não escapa da imunidade de anticorpos produzidos após vacinação com a BNT162b2 (Pfizer) ou pela infecção por outras linhagens de SARS-CoV-2 que estavam circulando anteriormente [38].

Outro estudo apontou que os dados apresentados para as vacinas da Moderna, Pfizer-BioNTech e Oxford-AstraZeneca são eficazes contra a variante B.1.1.7 [58]. Um estudo demonstrou que a segunda dose da vacina da Pfizer promove um aumento das frequências de células T contra as variantes B.1.1.7 [59]. Um estudo que analisou o perfil da resposta humoral com o soro de 19 franceses vacinados com a vacina da Pfizer observou que a imunização contra a B.1.1.7 ocorre partir da segunda dose, enquanto a neutralização da linhagem ancestral desta VOC começa cerca de uma semana após a aplicação da primeira dose [60]. Consolidando os achados, outro estudo investigou a resposta de anticorpos neutralizadores a 4 variantes (A.1, B.1, B.1.1.7 e N501Y) em pessoas que haviam sido infectadas ou vacinadas para determinar como as mutações na proteína S estão associadas à neutralização viral. Os resultados sugeriram que a imunidade induzida pela infecção ou pela vacinação é mantida contra a B.1.1.7 [61]. Outro estudo demonstrou que a vacina ChAdOx1 nCoV-19 da AstraZeneca mostrou atividade de neutralização reduzida contra a variante B.1.1.7 (70.4% com 95% de intervalo de confiança entre 43.6-84.5) em comparação com outras linhagens em estudos in vitro (81.5% com 95% de intervalo de confiança entre 67.9-89.4), mas a vacina mostrou eficácia contra a B.1.1.7 em uma coorte de 8.534 participantes [62]. Um estudo demonstrou que a vacina Sputnik-V possui eficácia contra a VOC B.1.1.7 mas não é capaz de neutralizar a VOC B.1.351 da África do Sul [63]. Focando exclusivamente no impacto das mutações na proteína S sobre a capacidade neutralizante de anticorpos, um estudo in vitro observou que a potência de neutralização do soro de 19 pacientes convalescentes de SARS-CoV-2 não se altera em face a B.1.1.7 [55]. Outro estudo observou que, apesar da atividade neutralizante do soro de vacinados com as duas doses de CoronaVac ser reduzida por um fator de 0,5 (IC: 0,3 – 0,7) contra um pseudovírus que mimetiza o perfil mutacional da proteína S da B.1.1.7, essa ainda mantém o mesmo padrão do perfil de neutralização contra o vírus original de Wuhan [64].

Foi comparada a eficácia de diferentes estratégias vacinais para o controle da pandemia de

Covid-19 no contexto das novas variantes que possuem taxas de contágio, virulência e sem resistência específica a vacinas similares ao perfil exibido pela B.1.1.7. Para tanto, foi desenvolvido um modelo matemático para simular diferentes cenários da evolução da pandemia na França entre os anos de 2021 e 2022. Os resultados dessa modelagem indicam uma redução de 7 vezes no número de óbitos em um cenário onde a campanha de vacinação dure 6 meses, indicando que estratégias de vacinação são essenciais para o enfretamento e combate à Covid-19 [65].

Outro estudo recente demonstrou que existe uma diminuição modesta da neutralização cruzada em relação à VOC B.1.1.7 [66].

4.2 Variante 501Y.V2, linhagem B.1.351

4.2.1 Identificação, distribuição e características

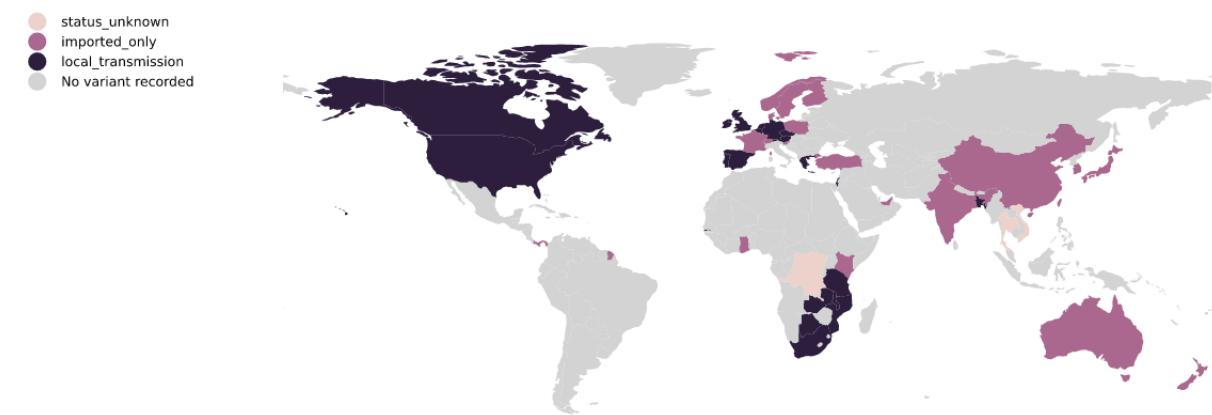


Figura 9: Prevalência mundial da linhagem B.1.351 (Fonte: [4]).

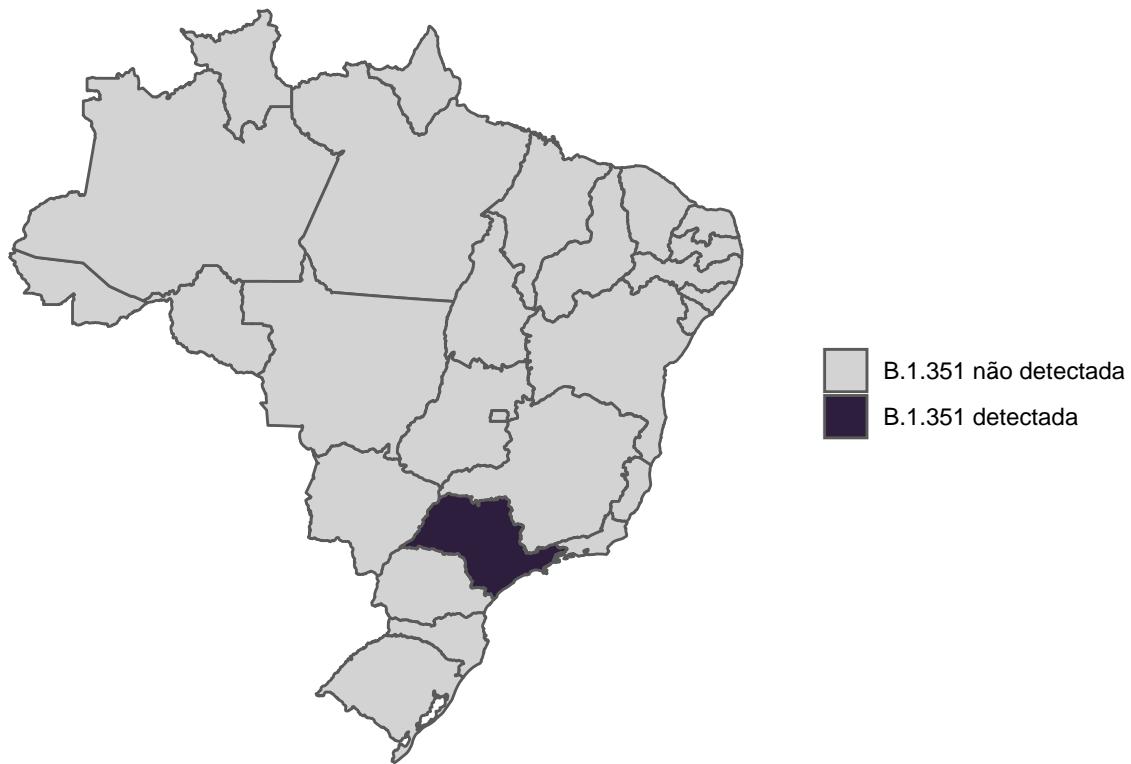


Figura 10: Distribuição da linhagem B.1.351 nas UF brasileiras, incluindo o DF (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5] e GISAID)

Em dezembro de 2020 o governo Sul Africano relatou a rápida disseminação de uma nova variante do SARS-CoV-2, designada de VOC 20H/501Y.V2, também conhecida como linhagem B.1.351 ou variante da África do Sul. Cabe destacar que esta VOC havia sido detectada 2 meses antes do relato das autoridades sul africanas. Ainda que a porcentagem de genomas sequenciados em relação ao número de casos relatados seja baixa, em 13 de janeiro de 2021, 349 novos casos de Covid-19 foram associados à variante B.1.351 na África do Sul [8,67].

Atualmente, a B.1.351 já foi identificada em 80 países e 1 UF brasileira, que é o estado de São Paulo (Figura 10). A VOC B.1.351 foi identificada na cidade de Sorocaba em um indivíduo sem histórico recente de viagens internacionais ou nacionais. Baseado no perfil molecular, filogenia e dados epidemiológicos, o estudo sugere duas hipóteses para explicar a identificação dessa VOC no país. A primeira considera

que a B.1.351 foi introduzida e localmente transmitida por viajante proveniente de países cuja linhagem está em circulação. Outra hipótese sugere que a VOC B.1.351 detectada no Brasil é uma variante que surgiu localmente devido fenômenos de evolução convergente. Essa explicação foi proposta devido à presença de três mutações na proteína S (A262D, D614G e C1247F) da variante detectada no Brasil que não estão no perfil mutacional da VOC B.1.351 de referência. Entretanto, mais estudos e dados de vigilância genômica são necessários para avaliar as hipóteses propostas, bem como avaliar a disseminação e a rota de transmissibilidade da B.1.351 no Brasil [68].

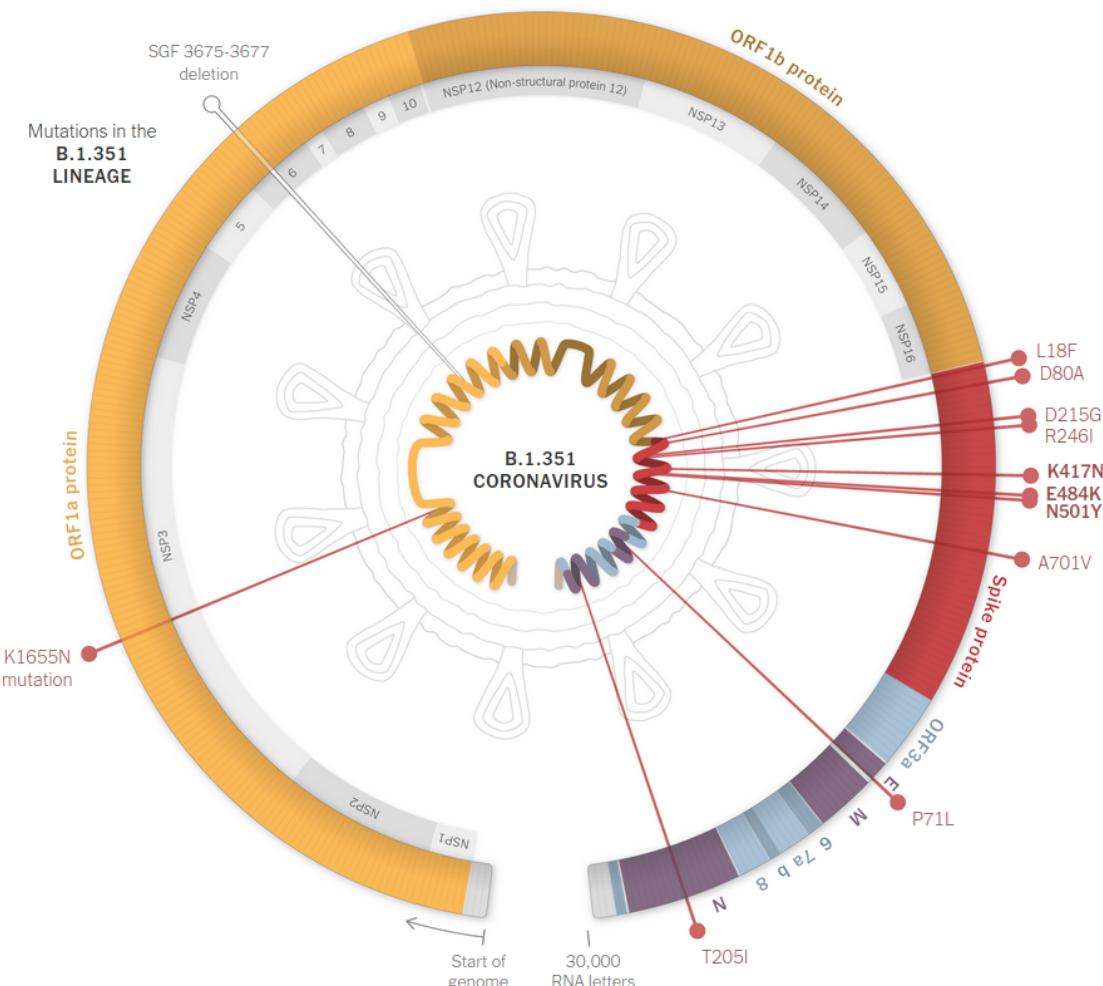


Figura 11: Perfil de mutações da VOC B.1.351 (Fonte: [10]).

4.2.2 Transmissibilidade

Um estudo identificou que a afinidade de ligação do RBD da B.1.351 ao receptor da ECA2 é 4,62 vezes maior que a afinidade encontrada para o RBD do SARS-CoV-2 original de Wuhan. Sugerindo aumento da transmissibilidade da Covid-19 nas infecções causadas pela B.1.351. Este mesmo estudo também sugere que as mutações que conferem maior afinidade de ligação do RDB viral ao receptor da ECA2 podem ser uma característica evolutiva convergente das variantes mais transmissíveis do SARS-CoV-2, visto que este aumento da afinidade de ligação também já foi demonstrado para a linhagem B.1.1.7 [27]. A linhagem B.1.351, ao contrário do observado com as linhagens ancestrais, é capaz de infectar e de se replicar em células de camundongos que expressam o receptor ECA2. Ao conduzir experimentos in vivo, verificou-se que a B.1.351 é capaz de se replicar no interior de células do trato respiratório de camundongos. Apesar das altas cargas virais encontradas no pulmão dos camundongos infectados, experimentos adicionais para avaliar as alterações patológicas, se há transmissão entre hospedeiros ou se há acompanhamento da comorbidade no ciclo de vida dos animais não foram conduzidas [69].

4.2.3 Imunidade, reinfecção e vacinação

Um estudo observou que o soro convalescente de profissionais da saúde infectados pela B.1.351 continham, inicialmente, pelo menos um anticorpo neutralizante e uma certa atividade de proteção humoral. No entanto, em uma proporção significativa desses profissionais de saúde que apresentaram sintomas leves da Covid-19, não foi identificada atividade neutralizante no soro contra a B.1.351 após o período de 6 meses da infecção [70]. Apesar disso, outro estudo sugere que os anticorpos desenvolvidos pós-infecção com a variante B.1.351 (n=89) são capazes de neutralizar a variante que circulava anteriormente e apresentar reatividade cruzada com outras VOCs, como a P.1. Esse fato indica que, pos-

sivelmente, as vacinas baseadas na proteína S da B.1.351 podem ser candidatas promissoras [71]. Outro estudo comparou a potência de 17 interferons humanos diferentes contra 5 linhagens virais. Os dados revelaram aumento da resistência aos interferons em variantes emergentes do SARS-CoV-2, como a B.1.351 indicando que o escape da imunidade inata é uma força motriz significativa para a evolução do SARS-CoV-2 [72]. Um estudo testou a sensibilidade dos anticorpos de amostras de 25 pacientes convalescentes coletados após 3 e 6 meses da infecção contra a B.1.351. Os resultados indicaram que os títulos de neutralização são reduzidos de 5 a 10 vezes contra a B.1.351 em relação a linhagem anteriormente circulante contendo a mutação D614G para os dois tempos de coleta. Pacientes que relataram sintomas mais severos foi observado maior poder de neutralização contra a B.1.351 em comparação aqueles que relataram terem tido sintomas leves ou moderados da Covid-19 [60]. Experimentos que mensuraram a potência de ligação de anticorpos e a neutralização contra a B.1.351 em comparação com a linhagem mundialmente predominante, a B.1, que contém a mutação D614G, demonstraram que os anticorpos produzidos por pacientes com infecção aguda (entre 5 a 19 dias da apresentação dos sintomas) conseguem se ligar ao RBD da B.1.351, porém, com capacidade de neutralização viral reduzida. Das 15 amostras que exibiram neutralização contra a variante B.1, 4 (26%) falharam ao neutralizar a variante B.1.351. A análise de uma coorte longitudinal de 30 indivíduos convalescentes demonstrou que os títulos de anticorpos tendem a reduzir nos 8 meses pós-infecção, entretanto, com impacto modesto na redução da capacidade neutralizante (2,1 vezes) dos anticorpos contra a B.1.351 [61]. Focando exclusivamente no impacto das mutações na proteína S sobre a capacidade neutralizante de anticorpos, um estudo in vitro observou que a potência de neutralização dos soros de 19 pacientes convalescentes sofreu uma redução de 4,6 vezes diante do pseudovírus que foi engenheirado para mimetizar o gene da proteína S da linhagem B.1.351. Ao avaliar a contribuição de um conjunto de mutações na proteína S típica da B.1.351, como as mutações E484K e N501Y, observou-se redução na

capacidade de neutralização de 3,6 vezes em relação ao vírus original. No que tange ao conjunto de mutações K471N/E484K/N501Y na proteína S presentes na B.1.351, observou-se diminuição de 3,5 vezes na capacidade neutralizante de anticorpos de pacientes convalescentes [55]. Ao comparar o plasma de convalescentes infectados pela B.1.351 e pela B.1, foi demonstrado a ocorrência de comprometimento de aproximadamente 8,4 a 15,1 vezes na capacidade de neutralização da B.1.351. Por outro lado, a resposta humoral provocada pela infecção da B.1.351 foi capaz de neutralizar outras linhagens de SARS-CoV-2 [73].

As respostas das células T CD8+ de indivíduos convalescentes com Covid-19 mantêm o reconhecimento as principais variantes do SARS-CoV-2. Um estudo demonstrou que das 45 mutações avaliadas, apenas uma mutação na proteína S da B.1.351 se sobrepôs a um epítopo CD8+ de baixa prevalência, sugerindo que, virtualmente, todas as respostas de células T CD8+ anti-SARS-CoV-2 devem reconhecer as VOCs e outras linhagens recém identificadas, incluindo a B.1.351 [74,75]. Outro estudo aponta que as estratégias de imunização voltadas para as células B podem ser menos eficazes para esta VOC do que as estratégias voltadas para as células T [76]. As vacinas de mRNA da Pfizer-BioNTech (BNT162b2), da Moderna (mRNA-1273) e da Pfizer induzem uma intensa resposta das células T ao SARS-CoV-2 [53,59]. O estudo indica que as células T CD4+ constituem a principal resposta contra a proteína S em indivíduos vacinados, sendo que a vacinação foi responsável por ocasionar um dramático aumento dessas células. A atividade imunoprotetora das células T CD4+ confere proteção contra sintomas severos da Covid-19 mesmo quando anticorpos neutralizadores já não são mais efetivos [53]. Outro estudo aponta que a B.1.351 é mais resistente à neutralização por soro convalescente (cerca de 9,4 vezes) e ao soro de vacinados (10,3 a 12,4 vezes) com a mRNA-1273 (Moderna) e a BNT162b2 (Pfizer). Este estudo sugere que a B.1.351 e outras linhagens emergentes com mutações similares na proteína S podem vir a representar um desafio para a eficácia de algumas vacinas atualmente disponíveis no mercado que utilizam a pro-

teína S para induzir a resposta de defesa imunológica [77,78]. Em um estudo com 19 adultos vacinados com 2 doses da mRNA-1273 (Moderna), foi observada redução significativa na concentração de IgG ligantes contra o RBD da B.1.351 em comparação com ao RBD da variante B.1. Além disso, houve uma redução de 3,8 vezes na capacidade neutralizante dos anticorpos induzidos pela vacina da Moderna contra a B.1.351. Apesar disso, todos os indivíduos analisados retiveram a capacidade neutralizante contra esta VOC [61]. Em outro estudo que utilizou o soro de 24 vacinados com a BNT162b2 (Pfizer) foi observada uma redução de 10 vezes na capacidade de neutralização do vírus análogo à linhagem B.1.351 (vírus engenheirado para mimetizar o gene da proteína S da B.1.351) em comparação à linhagem anteriormente circulante (WA 1/2020 D614G) [55]. Em um estudo que analisou o perfil da resposta humoral com o soro de 19 franceses vacinados com a vacina da Pfizer observou que a imunização contra a B.1.351 ocorre somente 1 semana após a aplicação da segunda dose, enquanto a neutralização da linhagem ancestral começa a ocorrer uma semana após a aplicação da primeira dose [79]. Foi avaliada, em um estudo, a eficácia da vacina BNT162b2 (Pfizer-BioNTech) em relação a infecções pelas variantes B.1.1.7 e B.1.351 por meio de estudos de caso-controle em indivíduos infectados após a primeira dose ou após as 2 doses da vacina. Dentre os indivíduos infectados após pelo menos 1 semana depois da segunda dose, observou-se uma grande proporção (8:1) de infecções causadas pela variante B.1.351. Indíviduos infectados entre 2 semanas após a primeira dose e uma semana após a segunda dose apresentaram grande proporção (26:10) de infecções decorrentes da variante B.1.1.7. Os resultados sugerem que, de fato, a eficácia vacinal referente à infecção pelas novas variantes é menor, mas uma combinação da vacinação em massa com as duas doses (completa) aliada às intervenções não-farmacêuticas podem controlar e impedir o avanço da COVID-19 [80]. A vacina de mRNA BioNTech/Pfizer BNT162b2A apresenta uma eficácia de 95% no que tange ao desfecho referente à infecção. A vacinação produz respostas imunes diferentes da infecção em relação à dominância de anticorpos

IgG sobre IgM e IgA, sendo que os IgGs em vacinados atingem níveis bastante similares aos observações em indivíduos severamente comprometidos pela COVID-19. Além disso, observou-se uma menor amplitude de anticorpos de resposta às variantes endêmicas em indivíduos vacinados. Observou-se uma redução de reconhecimento por parte anticorpos em relação às variantes seguindo a hierarquia que vai de B.1.1.7 a P.1 seguida de B.1.351, sendo esta última a que apresenta menor reconhecimento por parte do sistema imune [81]. Estudos mostraram que diversos indivíduos convalescentes previamente infectados pelo SARS-CoV-2 original não produzem resposta imunológica contra a variante B.1.351. Apesar disso, um estudo utilizando uma pequena coorte com 6 indivíduos composto por mulheres que haviam sido previamente infectadas pelo SARS-CoV-2 original (sublinhagem B.1), demonstrou que uma dose da vacina BNT162b2 fabricada pela Pfizer é capaz de estimular o aumento dos títulos de neutralização em até 228 vezes. Embora o estudo tenha apresentado limitação no número e gênero dos indivíduos, os resultados são promissores visto que os 6 indivíduos apresentaram resposta semelhante [82]. Em um ensaio FRNT50 - que avalia qual a concentração de anticorpos neutralizantes requerida para inativar um vírus - demonstrou que a vacina BNT162b2 (Pfizer) é capaz de estimular a produção de anticorpos no hospedeiro, apresentando potência de neutralização reduzida em 8,8 vezes contra a B.1.351 em comparação ao vírus original (sublinhagem americana WA1). O mesmo estudo também observou uma correlação negativa entre idade e concentração de anticorpos neutralizantes contra a B.1.351 em vacinados [54]. Um estudo demonstrou que a vacina Sputnik-V possui eficácia contra a VOC B.1.1.7 mas não é capaz de neutralizar a VOC B.1.351 da África do Sul [63]. Outro estudo com regime de duas doses da vacina da ChAdOx1 nCoV-19 (AstraZeneca) não demonstrou proteção contra casos leves e moderados da Covid-19 em pessoas infectadas pela B.1.351 [83]. O estudo visou a avaliar a resposta imune de indivíduos vacinados com a CoronaVac ou convalescentes contra pseudovírus que mimetizam a proteína S da variante B.1.351. Os resultados sugerem que a atividade neutralizante dos

soros de vacinados com as duas doses de CoronaVac ($n=25$) é reduzida por um fator de 0,3 (IC: 0,2 – 0,4) contra a B.1.351, ao comparar-se com a potência de neutralização observada contra o isolado de Wuhan [64].

Um recente estudo de neutralização cruzada observou diminuição modesta da neutralização cruzada de B.1.1.7, mas uma redução substancial de 4,8 vezes na neutralização contra a VOC B.1.351 [66].

4.3 Variante P.1, linhagem B.1.1.28.1

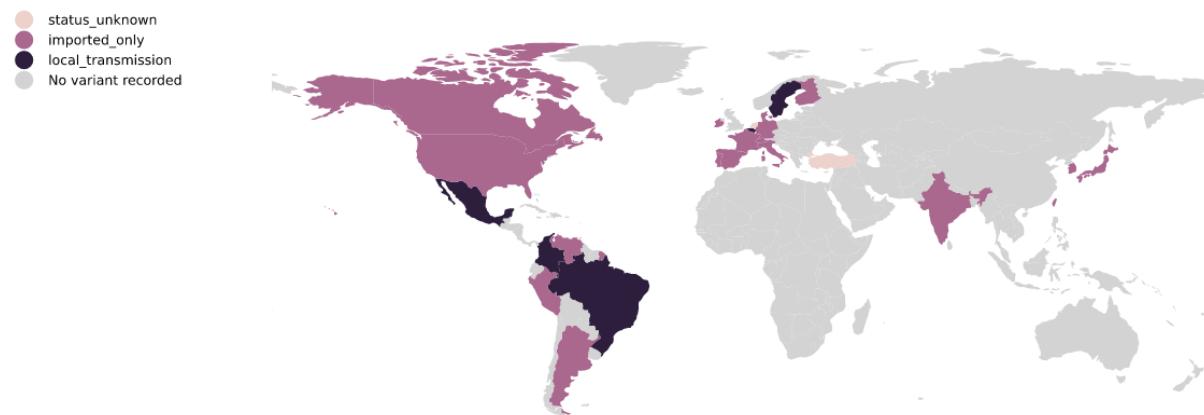


Figura 12: Prevalência mundial da linhagem B.1.1.28.1 (P.1) (Fonte: [4]).

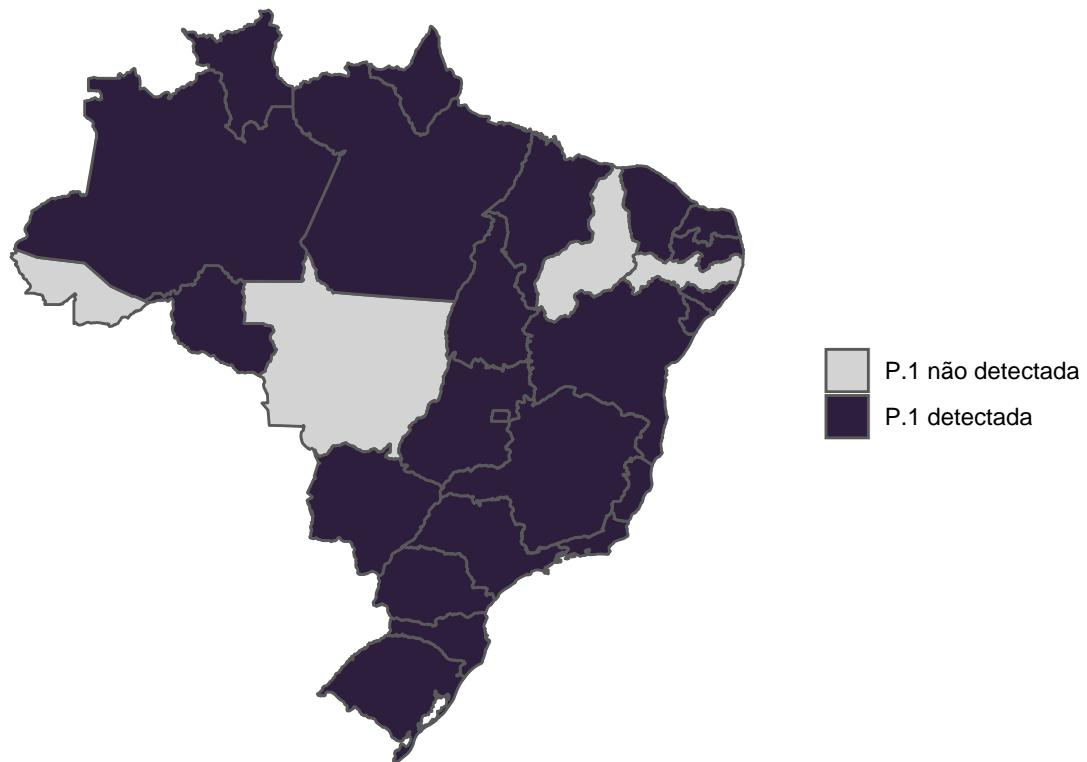


Figura 13: Distribuição da linhagem B.1.1.28.1 (P.1) nas UF brasileiras, incluindo o DF (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5], [84], [85] e GISAID).

Em janeiro de 2021, as autoridades sanitárias do Japão notificaram o Brasil de que encontraram uma nova variante do SARS-CoV-2 em 4 japoneses que haviam retornado de Manaus, Amazonas [86,87]. No início de janeiro de 2021 a nova variante, denominada de P.1, linhagem B.1.1.28.1, também conhecida como variante do Brasil ou de Manaus, foi identificada como circulante no estado do Amazonas, desde outubro de 2020 [88].

A VOC P.1. encontra-se circulante em 41 países [4]. Até o presente momento, a VOC P.1 já foi identificada circulando em 23 UF brasileiras, que incluem Rondônia, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal e Rio Grande do Sul.

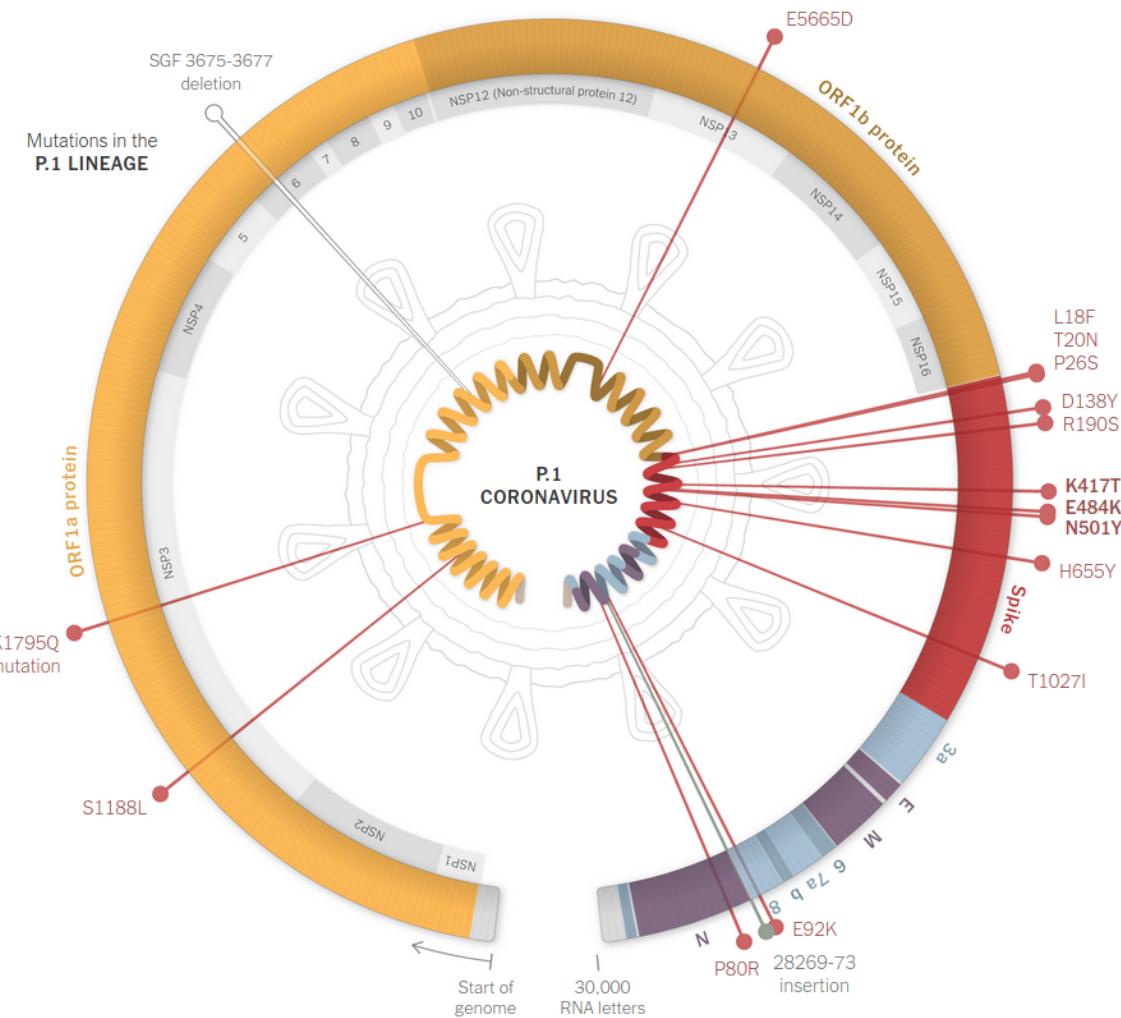


Figura 14: Perfil de mutações da VOC P.1 (Fonte: [10]).

4.3.1 Transmissibilidade

Resultados de simulações computacionais mostram que a mutação E484K presente na VOC P.1 reduz significativamente a afinidade de ligação de anticorpos neutralizantes ao RBD viral e aumenta a afinidade de ligação do RBD ao receptor da ECA2 nas células do hospedeiro. Estes resultados sugerem que a mutação E484K possui o potencial de conferir a VOC P.1 características de aumento de transmissibilidade e de diminuição da resposta de defesa imunológica do hospedeiro [89]. Outro

estudo, utilizando pseudovírus expressando o conjunto de mutações E484K, K417N, e N501Y para mimetizar o RBD da VOC P.1, demonstrou que a afinidade deste RBD mutante com o receptor da ACE2 é 2 vezes maior em comparação com o RBD do vírus original. O estudo também sugere neutralização reduzida por anticorpos contidos no soro de camundongos imunizados com o RBD viral original de Wuhan e em pacientes convalescentes [90]. A VOC P.1, ao contrário do observado com as linhagens ancestrais, é capaz de infectar e de se replicar em células de camundongos que expressam o receptor ECA2. Ao conduzir experimentos in vivo, verificou-se que essa VOC é capaz de se replicar no interior de células do trato respiratório de camundongos de laboratório. Apesar das altas cargas virais no pulmão dos camundongos infectados com a VOC P.1, experimentos adicionais para avaliar as alterações patológicas, se há transmissão entre hospedeiros ou se há acompanhamento da comorbidade no ciclo de vida dos animais não foram conduzidos [69].

O domínio terminal N (NTD) da proteína S não está diretamente relacionado com a interação com o receptor ECA2 das células do hospedeiro assim como a RBD. Entretanto, sugere-se que o NTD seja alvo de alguns anticorpos neutralizantes, impactando nas características das variantes que apresentam variações genéticas nesta região. Inserções ou deleções (indels) são observadas nas variantes B.1.1.7 (Δ 69-70 e Δ 144) e B.1.351 (Δ 242-244), enquanto a VOC P.1 apresenta 6 substituições e nenhuma indel. Entretanto, um estudo recente reportou a presença das deleções Δ 144, Δ 189-190, Δ 141-144 no NTD da VOC P.1. Por meio de simulações computacionais, verificou-se que as deleções no NTD impactam a conformação da proteína S perturbando a ligação de anticorpos neutralizantes que focam nessa região. Esses dados sugerem que essas deleções no NTD podem representar um possível mecanismo de evolução das variantes em circulação no Brasil, como a P.1 e a P.2, para escaparem de anticorpos neutralizantes [91].

Um novo estudo evidenciou que a P.1 não foi capaz de superar a predominância da circulação

da B.1.1.7 na Itália mesmo após um mês de sua introdução no país, sugerindo que ela possa ter uma taxa de transmissibilidade menor que a B.1.1.7, independentemente de sua capacidade de reinfectar indivíduos previamente infectados por linhagens anteriores [20].

4.3.2 Severidade e manifestações clínicas

Uma análise preliminar com dados de saúde do estado do Paraná, indicam que as taxas de mortalidade quase triplicaram em jovens com idade entre 20 e 29 anos e que as mesmas taxas quase dobraram em adultos na faixa etária de 30 a 59 anos após o surgimento e disseminação da variante P.1 no Brasil [92].

No estado do Rio Grande do Sul foi demonstrado um aumento na proporção de jovens e pessoas sem doenças prévias entre os casos graves e óbitos de COVID-19 após a identificação da transmissão local da variante P.1. Dessa forma, sugere-se que essa variante apresente mudanças relacionadas à patogenicidade e virulência [93].

4.3.3 Imunidade, infecção e vacinação

Um estudo forneceu uma compreensão sobre o impacto de mutações que evoluíram naturalmente durante o curso da pandemia na estrutura da proteína S, auxiliando para a compreensão de seu impacto funcional. Foi demonstrado que a mutação E484K na proteína S, identificada nas VOCs B.1.351 e P.1, impacta na evasão à resposta imune por meio da alteração da conformação da RBD [35]. Análises estruturais e funcionais têm demonstrado que as mutações E484K e K417, presentes nas linhagens B.1.1.28.1 e B.1.351, apresentam o potencial de afetar as principais classes de anticorpos neutralizantes para SARS-CoV-2, podendo gerar implicações importantes para as vacinas disponíveis no mercado, bem como para aquelas estão em fase de desenvolvimento [94]. Estudos demonstraram

que as linhagens B.1.1.28.1 e B.1.351 apresentam menor potencial de neutralização por soro/plasma de indivíduos convalescentes ou vacinados com a vacina BNT162b2 (Pfizer) [95,96]. Outro estudo que avaliou o potencial neutralizante do soro de 48 indivíduos vacinados com 1 ou 2 doses da BNT162b2 (Pfizer) ou da mRNA-2173 (Moderna) contra pseudovírus preparados para mimetizar as principais VOCs do SARS-CoV-2, demonstrou que a capacidade de neutralização contra a VOC P.1 é reduzida em torno de 15,1 vezes, em relação ao observado para o vírus original [57]. Outro estudo com 8 indivíduos vacinados com a CoronaVac demostrou que o plasma deles não foi capaz de neutralizar a VOC P.1, visto que o ensaio de neutralização foi abaixo do limite detectável. Ressalta-se que os resultados não apresentam suporte estatístico devido ao pequeno tamanho amostral. Além disso, cabe destacar que os anticorpos neutralizantes não são os únicos fatores que contribuem para a resposta imunológica da CoronaVac, visto que existe também um importante papel dos componentes que fazem parte da resposta celular [97]. Outro estudo envolvendo o plasma convalescente de 19 pessoas infectadas pelo SARS-CoV-2 entre maio e agosto de 2020, demonstrou que a capacidade de neutralizar a VOC P.1 é reduzida em, aproximadamente, 6 vezes em comparação a linhagem B (que era a linhagem circulante predominante à época na cidade de Manaus). Coletivamente, os dados sugerem que a VOC P.1 é capaz de evadir anticorpos de pessoas que foram infectadas por outras linhagens do SARS-CoV-2, abrindo, assim, a possibilidade de ocorrência de casos de reinfecção [97]. Relatos indicam que a P.1, não é apenas refratária a múltiplos anticorpos monoclonais neutralizantes, mas também mais resistente à neutralização por plasma convalescente (6,5 vezes) e soro de vacinados (2,2-2,8 vezes). Esse dado traz indicativo de que a VOC P.1 ameaça as terapias atuais com anticorpos, mas não tanto a eficácia protetora das vacinas disponíveis [89]. Mediante análise do plasma de 34 pacientes convalescentes pós-infecção com linhagem de SARS-CoV-2 similar à linhagem original de Wuhan, um estudo verificou que a potência de neutralização dos anticorpos naturalmente produzidos contra a P.1 é reduzida, em

média, 3,1 vezes quando comparado aos vírus ancestral. Essa potência de neutralização é similar ao observado em experimentos com a B.1.1.7 e consideravelmente menor do que a redução de 13,3 vezes observada para linhagem B.1.351 [98].

Focando exclusivamente no impacto das mutações na proteína S na capacidade neutralizante de anticorpos, um estudo in vitro estimou a redução de 2,5 vezes na potência de neutralização do soro de 19 pacientes convalescentes contra o pseudovírus mimetizando o gene da proteína S da VOC P.1 [55]. Além disso, em um estudo que utilizou o soro de vacinados (n=15) com a BNT162b2 (Pfizer) ficou demonstrada uma redução de 2,2 vezes na capacidade de neutralização do vírus análogo à VOC P.1 em comparação com a linhagem anteriormente circulante (WA1/2020 D614G) [55]. Ensaios de neutralização com o soro de pacientes vacinados contra a VOC P.1, demonstraram que os 25 indivíduos vacinados com as duas doses da vacina da Pfizer-BioNTech (BNT16b2) produziram anticorpos neutralizantes suficientes para inativar a P.1 apesar da potência de neutralização ter sido reduzida em 2,6 vezes ao comparar com linhagem similar à isolada de Wuhan. Em relação ao soro de 25 indivíduos vacinados com a vacina fabricada por Oxford-AstraZeneca (ChAdOx1 nCov-19), observou-se diminuição de cerca de 2.9 vezes na potência de neutralização dos anticorpos contra a P.1, consideravelmente melhor do que a redução de 9 vezes observada contra a B.1.351. A neutralização da VOC P.1 pelos soros de vacinados foi menos impactada que a neutralização da B.1.351 sugerindo que as vacinas desenvolvidas a partir do SARS-CoV-2 original de Wuhan possivelmente são eficazes contra a VOC P.1 [98].

4.4 Outras variantes de atenção para a saúde pública

Com o intuito de qualificar as ações de resposta da pandemia, pesquisadores têm desenvolvido muitos estudos envolvendo o sequenciamento genético do SARS-CoV-2. Foram identificadas inúmeras mutações, variantes e linhagens sendo que algumas deverão passar por intensa investigação científica,

sendo chamada de VUIs, por apresentarem mutações que lhe conferem algum tipo de vantagem seletiva. Destas, já existem alguns relatos de interesse para monitoramento pelas autoridades de saúde e sanitárias mundiais.

4.4.1 Variante P.2, linhagem B.1.1.28.2

Detectada primeiramente no Rio de Janeiro, a VUI P.2, linhagem B.1.1.28, apresenta um conjunto de 3 importantes mutações na proteína S, incluindo a mutação E484K que também se encontra presente na VOC P.1 e na linhagem B.1.351 [99]. Salienta-se que esta variante ainda não é considerada uma VOC pela classificação dada pelo PANGO Lineages [4], requerendo estudos e avaliações adicionais para mudar sua classificação.

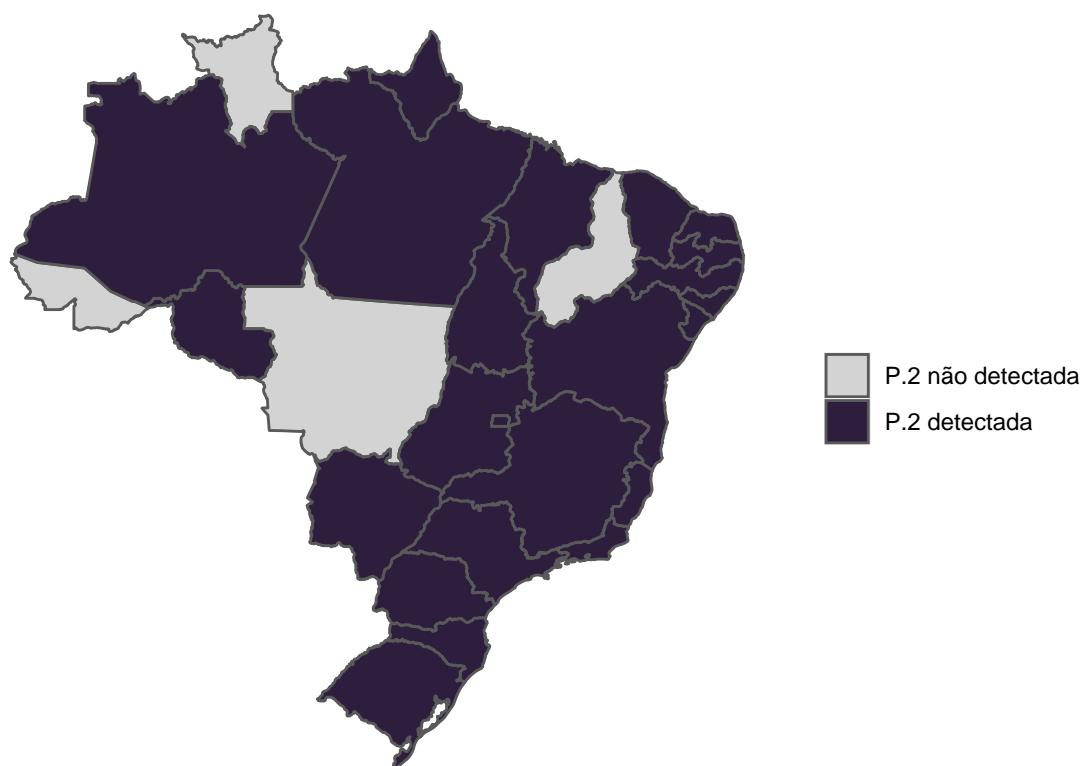


Figura 15: Distribuição da VUI P.2 nas UF brasileiras, incluindo o DF (Fonte: Genomahcov - Fiocruz [5], [84] e GISAID).

A VUI P.2 encontra-se circulante em 31 países [4]. Até o presente momento, esta VUI foi identificada em 23 UF, incluindo Rondônia, Amazonas, Pará, Amapá, Tocantins, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal e Rio Grande do Sul.

4.4.1.1 Transmissibilidade Conforme já mencionado, a mutação N501Y promove aumento significativo na afinidade de ligação do RDB viral ao receptor de ECA2, produzindo um aumento da transmissibilidade. Em contrapartida a mutação E484K não confere quase nenhum efeito na afinidade de ligação do vírus ao receptor da ECA2. Cabe destacar que dessas duas mutações, a VUI P.2 possui apenas a E484K. Assim, os autores hipotetizam que o rápido aumento na prevalência da VUI P.2, que é a variante predominante em circulação atualmente no Brasil, seja devido ao escape imunológico ao invés do aumento da transmissibilidade [100].

4.4.1.2 Imunidade, infecção e vacinação Com base na avaliação do potencial neutralizante do soro de 48 indivíduos vacinados com 1 ou 2 doses da BNT162b2 (Pfizer) ou da mRNA-2173 (Moderna) contra pseudovírus preparados para mimetizar as principais VOCs do SARS-CoV-2, demonstrou-se que a neutralização contra a VUI P.2 foi reduzida em 13,4 vezes [57].

Foi relatado, em março de 2021, uma possível reinfecção pela P.2 em um indivíduo morador do Rio Grande do Sul previamente infectado pela P.1. Apesar disso, não foi possível rastrear a dinâmica de transmissibilidade a partir das evidências coletadas [101].

4.4.2 Novas VUIs

Uma nova variante denominada de CAL.20C, linhagem B.1.429, caracterizada por 5 mutações (ORF1a: I4205V, ORF1b: D1183Y, S: S13I; W152C; L452R) foi identificada no sul do estado norte-americano

da Califórnia [102,103]. Um estudo que avaliou variações genéticas entre as regiões 414 a 583 dos aminoácidos que compõe a proteína S, a partir de amostras coletadas nos EUA entre abril de 2020 a fevereiro de 2021, demonstrou que as amostras isoladas a partir do mês de novembro de 2020 apresentaram aumento no número de mutações nestas regiões da proteína S, sendo a mais predominante a mutação L452R (que consiste na substituição do aminoácido leucina (L) por arginina (R) na posição 452), que está presente na CAL.20C. Ademais, em algumas amostras foi identificada outra variante portadora da mutação L452R, porém distinta da VUI CAL.20C, denominada de CAL.20A. A VUI CAL.20A deriva do clado 20A, linhagem B.1.232, e se difere da VUI CAL.20C por apresentar duas mutações adicionais para a região L452R da proteína S, enquanto a CAL.20A possui apenas uma única mutação nesta mesma região. Uma análise genômica revelou que diversas variantes independentes portadoras da mutação L452R têm surgido recentemente em todo o mundo. Os resultados indicam que a mutação L452R apresenta um valor adaptativo significativo para o SARS-CoV-2 e é hipotetizado que, aparentemente, a seleção positiva para esta mutação tornou-se particularmente forte apenas recentemente, possivelmente refletindo a adaptação viral às medidas de contenção ou devido ao aumento da imunidade da população. Embora o impacto funcional da mutação L452R ainda não tenha sido extensivamente avaliado, a mudança de aminoácidos nesta região da proteína S pode resultar em uma ligação muito mais forte ao receptor da ECA2, podendo, assim, provocar aumento da transmissibilidade e a fuga de anticorpos neutralizantes [104]. Ensaios com pseudovírus exibindo a mutação L452R indicam que há um aumento da infecção de 6,7 a 22,5 vezes em culturas de células pulmonares. Esse aumento é menor que o observado com pseudovírus carregando a mutação N501Y (linhagens B.1.1.7, B. 1.351 e P.1) que foi de 11,4-30,9 vezes. Os ensaios de neutralização de anticorpos demonstraram redução de 4,0 a 6,7 vezes e de 2,0 vezes nos títulos de neutralização de pacientes convalescentes e vacinados, respectivamente [105]. Além disso foram detectados surgimentos de variantes da linhagem B.1.243.1 e B.1.1.220, em

circulação nos EUA, com a mutação E484K na proteína S [106,107]. Um estudo confirmou que os soros de convalescentes e de pessoas que foram vacinadas contra a Covid-19 conseguem neutralizar a variante B.1.429 [108].

Em 5 de março de 2021, a linhagem R.1 foi identificada em 305 amostras e predominantemente observada nos EUA (44%, 135/305) e Japão (28%, 84/305) a partir do banco de dados GISAID e essa nova variante foi sequenciada no Japão [87]. Outro estudo reporta o surgimento e disseminação em Uganda de uma nova variante pertencente à linhagem A, denominada de A.23.1, que compartilha múltiplas mutações de preocupação nas proteínas S, nsp6, ORF8 e ORF9 semelhantes às observadas em VOCs da linhagem B [109]. Em Hong Kong foi identificada uma variante do SARS-CoV-2 com uma nova arquitetura genômica caracterizada pela ausência de ORF7a, ORF7b e ORF8, e um produto ORF6 modificado no terminal C resultante da duplicação e transposição parcial da região 5'-UTR [110]. Também na Venezuela tem sido identificada uma alta diversidade de novas linhagens de SARS-CoV-2 com a mutação D614G [111].

Um estudo identificou uma nova variante com a mutação N679S (substituição do aminoácido asparagina (N) por serina (S) na posição 679) na proteína S em um paciente neonatal que apresentava elevada carga viral do SARS-CoV-2. Análises iniciais indicam que essa variante está em circulação local na região do médio atlântico dos EUA. Apesar disso, a observação singular não é evidência suficiente para propor uma relação causal entre o aumento da carga viral com a nova variante reportada [112]. Ademais, programas independentes de vigilância genômica nos estados norte-americanos do Novo México e da Lusiânia detectaram entre os meses de outubro de 2020 a janeiro de 2021 um crescimento de infecções por SARS-CoV-2 com a mutação Q677P na proteína S. As análises demonstraram, ao menos, 6 sub-linhagens distintas que parecem ter evoluído independentemente de forma a exibir a mutação Q677P, sugerindo uma forte evidência de adaptação via evolução convergente. O estudo reiterou

que futuros estudos devem avaliar a relevância biológica e clínica da mutação Q677P [113]. Outro estudo identificou uma nova VUI, denominada B.1.526, na cidade de Nova Iorque [114]. A VUI B.1.526 possui a mutação E484K, que apresenta potencial de evadir anticorpos de pacientes convalescentes e anticorpos monoclonais. Além da E484K, esta VUI apresenta também a mutação D235G na proteína S que pode contribuir para a redução da potência neutralizante de anticorpos [115].

Um extensivo programa de vigilância genômica envolvendo o sequenciamento de 20.543 amostras virais na cidade americana de Huston, Texas, identificou, em baixa frequência circulante, as VOCs B.1.1.7, B.1.351 e P.1 e as VUIs P.2, B.1.429 e B.1.427 [116].

O surgimento de mutações em diferentes linhagens, de forma independente, pode ser considerado um fator de alerta para uma possível vantagem adaptativa do vírus. Diversos relatos de surgimentos de linhagens com o mesmo conjunto de mutações estão sendo anunciados. Em Nova Iorque, foi relatado o surgimento independente de três variantes com a mutação P681 na proteína S. Cronologicamente, uma das variantes emergiu primeiro, no verão de 2020, tornando-se de circulação prevalecente ao longo dos meses mas apresentando declínio atualmente. Observou-se que o declínio foi causado pelo surgimento de duas outras variantes que estão sobrepujando a variante anterior devido, possivelmente, às mutações adicionais encontradas na proteína S [115]. Na Espanha, foram relatadas mutações nas posições 1163 e 1167 da proteína S que surgiram de forma independente e em múltiplos contextos após a primeira onda da epidemia no país. As análises genômicas indicaram que a quantidade de genomas contendo esse par e outras 10 mutações estava aumentando, o que sugere o surgimento de uma possível VUI, denominada linhagem B.1.177.637 ou VUI1163.7. Ensaios in vitro demonstraram que essa linhagem tem menos potencial de infectividade do que sua ancestral (linhagem 20E) e que anticorpos de indivíduos vacinados mantêm efetividade contra essa VUI [117]. Em Bangladesh, amostras foram coletadas de pacientes com Covid-19 cujos vírus continham as mutações

E484K e S359T na região de codificação da proteína S [118]. Nas Filipinas, uma variante do SARS-CoV-2 denominada de Ph-B.1.1.28, que possui múltiplas mutações na região da proteína S foi relatada na Ilha de Cebu. Em 33 amostras analisadas, foram encontradas as mutações E484K, N501Y e P681H na proteína S que foram identificadas em algumas VOCs, como a B.1.351, a P.1 e a B.1.1.7. Este é o primeiro relato conhecido da ocorrência conjunta dessas mutações no mesmo vírus [119].

Um estudo observou aumento na frequência de genomas de SARS-CoV-2 que contêm mutações no gene codificador da proteína de membrana (M). Além de ser uma das proteínas mais abundantes no vírus, a proteína M desempenha papel estrutural e nas funções biológicas deste vírus. A proteína M auxilia na ligação do vírus à célula hospedeira, montagem da partícula viral e captura da glicose durante o processo de replicação. Nos genomas sequenciados nos EUA a frequência dessas mutações no gene que codifica a proteína M aumentou 116 vezes entre o período de outubro de 2020 e fevereiro 2021. Este aumento na frequência de mutações no gene da proteína M acende o alerta da importância de monitorar essas e outras mutações, e não apenas na proteína S, devido a potenciais implicações que possam estar ocorrendo na adaptação viral [120].

No Brasil, um estudo encontrou pelo menos sete clados maiores (1-7) e dois clados menores (4.2 e 5.3) relacionados às seis linhagens brasileiras mais prevalentes e descreveu a sua distribuição em todo o território brasileiro. O surgimento e a mudança de frequência recente de linhagens (P.1 e P.2) contendo mutações de preocupação na proteína S, como as mutações E484K e a N501Y, chama a atenção devido à sua forte associação com a evasão imune e o aumento à afinidade de ligação do RBD viral ao receptor ECA2. Melhorias na vigilância genômica são de suma importância e devem ser estendidas no Brasil para melhor informar os formuladores de políticas e permitir decisões precisas baseadas em evidências para combater a pandemia Covid-19 [121]. Ademais, foi identificada uma possível VUI, denominada N.9, oriunda da linhagem B.1.1.33 que apresentou a mutação E484K na proteína S em amostras de

novembro de 2020. Além de possuir a mutação E484K, essa VUI é caracterizada por outras 3 mutações (NSP:A1711V, NSP6:F36L e NS7b:E33A) que impõem alterações nas classes dos aminoácidos (mutações não-sinônimo) em outras proteínas do SARS-CoV-2. Atualmente, a N.9 foi detectada em 10 estados brasileiros, sugerindo que a linhagem já encontra-se dispersada no país [122]. Uma possível VUI, denominada N.10, foi identificada em 23% das amostras (n=73) de SARS-CoV-2 sequenciadas no estado do Maranhão entre janeiro e fevereiro de 2021. Essa VUI, derivada da B.1.1.33, apresenta 14 mutações características, incluindo 10 mutações pontuais, 5 destas localizam-se na proteína S (E484K, V445A, P9L, I210V e L212I) e 4 deleções, sendo 3 no terminal N na proteína S [123].

Um estudo recente relatou o sequenciamento de um genoma de SARS-CoV-2 contendo algumas variações genéticas nunca antes observadas que incluem a deleção His69-Val70 e a mutação N439K [124]. Uma nova variante relatada em Israel que possui a mutação P681H na proteína S não foi associada com aumento das taxas de infecção e foi neutralizada por soros de indivíduos vacinados em níveis comparáveis à cepa B.1.1.7 [125]. Outro estudo com a variante B.1.526, que possui as mutações E484K e/ou S477N, observou que as vacinas disponíveis no mercado são capazes de promoverem respostas imunes robustas contra essa VUI [126].

Com base em análises dos genomas virais presentes em pacientes suíços, foi identificado que a mutação G614 observada na proteína S em algumas variantes possui o potencial de promover uma replicação viral mais eficiente, aumentando a transmissibilidade, além de poder possuir maior afinidade de ligação a células do hospedeiro [127].

Um artigo relatou a identificação de variantes da linhagem B.1.1.7 apresentando mutações anteriormente não descritas. Entre as novas mutações, estão P111T na região NSP15, A119V na NSP14 e K68 na ORF8 do genoma viral. A mutação K68 induz um códon de parada na sequência da proteína ORF8 que apresenta função importante no escape imunológico [128].

Um artigo reportou o surgimento da mutação T478K na proteína S em inúmeros genomas depositados no GISAID, principalmente, naqueles provenientes do México e Estados Unidos da América. A mutação T478K induz à substituição do aminoácido tirosina para lisina na posição 478 da proteína S, região relacionada à interação com o receptor ECA2 humano [129].

Uma vigilância genômica conduzida em Angola, que resultou na análise de 73 genomas, demonstrou a existência de 14 VOCs / VOIs conhecidas (sete 501Y.V2 / B.1.351, seis B.1.1.7, um B.1.525), 44 pertencentes a C.16 (uma linhagem comum em circulação em Portugal), e doze enquadradas em outras linhagens. Além disso, o estudo identificou uma nova VOI em três passageiros vindos da Tanzânia. Esta nova VOI, temporariamente designada A.VOI.V2, possui 31 substituições de aminoácidos, sendo 11 dessas e três deleções na proteína spike. Essas mutações incluem três substituições no domínio de ligação ao receptor (R346K, T478R e E484K); cinco substituições e três deleções no domínio N-terminal, algumas das quais estão dentro do supersítio antigênico (Y144 {Delta}, R246M, SYL247-249 {Delta} e W258L) 4; e duas substituições adjacentes ao local de clivagem S1 / S2 (H655Y e P681H). Várias dessas mutações estão presentes em outras VOCs / VOIs e evoluem sob seleção positiva [130]. Foi relatado um caso de reinfecção no Sul da Índia por uma variante contendo a mutação N440K na proteína S [131].

Um estudo epidemiológico no Líbano revelou a presença de variante de SARS-CoV-2 altamente transmissível circulando no país desde janeiro de 2021. Entretanto, estudos adicionais precisam ser conduzidos para saber se essas se relacionam com aquelas previamente identificadas no Reino Unido, África do Sul, Brasil ou se foram originadas dentro da população libanesa [132].

A análise de 74 genomas de SARS-CoV-2 provenientes da Nigéria revelou a existência das variantes B.1.1.7 (n=46) e de B.1.525 (n=17) no país. Essa última variante, embora rara em outros lugares do mundo, é encontrada com maior frequência nesse território africano [133].

Referências

1. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard [Internet]. [citado 11 de fevereiro de 2021]. Recuperado de: <https://covid19.who.int>
2. Coronavírus Brasil [Internet]. [citado 11 de fevereiro de 2021]. Recuperado de: <https://covid.saude.gov.br/>
3. Rambaut A, Holmes EC, O'Toole Á, Hill V, McCrone JT, Ruis C, et al. A dynamic nomenclature proposal for SARS-CoV-2 lineages to assist genomic epidemiology. *Nature Microbiology* [Internet]. 2020 [citado 11 de fevereiro de 2021];5:1403–7. Recuperado de: <http://www.nature.com/articles/s41564-020-0770-5>
4. PANGO lineages [Internet]. [citado 8 de fevereiro de 2021]. Recuperado de: https://cov-lineages.org/global_report.html
5. Rede Genômica Fiocruz [Internet]. Genomahcov - Fiocruz. [citado 17 de fevereiro de 2021]. Recuperado de: <http://www.genomahcov.fiocruz.br/>
6. Corona-ômica R. INFORME REDE CORONA-ÔMICA.BR-MCTI. 2021 jan. Report No.: número 04.
7. Corona-ômica R. INFORME REDE CORONA-ÔMICA.BR-MCTI. 2021 fev. Report No.: número 05.
8. Risk Assessment: Risk related to the spread of new SARS-CoV-2 variants of concern in the EU/EEA – first update [Internet]. European Centre for Disease Prevention and Control. 2021 [citado 11 de fevereiro de 2021]. Recuperado de: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-risk-assessment-spread-new-variants-concern-eueea-first-update>
9. Tang JW, Toovey OTR, Harvey KN, Hui DDS. Introduction of the South African SARS-CoV-2 variant 501Y.V2 into the UK. *Journal of Infection* [Internet]. Elsevier BV; 2021;82:e8–10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fj.jinf.2021.01.007>

10. Corum J, Zimmer C. Coronavirus Variants and Mutations. The New York Times [Internet]. [citado 7 de abril de 2021]; Recuperado de: <https://www.nytimes.com/interactive/2021/health/coronavirus-variant-tracker.html>
11. Alpert T, Lasek-Nesselquist E, Brito AF, Valesano AL, Rothman J, MacKay MJ, et al. Early introductions and community transmission of SARS-CoV-2 variant B.1.1.7 in the United States [Internet]. Public; Global Health; 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.10.21251540>
12. DeWitt M. Rapid Impact Analysis of B 1.1.7 Variant on the Spread of SARS-CoV-2 in North Carolina [Internet]. Epidemiology; 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.07.21251291>
13. Ong SWX, Young BE, Lye DC. Lack of detail in population-level data impedes analysis of SARS-CoV-2 variants of concern and clinical outcomes. *The Lancet Infectious Diseases* [Internet]. Elsevier BV; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fs1473-3099%2821%2900201-2>
14. Jewell BL. Monitoring differences between the SARS-CoV-2 B.1.1.7 variant and other lineages. *The Lancet Public Health* [Internet]. Elsevier BV; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fs2667-2821%2900073-6>
15. Firestone MJ, Lorentz AJ, Wang X, Como-Sabetti K, Vetter S, Smith K, et al. First Identified Cases of SARS-CoV-2 Variant B.1.1.7 in Minnesota December 2020January 2021. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report* [Internet]. Centers for Disease Control MMWR Office; 2021;70:278–9. Recuperado de: <https://doi.org/10.15585%2Fmmwr.mm7008e1>
16. Davies NG, Abbott S, Barnard RC, Jarvis CI, Kucharski AJ, Munday JD, et al. Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2020; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2020.12.24.20248822>

17. Gaymard A, Bosetti P, Feri A, Destras G, Enouf V, Andronico A, et al. Early assessment of diffusion and possible expansion of SARS-CoV-2 Lineage 20I/501Y.V1 (B.1.1.7, variant of concern 202012/01) in France, January to March 2021. *Eurosurveillance* [Internet]. European Centre for Disease Control; Prevention (ECDC); 2021;26. Recuperado de: <https://doi.org/10.2807%2F1560-7917.es.2021.26.9.2100133>
18. Chagla Z, Ma H, Sander B, Baral SD, Mishra S. Characterizing the disproportionate burden of SARS-CoV-2 variants of concern among essential workers in the Greater Toronto Area, Canada. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.22.21254127>
19. Lindstrøm JC, Engebretsen S, Kristoffersen AB, Isaksson Rø G Øyvind, Palomares AD-L, Engø-Monsen K, et al. Increased transmissibility of the B.1.1.7 SARS-CoV-2 variant: Evidence from contact tracing data in Oslo, January to February 2021. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.29.21254122>
20. Stefanelli P, Trentini F, Guzzetta G, Marziano V, Mammone A, Poletti P, et al. Co-circulation of SARS-CoV-2 variants B.1.1.7 and P.1. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.06.21254923>
21. Kidd M, Richter A, Best A, Cumley N, Mirza J, Percival B, et al. S-variant SARS-CoV-2 lineage B1.1.7 is associated with significantly higher viral loads in samples tested by ThermoFisher TaqPath RT-qPCR. *The Journal of Infectious Diseases* [Internet]. 2021 [citado 17 de fevereiro de 2021];jiab082. Recuperado de: <https://academic.oup.com/jid/advance-article/doi/10.1093/infdis/jiab082/6134354>
22. Krutikov M, Hayward A, Shallcross L. Spread of a Variant SARS-CoV-2 in Long-Term Care Facilities in England. *New England Journal of Medicine* [Internet]. Massachusetts Medical Society; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1056%2Fnejmc2035906>
23. Roquebert B, Haim-Boukobza S, Trombert-Paolantoni S, Lecorche E, Verdumé L, Foulongne V, et al. SARS-CoV-2 variants of concern are associated with lower RT-PCR amplification cycles between

January and March 2021 in France. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.19.21253971>

24. Touret F, Luciani L, Baronti C, Cochin M, Driouch J-S, Gilles M, et al. Replicative fitness SARS-CoV-2 20I/501Y.V1 variant in a human reconstituted bronchial epithelium. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.22.436427>

25. Mok BW-Y, Liu H, Lau S-Y, Deng S, Liu S, Tam RC-Y, et al. Low dose inocula of SARS-CoV-2 B.1.1.7 variant initiate more robust infections in the upper respiratory tract of hamsters than earlier D614G variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.19.440414>

26. Villoutreix BO, Calvez V, Marcellin A-G, Khatib A-M. In Silico Investigation of the New UK (B.1.1.7) and South African (501Y.V2) SARS-CoV-2 Variants with a Focus at the ACE2–Spike RBD Interface. International Journal of Molecular Sciences [Internet]. 2021 [citado 17 de fevereiro de 2021];22:1695. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/4/1695>

27. Ramanathan M, Ferguson ID, Miao W, Khavari PA. SARS-CoV-2 B.1.1.7 and B.1.351 Spike variants bind human ACE2 with increased affinity. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.22.432359>

28. Tian F, Tong B, Sun L, Shi S, Zheng B, Wang Z, et al. Mutation N501Y in RBD of Spike Protein Strengthens the Interaction between COVID-19 and its Receptor ACE2. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.14.431117>

29. Cai Y, Zhang J, Xiao T, Lavine CL, Rawson S, Peng H, et al. Structural basis for enhanced infectivity and immune evasion of SARS-CoV-2 variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.13.439709>

30. Ozono S, Zhang Y, Ode H, Sano K, Tan TS, Imai K, et al. SARS-CoV-2 D614G spike mutation

increases entry efficiency with enhanced ACE2-binding affinity. *Nature Communications* [Internet]. 2021 [citado 17 de fevereiro de 2021];12:848. Recuperado de: <http://www.nature.com/articles/s41467-021-21118-2>

31. Daniloski Z, Jordan TX, Ilmain JK, Guo X, Bhabha G, tenOever BR, et al. The Spike D614G mutation increases SARS-CoV-2 infection of multiple human cell types. *eLife* [Internet]. 2021 [citado 17 de fevereiro de 2021];10:e65365. Recuperado de: <https://elifesciences.org/articles/65365>

32. Peters MH, Bastidas O, Kokron DS, Henze CE. Transformations, Comparisons, and Analysis of Down to Up Protomer States of Variants of the SARS-CoV-2 Prefusion Spike Protein Including the UK Variant B.1.1.7 [Internet]. *Biophysics*; 2021 fev. Recuperado de: <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.09.430519>

33. Socher E, Conrad M, Heger L, Paulsen F, Sticht H, Zunke F, et al. Mutations in the B.1.1.7 SARS-CoV-2 spike protein reduce receptor-binding affinity and induce a flexible link to the fusion peptide. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.06.438584>

34. Rynkiewicz P, Babbitt GA, Cui F, Hudson AO, Lynch ML. Betacoronavirus binding dynamics relevant to the functional evolution of the highly transmissible SARS-CoV-2 variant N501Y. Cold Spring Harbor Laboratory; 2020; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2020.09.11.293258>

35. Gobell S, Janowska K, McDowell S, Mansouri K, Parks R, Stalls V, et al. Effect of natural mutations of SARS-CoV-2 on spike structure, conformation and antigenicity. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.11.435037>

36. Grabowski F, Kochańczyk M, Lipniacki T. L18F substrain of SARS-CoV-2 VOC-202012/01 is rapidly spreading in England [Internet]. *Epidemiology*; 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.07.21251262>

37. Kissler SM, Fauver JR, Mack C, Tai CG, Breban MI, Watkins AE, et al. Densely sampled viral

trajectories suggest longer duration of acute infection with B.1.1.7 variant relative to non-B.1.1.7 SARS-CoV-2. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.16.21251535>

38. Brown JC, Goldhill DH, Zhou J, Peacock TP, Frise R, Goonawardane N, et al. Increased transmission of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 (VOC 202012/01) is not accounted for by a replicative advantage in primary airway cells or antibody escape. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.24.432576>

39. Grabowski F, Preibisch G, Giziński S, Kochańczyk M, Lipniacki T. SARS-CoV-2 Variant of Concern 202012/01 has about twofold replicative advantage and acquires concerning mutations. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2020.12.28.20248906>

40. Ferasin L, Fritz M, Ferasin H, Becquart P, Legros V, Leroy EM. Myocarditis in naturally infected pets with the British variant of COVID-19. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.18.435945>

41. Pereira F. SARS-CoV-2 variants combining spike mutations and the absence of ORF8 may be more transmissible and require close monitoring. Biochemical and Biophysical Research Communications [Internet]. Elsevier BV; 2021;550:8–14. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fj.bbrc.2021.02.080>

42. Elliott J, Whitaker M, Bodinier B, Riley S, Ward H, Cooke G, et al. Symptom reporting in over 1 million people: community detection of COVID-19 [Internet]. Infectious Diseases (except HIV/AIDS); 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.10.21251480>

43. Snell LB, Wang W, Alcolea-Medina A, Charalampous T, Nebbia G, Batra R, et al. First and second SARS-CoV-2 waves in inner London: A comparison of admission characteristics and the impact of the B.1.1.7 variant. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.10.21251480>

03.16.21253377

44. Brookman S, Cook J, Zucherman M, Broughton S, Harman K, Gupta A. Effect of the new SARS-CoV-2 variant B.1.1.7 on children and young people. *The Lancet Child & Adolescent Health* [Internet]. 2021 [citado 17 de fevereiro de 2021];S2352464221000304. Recuperado de: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352464221000304>
45. Brookman S, Cook J, Zucherman M, Broughton S, Harman K, Gupta A. Effect of the new SARS-CoV-2 variant B.1.1.7 on children and young people. *The Lancet Child & Adolescent Health* [Internet]. Elsevier BV; 2021;5:e9–10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fs2352-4642%2821%2900030-4>
46. Courjon J, Contenti J, Demonchy E, Levraut J, Barbry P, Rios G, et al. Spread of the SARS-CoV-2 UK-variant in the South East of France: impact on COVID-19 patients' age, comorbidity profiles and clinical presentation. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.12.21253817>
47. Davies NG, Abbott S, Barnard RC, Jarvis CI, Kucharski AJ, Munday J, et al. Estimated transmissibility and severity of novel SARS-CoV-2 Variant of Concern 202012/01 in England [Internet]. Epidemiology; 2020 dez. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.12.24.20248822>
48. Davies NG, Jarvis CI, Edmunds WJ, Jewell NP, Diaz-Ordaz K, and RHK. Increased mortality in community-tested cases of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.01.21250959>
49. Patone M, Thomas K, Hatch R, Tan PS, Coupland C, Liao W, et al. Analysis of severe outcomes associated with the SARS-CoV-2 Variant of Concern 202012/01 in England using ICNARC Case Mix Programme and QResearch databases. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.11.21253364>
50. Jabłońska K, Aballéa S, Auquier P, Toumi M. On the association between SARS-COV-2 variants

and COVID-19 mortality during the second wave of the pandemic in Europe. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.25.21254289>

51. Challen R, Brooks-Pollock E, Read JM, Dyson L, Tsaneva-Atanasova K, Danon L. Risk of mortality in patients infected with SARS-CoV-2 variant of concern 202012/1: matched cohort study. BMJ [Internet]. BMJ; 2021;n579. Recuperado de: <https://doi.org/10.1136%2Fbmj.n579>

52. Grint DJ, Wing K, Williamson E, McDonald HI, Bhaskaran K, Evans D, et al. Case fatality risk of the SARS-CoV-2 variant of concern B.1.1.7 in England. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.04.21252528>

53. Woldemeskel BA, Garliss CC, Blankson JN. SARS-CoV-2 mRNA vaccines induce broad CD4+ T cell responses that recognize SARS-CoV-2 variants and HCoV-NL63. Journal of Clinical Investigation [Internet]. American Society for Clinical Investigation; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1172%2Fjci149335>

54. Bates TA, Leier HC, Lyski ZL, McBride SK, Coulter FJ, Weinstein JB, et al. Neutralization of SARS-CoV-2 variants by convalescent and vaccinated serum. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.04.21254881>

55. Chen RE, Zhang X, Case JB, Winkler ES, Liu Y, VanBlargan LA, et al. Resistance of SARS-CoV-2 variants to neutralization by monoclonal and serum-derived polyclonal antibodies. Nature Medicine [Internet]. Springer Science; Business Media LLC; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1038%2Fs41591-021-01294-w>

56. Liu H, Zhang Q, Wei P, Chen Z, Aviszus K, Yang J, et al. The basis of a more contagious 501Y.V1 variant of SARS-CoV-2. Cell Research [Internet]. Springer Science; Business Media LLC; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1038%2Fs41422-021-00496-8>

57. Garcia-Beltran WF, Lam EC, Denis KSt, Nitido AD, Garcia ZH, Hauser BM, et al. Circulating

SARS-CoV-2 variants escape neutralization by vaccine-induced humoral immunity. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.14.21251704>

58. Castonguay N, Zhang W, Langlois M-A. Meta-Analysis of the Dynamics of the Emergence of Mutations and Variants of SARS-CoV-2. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.06.21252994>

59. Stankov MV, Cossmann A, Bonifacius A, Dopfer-Jablonka A, Ramos GM, Gödecke N, et al. Humoral and cellular immune responses against SARS-CoV-2 variants and human coronaviruses after single BNT162b2 vaccination. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.16.21255412>

60. Planas D, Bruel T, Grzelak L, Guivel-Benhassine F, Staropoli I, Porrot F, et al. Sensitivity of infectious SARS-CoV-2 B.1.1.7 and B.1.351 variants to neutralizing antibodies. Nature Medicine [Internet]. Springer Science; Business Media LLC; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1038%2Fs41591-021-01318-5>

61. Edara VV, Hudson WH, Xie X, Ahmed R, Suthar MS. Neutralizing Antibodies Against SARS-CoV-2 Variants After Infection and Vaccination. JAMA [Internet]. American Medical Association (AMA); 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1001%2Fjama.2021.4388>

62. Emery KRW, Golubchik T, Aley PK, Ariani CV, Angus B, Bibi S, et al. Efficacy of ChAdOx1 nCoV-19 (AZD1222) vaccine against SARS-CoV-2 variant of concern 202012/01 (B.1.1.7): an exploratory analysis of a randomised controlled trial. The Lancet [Internet]. Elsevier BV; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fs0140-6736%2821%2900628-0>

63. Ikegame S, Siddiquey MNA, Hung C-T, Haas G, Brambilla L, Oguntuyo KY, et al. Qualitatively distinct modes of Sputnik V vaccine-neutralization escape by SARS-CoV-2 Spike variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.31.21254660>

64. Wang G-L, Wang Z-Y, Duan L-J, Meng Q-C, Jiang M-D, Cao J, et al. Susceptibility of Circulating SARS-CoV-2 Variants to Neutralization. *New England Journal of Medicine* [Internet]. Massachusetts Medical Society; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1056%2Fnejmc2103022>
65. Pageaud S, Ponthus N, Gauchon R, Pothier C, Rigotti C, Eyraud-Loisel A, et al. Adapting French COVID-19 vaccination campaign duration to variant dissemination. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.17.21253739>
66. Vidal SJ, Collier AY, Yu J, McMahan K, Tostanoski LH, Ventura JD, et al. Correlates of Neutralization Against SARS-CoV-2 Variants of Concern by Early Pandemic Sera. *Journal of Virology* [Internet]. American Society for Microbiology Journals; 2021; Recuperado de: <https://jvi.asm.org/content/early/2021/04/23/JVI.00404-21>
67. Tegally H, Wilkinson E, Giovanetti M, Iranzadeh A, Fonseca V, Giandhari J, et al. Emergence of a SARS-CoV-2 variant of concern with mutations in spike glycoprotein. *Nature* [Internet]. Springer Science; Business Media LLC; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1038%2Fs41586-021-03402-9>
68. Slavov SN, Patané JS, Santos Bezerra R dos, Giovanetti M, Fonseca V, Martins AJ, et al. Genomic monitoring unveil the early detection of the SARS-CoV-2 B.1.351 lineage (20H/501Y.V2) in Brazil. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.30.21254591>
69. Montagutelli X, Prot M, Levillayer L, Salazar EB, Jouvion G, Conquet L, et al. The B1.351 and P.1 variants extend SARS-CoV-2 host range to mice. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.18.436013>
70. Marot S, Malet I, Jary A, Leducq V, Abdi B, Teyssou E, et al. Neutralization heterogeneity of United Kingdom and South-African SARS-CoV-2 variants in BNT162b2-vaccinated or convalescent COVID-19 healthcare workers. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.05.434089>

71. Moyo-Gwete T, Madzivhandila M, Makhado Z, Ayres F, Mhlanga D, Oosthuysen B, et al. SARS-CoV-2 501Y.V2 (B.1.351) elicits cross-reactive neutralizing antibodies. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.06.434193>
72. Guo K, Barrett BS, Mickens KL, Hasenkrug KJ, Santiago ML. Interferon Resistance of Emerging SARS-CoV-2 Variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.20.436257>
73. Cele S, Gazy I, Jackson L, Hwa S-H, Tegally H, Lustig G, et al. Escape of SARS-CoV-2 501Y.V2 variants from neutralization by convalescent plasma. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.01.26.21250224>
74. Redd AD, Nardin A, Kared H, Bloch EM, Pekosz A, Laeyendecker O, et al. CD8+ T cell responses in COVID-19 convalescent individuals target conserved epitopes from multiple prominent SARS-CoV-2 circulating variants [Internet]. Allergy; Immunology; 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.11.21251585>
75. Tarke A, Sidney J, Methot N, Zhang Y, Dan JM, Goodwin B, et al. Negligible impact of SARS-CoV-2 variants on CD4+ and CD8+ T cell reactivity in COVID-19 exposed donors and vaccinees. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.27.433180>
76. Ge A, Rioux M, Kelvin AA. Computational assessment of the spike protein antigenicity reveals diversity in B cell epitopes but stability in T cell epitopes across SARS-CoV-2 variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.25.437035>
77. Wang P, Nair MS, Liu L, Iketani S, Luo Y, Guo Y, et al. Antibody Resistance of SARS-CoV-2 Variants B.1.351 and B.1.1.7 [Internet]. Immunology; 2021 jan. Recuperado de: <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.01.25.428137>
78. Edara VV, Norwood C, Floyd K, Lai L, Davis-Gardner ME, Hudson WH, et al. Infection- and

vaccine-induced antibody binding and neutralization of the B.1.351 SARS-CoV-2 variant. *Cell Host & Microbe* [Internet]. 2021 [citado 23 de abril de 2021];29:516–521.e3. Recuperado de: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1931312821001372>

79. Stamatatos L, Czartoski J, Wan Y-H, Homad LJ, Rubin V, Glantz H, et al. mRNA vaccination boosts cross-variant neutralizing antibodies elicited by SARS-CoV-2 infection. *Science* [Internet]. American Association for the Advancement of Science (AAAS); 2021;eabg9175. Recuperado de: <https://doi.org/10.1126%2Fscience.abg9175>

80. Kustin T, Harel N, Finkel U, Perchik S, Harari S, Tahor M, et al. Evidence for increased breakthrough rates of SARS-CoV-2 variants of concern in BNT162b2 mRNA vaccinated individuals. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.06.21254882>

81. Röltgen K, Nielsen SCA, Arunachalam PS, Yang F, Hoh RA, Wirz OF, et al. mRNA vaccination compared to infection elicits an IgG-predominant response with greater SARS-CoV-2 specificity and similar decrease in variant spike recognition. *Cold Spring Harbor Laboratory*; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.05.21254952>

82. Lustig Y, Nemet I, Kliker L, Zuckerman N, Yishai R, Alroy-Preis S, et al. Neutralizing Response against Variants after SARS-CoV-2 Infection and One Dose of BNT162b2. *New England Journal of Medicine* [Internet]. Massachusetts Medical Society; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1056%2Fnejmc2104036>

83. Madhi SA, Baillie V, Cutland CL, Voysey M, Koen AL, Fairlie L, et al. Efficacy of the ChAdOx1 nCoV-19 Covid-19 Vaccine against the B.1.351 Variant. *New England Journal of Medicine* [Internet]. Massachusetts Medical Society; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1056%2Fnejmoa2102214>

84. Corona-omica R. INFORME REDE CORONA-ÔMICA.BR-MCTI. 2021 fev. Report No.: número 03.

85. Rede C. INFORME REDE CORONA-ÔMICA.BR-MCTI. 2021 mar. Report No.: 8.

86. Fujino T, Nomoto H, Kutsuna S, Ujiie M, Suzuki T, Sato R, et al. Novel SARS-CoV-2 Variant Identified in Travelers from Brazil to Japan. Emerging Infectious Diseases [Internet]. 2021 [citado 18 de fevereiro de 2021];27. Recuperado de: https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/27/4/21-0138_article.htm
87. Hirotsu Y, Omata M. Discovery of a SARS-CoV-2 variant 1 from the P.1 lineage harboring K417T/E484K/N501Y mutations in Kofu, Japan. Journal of Infection [Internet]. Elsevier BV; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1016%2Fj.jinf.2021.03.013>
88. FIOCRUZ/ILMD, FVS-AM. Caracterização genética do SARS-CoV-2 circulante no Estado do Amazonas. [Internet]. 2021 jan. Report No.: N° 09. Recuperado de: <http://www.genomahcov.fiocruz.br/protocolos/>
89. Wang P, Wang M, Yu J, Cerutti G, Nair MS, Huang Y, et al. Increased Resistance of SARS-CoV-2 Variant P.1 to Antibody Neutralization. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.01.433466>
90. Vogel M, Chang X, Augusto GS, Mohsen MO, Speiser DE, Bachmann MF. SARS-CoV-2 variant with higher affinity to ACE2 shows reduced sera neutralization susceptibility. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.04.433887>
91. Resende PC, Naveca FG, Lins RD, Dezordi FZ, Ferraz MVF, Moreira EG, et al. The ongoing evolution of variants of concern and interest of SARS-CoV-2 in Brazil revealed by convergent indels in the amino (N)-terminal domain of the Spike protein. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.19.21253946>
92. Oliveira MHS de, Lippi G, Henry BM. Sudden rise in COVID-19 case fatality among young and middle-aged adults in the south of Brazil after identification of the novel B.1.1.28.1 (P.1) SARS-CoV-2 strain: analysis of data from the state of Parana. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.24.21254046>

93. Freitas ARR, Lemos DRQ, Beckedorff OA, Góes Cavalcanti LP de, Siqueira AM, Mello RCS de, et al. The increase in the risk of severity and fatality rate of covid-19 in southern Brazil after the emergence of the Variant of Concern (VOC) SARS-CoV-2 P.1 was greater among young adults without pre-existing risk conditions. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.13.21255281>

94. Yuan M, Huang D, Lee C-CD, Wu NC, Jackson AM, Zhu X, et al. Structural and functional ramifications of antigenic drift in recent SARS-CoV-2 variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.16.430500>

95. Hoffmann M, Arora P, Gross R, Seidel A, Hoernich B, Hahn A, et al. SARS-CoV-2 variants B.1.351 and B.1.1.248: Escape from therapeutic antibodies and antibodies induced by infection and vaccination [Internet]. Molecular Biology; 2021 fev. Recuperado de: <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.11.430787>

96. Tada T, Dcosta BM, Samanovic-Golden M, Herati RS, Cornelius A, Mulligan MJ, et al. Neutralization of viruses with European, South African, and United States SARS-CoV-2 variant spike proteins by convalescent sera and BNT162b2 mRNA vaccine-elicited antibodies [Internet]. Microbiology; 2021 fev. Recuperado de: <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.05.430003>

97. Souza WM de, Amorim MR, Sesti-Costa R, Coimbra LD, Toledo-Teixeira DA de, Parise PL, et al. Levels of SARS-CoV-2 Lineage P.1 Neutralization by Antibodies Elicited after Natural Infection and Vaccination [Internet]. Rochester, NY: Social Science Research Network; 2021 mar. Report No.: ID 3793486. Recuperado de: <https://papers.ssrn.com/abstract=3793486>

98. Dejnirattisai W, Zhou D, Supasa P, Liu C, Mentzer AJ, Ginn HM, et al. Antibody evasion by the Brazilian P.1 strain of SARS-CoV-2. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.12.435194>

99. Voloch CM, Silva F R da, Almeida LGP de, Cardoso CC, Brustolini OJ, Gerber AL, et al. Genomic characterization of a novel SARS-CoV-2 lineage from Rio de Janeiro, Brazil [Internet]. Genetic; Genomic Medicine; 2020 dez. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.12.23.20248598>
100. Laffeber C, Koning K de, Kanaar R, Lebbink JH. Experimental evidence for enhanced receptor binding by rapidly spreading SARS-CoV-2 variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.22.432357>
101. Vírus-MCTI R. INFORME N.14 REDE CORONA-ÔMICA.BR-MCTI. 2021 abr. Report No.: 14.
102. Zhang W, Davis BD, Chen SS, Sincuir Martinez JM, Plummer JT, Vail E. Emergence of a Novel SARS-CoV-2 Variant in Southern California. JAMA [Internet]. 2021 [citado 17 de fevereiro de 2021]; Recuperado de: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2776543>
103. Peng J, Liu J, Mann SA, Mitchell AM, Laurie MT, Sunshine S, et al. Estimation of secondary household attack rates for emergent spike L452R SARS-CoV-2 variants detected by genomic surveillance at a community-based testing site in San Francisco. Clinical Infectious Diseases [Internet]. Oxford University Press (OUP); 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1093%2Fcid%2Fcib283>
104. Tchesnokova V, Kulakesara H, Larson L, Bowers V, Rechkina E, Kisiela D, et al. Acquisition of the L452R mutation in the ACE2-binding interface of Spike protein triggers recent massive expansion of SARS-CoV-2 variants. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.22.432189>
105. Deng X, Garcia-Knight MA, Khalid MM, Servellita V, Wang C, Morris MK, et al. Transmission, infectivity, and antibody neutralization of an emerging SARS-CoV-2 variant in California carrying a L452R spike protein mutation. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.07.21252647>
106. Skidmore PT, Kaelin EA, Holland LA, Maqsood R, Wu LI, Mellor NJ, et al. Emergence of a

SARS-CoV-2 E484K variant of interest in Arizona. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de:
<https://doi.org/10.1101%2F2021.03.26.21254367>

107. Lesho E, Corey B, Lebreton F, Ong AC, Swierczewski BE, Bennett JW, et al. Emergence of the E484K Mutation in SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.220 in Upstate New York. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.11.21253231>

108. Shen X, Tang H, Pajon R, Smith G, Glenn GM, Shi W, et al. Neutralization of SARS-CoV-2 Variants B.1.429 and B.1.351. New England Journal of Medicine [Internet]. Massachusetts Medical Society; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1056%2Fnejmc2103740>

109. Lule Bugembe D, Phan MVT, Ssewanyana I, Semanda P, Nansumba H, Dhaala B, et al. A SARS-CoV-2 lineage A variant (A.23.1) with altered spike has emerged and is dominating the current Uganda epidemic [Internet]. Infectious Diseases (except HIV/AIDS); 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.02.08.21251393>

110. Tse H, Lung DC, Wong SC-Y, Ip K-F, Wu T-C, To KK-W, et al. Emergence of a Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 virus variant with novel genomic architecture in Hong Kong. Clinical Infectious Diseases [Internet]. Oxford University Press (OUP); 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1093%2Fcid%2Fciab198>

111. Loureiro CL, Jaspe RC, DAngelo P, Zambrano JL, Rodriguez L, Alarcon V, et al. SARS-CoV-2 genetic diversity in Venezuela: Predominance of D614G variants and analysis of one outbreak. Abdel-Moneim AS, organizador. PLOS ONE [Internet]. Public Library of Science (PLoS); 2021;16:e0247196. Recuperado de: <https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0247196>

112. LoTempio J, Billings E, Draper K, Ralph C, Moshgriz M, Duong N, et al. Novel SARS-CoV-2 spike variant identified through viral genome sequencing of the pediatric Washington D.C. COVID-19 outbreak [Internet]. Genetic; Genomic Medicine; 2021 fev. Recuperado de: <http://medrxiv.org/lookup/>

doi/10.1101/2021.02.08.21251344

113. Hodcroft EB, Domman DB, Snyder DJ, Oguntuyo KY, Diest MV, Densmore KH, et al. Emergence in late 2020 of multiple lineages of SARS-CoV-2 Spike protein variants affecting amino acid position 677. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.12.21251658>

114. Annavajhala MK, Mohri H, Zucker JE, Sheng Z, Wang P, Gomez-Simmonds A, et al. A Novel SARS-CoV-2 Variant of Concern, B.1.526, Identified in New York. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.23.21252259>

115. Lasek-Nesselquist E, Pata J, Schneider E, George KSt. A tale of three SARS-CoV-2 variants with independently acquired P681H mutations in New York State. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.10.21253285>

116. Long SW, Olsen RJ, Christensen PA, Subedi S, Olson R, Davis JJ, et al. Sequence Analysis of 20,453 SARS-CoV-2 Genomes from the Houston Metropolitan Area Identifies the Emergence and Widespread Distribution of Multiple Isolates of All Major Variants of Concern. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.02.26.21252227>

117. Ruiz-Rodriguez P, Francés-Gómez C, Chiner-Oms Álvaro, López MG, Jiménez-Serrano S, Cancino-Muñoz I, et al. Evolutionary and phenotypic characterization of spike mutations in a new SARS-CoV-2 Lineage reveals two Variants of Interest. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.08.21253075>

118. Adnan N, Khondoker MU, Rahman MS, Ahmed MF, Sharmin S, Sharif N, et al. Coding-Complete Genome Sequences and Mutation Profiles of Nine SARS-CoV-2 Strains Detected from COVID-19 Patients in Bangladesh. Dennehy JJ, organizador. Microbiology Resource Announcements [Internet]. American Society for Microbiology; 2021;10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1128%2Fmra.00124-21>

119. Bascos NAD, Mirano-Bascos D, Saloma CP. Structural Analysis of Spike Protein Mutations in an

Emergent SARS-CoV-2 Variant from the Philippines. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.06.434059>

120. Shen L, Bard JD, Triche TJ, Judkins AR, Biegel JA, Gai X. Emerging variants of concern in SARS-CoV-2 membrane protein: a highly conserved target with potential pathological and therapeutic implications. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.11.434758>

121. Franceschi VB, Ferrareze PAG, Zimerman RA, Cybis GB, Thompson CE. Mutation hotspots, geographical and temporal distribution of SARS-CoV-2 lineages in Brazil, February 2020 to February 2021: insights and limitations from uneven sequencing efforts. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.08.21253152>

122. Resende PC, Gräf T, Paixão ACD, Appolinario L, Lopes RS, Fonseca Mendonça AC da, et al. A potential SARS-CoV-2 variant of interest (VOI) harboring mutation E484K in the Spike protein was identified within lineage B.1.1.33 circulating in Brazil. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.12.434969>

123. Resende P. Identification of a new B.1.1.33 SARS-CoV-2 Variant of Interest (VOI) circulating in Brazil with mutation E484K and multiple deletions in the amino (N)-terminal domain of the Spike protein [Internet]. Virological. 2021 [citado 7 de abril de 2021]. Recuperado de: <https://virological.org/t/identification-of-a-new-b-1-1-33-sars-cov-2-variant-of-interest-voi-circulating-in-brazil-with-mutation-e484k-and-multiple-deletions-in-the-amino-n-terminal-domain-of-the-spike-protein/675>

124. Aanniz T, Ouadghiri M, Bendahou MA, Chemao-Elfhiri MW, Chenaoui M, Dakka H, et al. First Report of a SARS-CoV-2 Genome Sequence with a Spike His69-Val70 Deletion and an Asn439Lys Mutation in Morocco. Roux S, organizador. Microbiology Resource Announcements [Internet]. American

Society for Microbiology; 2021;10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1128%2Fmra.00027-21>

125. Zuckerman NS, Fleishon S, Bucris E, Bar-Ilan D, Linial M, Bar-Or I, et al. A unique SARS-CoV-2 spike protein P681H strain detected in Israel. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.25.21253908>

126. Zhou H, Dcosta BM, Samanovic MI, Mulligan MJ, Landau NR, Tada T. B.1.526 SARS-CoV-2 variants identified in New York City are neutralized by vaccine-elicited and therapeutic monoclonal antibodies. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.24.436620>

127. Pohl MO, Busnadio I, Kufner V, Glas I, Karakus U, Schmutz S, et al. SARS-CoV-2 variants reveal features critical for replication in primary human cells. Schultz-Cherry S, organizador. PLOS Biology [Internet]. Public Library of Science (PLoS); 2021;19:e3001006. Recuperado de: <https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pbio.3001006>

128. Surleac M, Casangiu C, Banica L, Milu P, Florea D, Sandulescu O, et al. Short Communication: Evidence of Novel SARS-CoV-2 Variants Circulation in Romania. AIDS Research and Human Retroviruses [Internet]. Mary Ann Liebert Inc; 2021;37:329–32. Recuperado de: <https://doi.org/10.1089%2Faid.2021.0009>

129. Giacomo SD, Mercatelli D, Rakhimov A, Giorgi FM. Preliminary report on SARS-CoV-2 Spike mutation T478K. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.28.437369>

130. Oliveira T de, Lutucuta S, Nkengasong J, Morais J, Paixão JP, Neto Z, et al. A novel variant of interest of SARS-CoV-2 with multiple spike mutations detected through travel surveillance in Africa. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.03.30.21254323>

131. Rani PR, Imran M, Lakshmi JV, Jolly B, Jain A, Surekha A, et al. Symptomatic reinfection of

SARS-CoV-2 with spike protein variant N440K associated with immune escape. Journal of Medical Virology [Internet]. Wiley; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1002%2Fjmv.26997>

132. Noureddine FY, Chakkour M, Roz AE, Reda J, Sahily RA, Assi A, et al. The emergence of SARS-CoV-2 variant(s) and its impact on the prevalence of COVID-19 cases in Nabatieh region, Lebanon. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.08.21255005>

133. Ozer EA, Simons LM, Adewumi OM, Fowotade AA, Omoruyi EC, Adeniji JA, et al. High prevalence of SARS-CoV-2 B.1.1.7 (UK variant) and the novel B.1.5.2.5 lineage in Oyo State, Nigeria. Cold Spring Harbor Laboratory; 2021; Recuperado de: <https://doi.org/10.1101%2F2021.04.09.21255206>

ESTRATÉGIA DE BUSCA

O presente informe foi elaborado com base em buscas nas seguintes fontes, utilizando as seguintes estratégias de busca.
A busca foi delimitada por citações indexadas nas bases durante o período de 19 de abril de 2021 até 25 de abril de 2021.

Base de dados	Estratégia de busca	Resultados da busca	Resultados considerados no informe	Acumulado desde o Primeiro Informe Semanal
PUBMED (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/)	(("2019-nCoV"[Title/Abstract] OR "ncov*"[Title/Abstract] OR "covid-19"[Title/Abstract] OR "covid19"[Title/Abstract] OR "covid-19"[Title/Abstract] OR "coronavirus"[MeSH Terms] OR "coronavirus"[Title/Abstract] OR "sars-cov-2"[Title/Abstract] OR "severe acute respiratory syndrome coronavirus 2"[Supplementary Concept])) AND ((variant*[Title]) OR (mutation[Title]) OR (strain[Title])))	14	3	
Medrxiv e Biorxiv (https://www.medrxiv.org/search)	("coronavirus" or "covid-19" or "sars-cov-2") AND ("variant" or "mutation" or "strain")	13	2	
Agency for Clinical Innovation, NSW Government, Austrália	https://aci.health.nsw.gov.au/covid-19/critical-intelligence-unit/sars-cov-2-variants			
Public Health England, Reino Unido	https://www.gov.uk/government/collections/new-sars-cov-2-variant			
Organização Mundial da Saúde e Organização Pan-Americana da Saúde	https://www.paho.org/pt/documents			
Nextstrain, All SARS-CoV-2 situation reports	https://nextstrain.org/sars-cov-2/			
Ministério da Saúde – Notas Técnicas da SVS e Revisões de Literatura COEVI/DECIT/SCTIE		1	1	
Health Protection Scotland, NHS, Reino Unido	https://www.hps.scot.nhs.uk/publications/			
European Centre for Disease Prevention and Control, União Europeia	https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data			
Centers for Disease Control and Prevention, EUA	https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/cases-updates/variant-surveillance/variant-info.html			

Health Science Information Consortium of Toronto, Canadá	https://guides.hsicl.library.utoronto.ca/2019nCov/Articles			
Scientific Advisory Group for Emergencies, Reino Unido	https://www.gov.uk/government/organisations/scientific-advisory-group-for-emergencies			