

**Indicadores de qualidade do ar mediante o uso dos líquens na área urbana do município  
minerador de Itabira/MG Brasil**

**Air quality indicators through the use of lichens in the urban area in mining town of  
Itabira/MG Brazil**

**Indicadores de calidad del aire mediante el uso de líquidos en el área urbana del  
municipio minero de Itabira/MG Brasil**

Recebido: 18/12/2020 | Revisado: 20/12/2020 | Aceito: 22/12/2020 | Publicado: 27/12/2020

**Anne Danielle Mendes Martins da Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1229-8919>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: [annedanielle2010@hotmail.com](mailto:annedanielle2010@hotmail.com)

**Thiara de Freitas Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2482-6643>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: [thiara\\_freitas@yahoo.com.br](mailto:thiara_freitas@yahoo.com.br)

**Cibele Andrade de Alvarenga**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2782>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: [cibele.alvarenga@funcesi.br](mailto:cibele.alvarenga@funcesi.br)

**Arthur Mendes Guerra Martins da Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7100-2984>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [arthurguerram@gmail.com](mailto:arthurguerram@gmail.com)

**Resumo**

A cidade mineradora de Itabira/MG recebe diretamente a poeira, juntamente com o material particulado das minas de minério de ferro, localizadas na área urbana. A qualidade do ar se mostrou precária em razão da mineração a céu aberto exercida há décadas no município. A partir disso, surge a necessidade de fazer uma pesquisa para verificar a qualidade e contaminação do ar da cidade, complementando trabalhos anteriores. Sendo assim, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar o índice de poluição atmosférica no município minerador de

Itabira, utilizando os líquens como bioindicadores. O método utilizado foi o biomonitoramento passivo a partir do uso de líquens em quatro pontos distintos da cidade. Para obtenção dos resultados, foi executada uma pesquisa de campo com abordagem quali-quantitativa, observando a frequência e os tipos de líquens presentes sob o córtex das árvores. Os resultados foram obtidos por meio da análise do Índice de Pureza do Ar (IPA) calculado em cada ponto. A qualidade do ar variou de medíocre a baixa e a sua contaminação de média a alta. Ocorreu uma melhora dessa condição quando a distância entre o ponto amostrado e as áreas de mineração foi maior, e quando houve a presença de matas ao redor dos pontos amostrados. Destaca-se o impacto negativo que a atividade mineradora exerce na qualidade do ar e, conseqüentemente, na saúde humana.

**Palavras-chave:** Biomonitoramento; Área urbana; Mineração; Saúde humana.

### **Abstract**

The mining town of Itabira/MG receives the dust, together with the particulate matter from the iron ore mines, located in the urban area. The quality of the air showed itself precarious because of the open-sky mining exercised by decades in the city. From this, comes up the necessity of making a research to verify the quality and contamination of the air of the city, complementing previous works. Thus, the general objective of the research was to evaluate the index of atmospheric pollution in mining town of Itabira, using the lichens as bio indicators. The method utilized was the passive bio monitoring from the use of lichens in four different points of the town. To the obtention of the results, was executed a field research with a quali-quantitative approach, observing the frequency and the types of lichens present over the cortex of the trees. The results were obtained through the analysis of the Pureness of the Air Index (PAI) calculated in each point. The quality of the air variated from mediocre to low and its contamination from medium to high. There was an improvement of this condition when the distance between the sampled point and the mining areas was greater, and when there was the presence of forests around the sampled points. Stands out the impact that the mining activity exercise in the air quality and, consequently, in the human health.

**Keywords:** Biomonitoring; Urban área; Mining; Human health.

### **Resumen**

El pueblo de minería, Itabira / MG recibe directamente el polvo, junto con el material particulado de las minas de mineral de hierro, ubicadas en el área urbana. La calidad del aire resultó ser precaria debido a la minería a cielo abierto en el municipio durante décadas. A

partir de eso surge la necesidad de realizar una búsqueda para comprobar la calidad y contaminación del aire de la ciudad, complementando trabajos previos. Así, el objetivo general de la investigación fue evaluar el índice de contaminación atmosférica en el pueblo minero Itabira, utilizando líquenes como bioindicadores. El método utilizado fue el biomonitoreo pasivo basado en el uso de líquenes en cuatro puntos diferentes de la ciudad. Para obtener los resultados, se realizó una investigación de campo con enfoque cualitativo y cuantitativo, observando la frecuencia y tipos de líquenes presentes bajo la corteza de los árboles. Los resultados se obtuvieron analizando el índice de pureza del aire (IPA) calculado en cada punto. La calidad del aire varió de mediocre a bajo y su contaminación fue de media a alta. Una mejora en esta condición ocurrió cuando la distancia entre el punto expresado y las áreas mineras fue mayor, y cuando había la presencia de bosques alrededor de los puntos expresados. Se destaca el impacto negativo que tiene la actividad minera en la calidad del aire y, en consecuencia, en la salud humana.

**Palabras clave:** Biomonitoreo; Área urbana; Minería; Salud humana.

## 1. Introdução

Em tempos em que os malefícios da mineração estão novamente em evidência, sobretudo devido aos recentes rompimentos de barragens de contenção de minério de ferro, as dúvidas relacionadas à poluição atmosférica causada por essa atividade econômica se tornam ainda mais pertinentes.

Ao contrário do que as empresas do segmento afirmam os impactos negativos não se restringem somente às áreas de extração mineral. As cidades e vilarejos em volta também são similarmente afetados. De acordo com Silva (2007), a maior parte da poluição atmosférica proveniente de tal atividade econômica é fomentada por efusão de poeiras, já que o ato de poluir por meio de gases a partir da mineração é pouco significativo. Sendo assim, a emissão de poluentes das usinas mineradoras é promovida por maquinários de escavações e veículos automotores, que dispersam as poeiras contendo metais no espaço e, dessa forma, são levadas para os centros urbanos através do vento e dos carros prestadores de serviços (Silva, 2007).

Desde a época colonial, a mineração predomina no Brasil como uma das principais atividades econômicas. Denominada nos velhos tempos de "cidade do ferro", Itabira contribui desde 1957 com a produção mineral da VALE S/A. A importância se dá pelo fato da cidade ter sediado o primeiro projeto no Brasil de exportação mineral em larga escala que,

posteriormente, criou uma forte liderança de comercialização mundial de minério de ferro e níquel (Milanez & Guimarães, 2017).

Antecedentemente, o município já havia conquistado sua fama relacionada à mineração em 1910, quando os direitos de extração foram comprados pela empresa, de origem britânica, Brazilian Hematite Syndicate (BHS), e, posteriormente, Itabira Iron Ore Company (IIOC). Contudo, somente após a Segunda Guerra Mundial que as atividades começaram a se desenvolver. Os “Acordos de Washington”, feitos em 1942, entre o Brasil, Reino Unido e Estados Unidos, firmavam apoio técnico e estrutural às instalações minerárias em troca do fornecimento do *commoditie* aos aliados. Desse modo, foram implantadas infraestruturas eficazes a fim de maior aproveitamento das jazidas (Silva, 2004).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2019), a atividade de mineração representa 4% do PIB brasileiro e contribui com 25% do saldo comercial. No caso específico de Itabira, a mineração é atualmente responsável por 70% da renda do município<sup>1</sup>.

Diante disso, a cidade mineradora de Itabira, Minas Gerais, recebe diretamente a poeira, juntamente com o material particulado da extração de minério de ferro. Muitos bairros do município encontram-se adjacentes às áreas de mineração a céu aberto e faz limites com as barragens de contenção de rejeito e depósitos de material estéril.

Estudos realizados anteriormente no município itabirano revelam que os limites de poluentes atmosféricos ultrapassaram os propostos pela legislação brasileira (Werneck, 1995; Santi et al., 2000; Braga et al., 2007). Dentre os impactos mais significativos causados pela atividade da mineração, destaca-se a emissão de material particulado ao qual está exposta a população (Santi et al., 2000). Essas são dispersadas através dos processos de beneficiamento e extração do minério de ferro, como por exemplo, na detonação de rochas e na movimentação de veículos dentro das jazidas (Milanez, 2011). Além disso, foi relacionada a condição nociva do ar com um crescimento dos números de internações hospitalares causadas por doenças cardiorrespiratórias entre 2003 e 2004, nas pesquisas de Braga et al. (2007).

A saúde humana e seus processos vitais podem ser afetados de diversas formas pela exposição a poluentes atmosféricos nos grandes centros urbanos. Estudos de saúde pública, de saúde ambiental e de toxicologia apontam os efeitos que se manifestam, principalmente por

---

<sup>1</sup> Afirmado pelo prefeito de Itabira, Ronaldo Magalhães, em uma entrevista para um documentário sobre as barragens itabiranas, feito pelo canal Globo News. Exibido em: 23 fev. 2019.

doenças crônicas, prejudicando a qualidade de vida das populações afetadas (Peiter & Tobar, 1998; Vicente, 2012).

A partir do século XIX, começou-se a utilizar seres vivos ou comunidades de seres vivos como ferramenta auxiliar na detecção de mudanças da qualidade ambiental, denominado biomonitoramento (Carneiro, 2004). Fellenberg (1980) considera os líquens e os musgos epífitos seguros para pesquisas de contaminação atmosférica por apresentarem sensíveis a diversos fatores poluentes. Carneiro (2004) afirma também que o biomonitoramento consiste em uma técnica experimental que avalia, em uma área específica, a qualidade do ambiente. Baseia-se, então, no comportamento dos organismos vivos sob influência de modificações ambientais, como por exemplo, alterações em seu metabolismo, alterações fisiológicas, genéticas, entre outras.

A utilização de líquens como bioindicadores se mostra a maneira mais assertiva e acessível para a análise da qualidade do ar, devido à sua propriedade de ser sensível a poluição. Segundo Gonçalves et al. (2007), o organismo simbiótico mencionado permite a verificação da condição do ambiente, principalmente nos casos cujos aspectos visíveis macroscopicamente não são tão notórios, mesmo com a intervenção antrópicas e suas poluições.

Segundo Piqué et al. (2005), a relevância do biomonitoramento com líquens se dá pela avaliação da qualidade do ar, com diagnósticos precoces quando a emissão de poluentes na atmosfera não é evidente e quando os danos ainda não são observados. Moreira et al. (2017) determina que:

O método de análise utilizando de observação e quantificação de líquens como bioindicadores é simples, de baixo custo e de resultado rápido, mostrando os impactos ambientais e auxiliando na possível identificação e diagnóstico das possíveis causas e efeitos estressores, obtendo assim, uma resposta biológica. Por esse método de observação da ocorrência de líquens é possível avaliar a efetividade das ações mitigadoras e até mesmo propor soluções para minimizar os impactos ambientais (Moreira et al., 2017, p. 198).

Comparado os métodos de monitoramento convencionais de análise dos níveis de poluição, o biomonitoramento apresenta vantagens como detectar níveis crônicos e agudos de contaminação do ar, permitir a avaliação de riscos impostos por poluentes nos ecossistemas, não utiliza energia elétrica, menor custo de instalação e acompanhamento, ampliando assim a área monitorada por período longo de tempo e a viabilidade de se avaliar substâncias em baixas concentrações na área em estudo (Sumita et al., 2003).

Klumpp et al. (2001) explica que a utilização da biomonitorização não é um método alternativo aos métodos instrumentais, mas sim complementar a eles, principalmente pelo fato de que os seres vivos não possuem a capacidade de originar valor numérico para avaliação de índices de controle, porém apresentam capacidade de informar desvios das condições normais da qualidade do ar de uma região diante de processos de emissão e contaminação por poluentes. Segundo Coccaro (2001), o biomonitoramento pode ser classificado em passivo e ativo. No ativo, os bioindicadores são introduzidos no local a ser avaliado em condições controladas. O passivo, técnica utilizada no presente estudo, por sua vez, apura os prejuízos nos bioindicadores, por meio de observação e análise, correlacionando estes danos com o ambiente em questão.

Em seu trabalho, Sloff como citado em Coccaro (2001) afirma que, para o êxito da biomonitorização, a seleção do ser vivo em análise é de fundamental importância no processo. Um indicador biológico deve ser comum no ambiente de interesse, natureza perene ao longo do ano, possuir capacidade de concentrar compostos a serem monitorados, deve se ter conhecimento do seu comportamento frente ao agente agressor e possuir amostra de fácil coleta e tratamento.

Destacam-se entre os organismos bioindicadores os líquens, os musgos e os vegetais superiores. Neste sentido, Kaffer (2011) diz que:

No biomonitoramento passivo, a comunidade líquênica pode ser avaliada através de informações qualitativas obtidas por meio de listas de espécies e mapas de distribuição da comunidade, ou métodos quantitativos utilizando cálculos de diferentes índices para estimar a qualidade do ar. Entre estes, está o índice de Pureza atmosférica (IPA) desenvolvido por Le Blanc & De Sloover (1970) que é baseado na sensibilidade dos líquens (Kaffer, 2011, p.22).

Nos últimos anos, verificou-se em diversos estudos a relação intrínseca entre os níveis de poluição do ar e os efeitos apresentados pelos líquens. Dando, então, embasamento teórico-prático para realização deste presente trabalho que visa utilizar os líquens como bioindicadores da qualidade do ar da cidade de Itabira.

Sendo assim, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar o índice de poluição atmosférica no município minerador de Itabira, utilizando os líquens como bioindicadores.

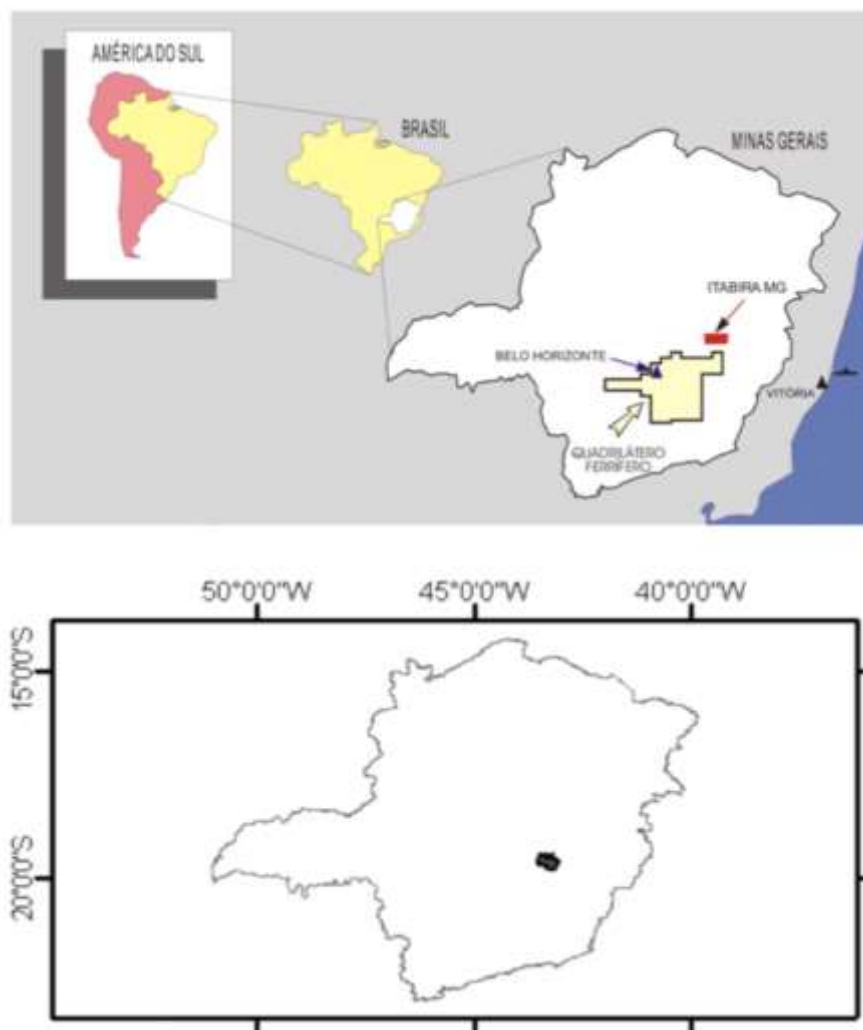
A relevância dessa pesquisa é complementar estudos realizados anteriormente sobre biomonitoramento do ar, utilizando os líquens como bioindicadores, auxiliando as fiscalizações ambientais a fim de que medidas cabíveis sejam tomadas, visando à melhoria da condição atmosférica da região.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

O município de Itabira está localizado na região Centro Leste do Estado de Minas Geras, na bacia federal do Rio Doce, com uma área de 1253,704 km<sup>2</sup>. A população estimada do município no ano 2020 é de 120.904 habitantes segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE (IBGE, 2019). A altitude máxima do município é de 1662 metros no alto da Mutuca e atitude mínima 540 metros (ENGECORPS, 2015). Como mostra a Figura 1, o município está inserido no contexto geotectônico do quadrilátero Ferrífero, onde estão concentradas grandes reservas minerais (Santos et al., 2018).

**Figura 1** – Localização do município Itabira MG, Brasil.



Fonte: Modificado de Galbiatti (2006) e ANA (2016)

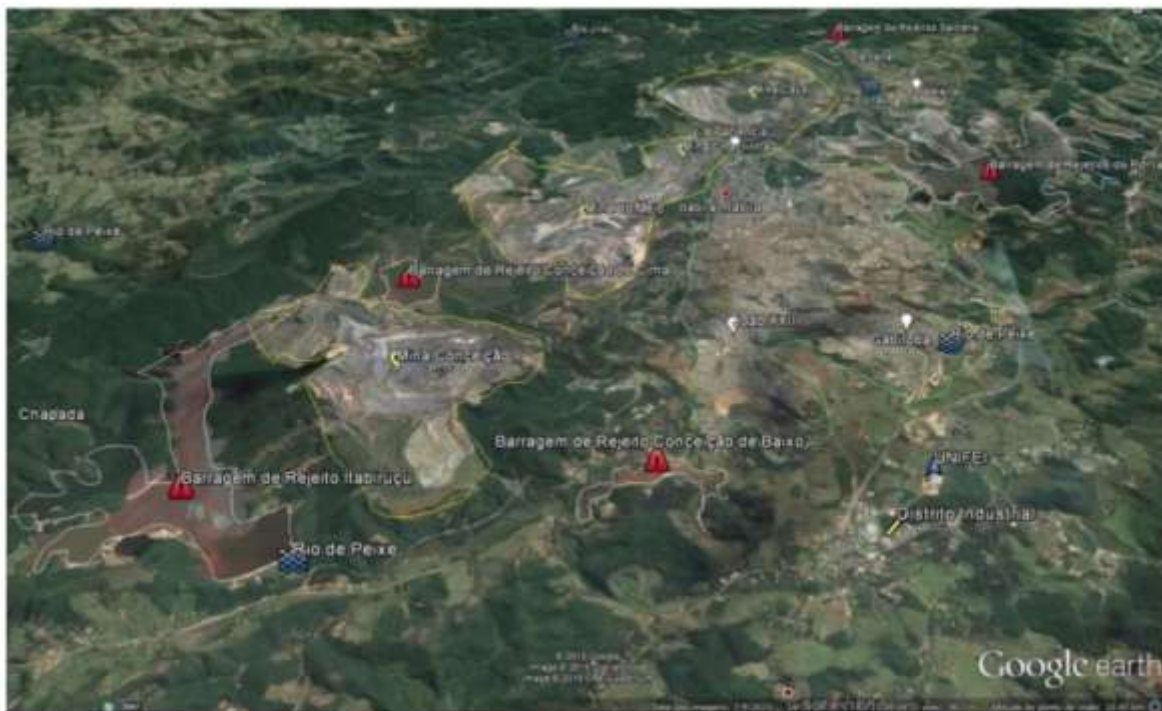


Ainda de acordo com o IBGE (2019), o extrativismo mineral (predominantemente o minério de ferro) é a principal atividade econômica da cidade, executada pela Vale S/A. Além disso, possui um distrito industrial com empresas de diversos setores, além de uma grande frota de veículos (ENGECORPS, 2015).

A área itabirana é composta por várias jazidas que fazem todo o processo a céu aberto. No total, o complexo é formado por oito minas e a companhia mineradora as divide em três: Mina Conceição, Minas do Meio e Mina Cauê (Vale, 2019). Todas estão localizadas dentro do perímetro urbano e, em alguns casos, a distância chega a ser menor que um quilômetro entre o centro de exploração e as residências.

Em virtude da atividade minerária, Itabira tem como limites barragens de contenção de rejeitos, jazidas a céu aberto e grandes depósitos de material estéril. Como a cidade foi desenvolvida em consequência dos projetos de mineração, o centro e a maioria dos bairros estão próximos às reservas minerais (Figura 2).

**Figura 2** – Localização das minas, barragens e área urbana de Itabira, Minas Gerais. 2019.



Fonte: Google Earth (2015, *apud* Ferreira, 2015).

Para distribuição do produto, é usado o transporte ferroviário e muitos dos bairros são cortados pelas linhas férreas onde passam locomotivas carregadas de minério todos os dias, contribuindo com a dispersão de material particulado. Esse aspecto se mostra relevante quando são abordados os impactos ambientais negativos da mineração.



Outro fator importante a ser considerado é o perigo de rompimento das barragens, pois, depois de dois grandes desastres recentes no estado mineiro a população itabirana se vê vulnerável e apreensiva. Além das perdas de vidas humanas, a grande quantidade de rejeito lançado em um rompimento modifica o solo, a cobertura vegetal e os rios. Comprometendo todo o ecossistema. Além disso, a lama seca é uma grande fonte de poeiras (Freitas et al., 2016).

Freitas et al. (2016), ao analisarem os diversos impactos negativos consequentes do desastre da barragem de Fundão, numa escala microrregional e macrorregional, constataram que a lama provocou intenso impacto regional. Em relação aos contaminantes inorgânicos associados à lama de rejeito que se espalhou comprometendo a qualidade de vários rios, em longo prazo as alterações físico-químicas no Rio Doce impactaram toda a cadeia trófica. Os estudos de aferição de tóxicos constataram elevados teores de óxidos de ferro e sílica, os metais pesados chumbo e mercúrio apresentaram-se com níveis superiores ao limite da legislação e podem acumular na cadeia alimentar de animais que dependem direta ou indiretamente das águas do rio (Freitas et al., 2016).

## **2.2 Líquen**

Definem-se líquens como organismos que por meio de uma associação simbiótica entre fungos (micobionte) e algas ou cianobactérias (fotobionte) originam um corpo vegetativo estável, com uma estrutura, fisiologia e ecologia própria, o talo. Esse processo é denominado liquenização, no qual concede vida harmônica entre os organismos, conferindo proteção para ambos e transferência de substâncias vitais (Conti & Cecchetti, 2001; Honda & Vilegas, 1998; Ferreira, 2008; Silva, 2002). Porém, de acordo com Spielmann & Marcelli (2006), a simbiose líquênica trata-se de um assunto ainda controverso entre alguns especialistas que ainda não definiram se essa relação seria um parasitismo ou mutualismo altamente vantajoso para um dos organismos.

Existem poucos estudos sobre esse assunto o que dificulta uma definição conclusiva do mesmo, porém o mais difundido é que os líquens são organismos simbióticos mutualistas. O talo líquênico pode se apresentar de formas simples ou complexas, apresentando morfologia e química característica para cada espécie. Normalmente sua cor esta relacionada à cor da alga, cores como amarelo, laranja, rosa e vermelho podem ser encontradas em talos de alguns fungos líquênicos que produzem substâncias coloridas (Coccaro, 2001).

Neste sentido, Spielmann & Marcelli (2006) afirmam, baseando-se nas características do crescimento do talo no ambiente, que os principais tipos líquens podem ser divididos em crostosos (incrustante), estes apresentam estrutura achatada e bastante aderida ao substrato; folhosos (foliosos) apresentam estrutura menos aderida ao substrato com lobos ou lacínias; fruticosos (fruticulosos) esses são formados por ramos com diversas formas e filamentosos entrelaçados e frouxos.

Alguns autores revelam que a eficácia dos líquens como bioindicadores da qualidade do ar é devido à suas características biológicas. Anatomicamente, os líquens não possuem raízes, sistemas vasculares e nem cutícula, absorvendo e fixando nutrientes e poluentes dispersos na atmosfera, porém tal característica o torna incapaz de excretar substâncias e elementos tóxicos absorvidos, o que pode afetar drasticamente o seu desenvolvimento, metabolicamente, o líquen é completamente dependente de depósitos da atmosfera (Coccaro, 2001; Cunha, 2005; Ferreira, 2008; Martins et al., 2008).

Logo, os líquens – mesmo com a capacidade de sobreviver em diversos ambientes – foram reconhecidos como seres muito sensíveis à poluição atmosférica (Silva, 2002). Sendo assim, sabe-se da estreita relação entre a sua sobrevivência e a qualidade do ar (Gonçalves et al., 2007; Moura et al., 2012).

Outra característica que determina que os líquens apresentem um grande potencial como bioindicadores da qualidade do ar é sua natureza perene (Martins et al., 2008). Com lento metabolismo e extensa longevidade, permitem monitorar o ambiente por longos períodos de tempo, são essas características que permitem que o organismo acumule substâncias em concentrações normalmente superiores às outras plantas (Ferreira, 2008). As diferentes sensibilidades das espécies de líquens às variações ambientais também formam um importante aspecto para determiná-lo como um bom bioindicador da qualidade do ar. Já que as diversas espécies deste organismo não respondem da mesma forma às alterações do meio. O estudo da biodiversidade de líquens, crescimento e a propagação de espécies sensíveis ou tolerantes de um determinado território, permite acompanhar a evolução da poluição do ar e identificar o grau de contaminação do local (Coccaro, 2001; Ferreira, 2008).

Conclui-se que uma das principais responsáveis pela diminuição da diversidade de líquens é a poluição do ar. Se houver uma contaminação contínua na atmosfera, a comunidade líquênica pode desaparecer, o que é denominado de deserto líquênico. Entretanto, da mesma maneira, os líquens podem recolonizar uma área caso haja uma melhora nas condições do ambiente. Pode-se afirmar que a biomonitorização por líquens é feita utilizando variações na

diversidade e/ou abundância; utilizando variações dos padrões fisiológicos ou utilizando os líquens como acumuladores de poluentes (Ferreira, 2008).

A possibilidade de utilizar os líquens como bioindicadores da qualidade do ar é estudada a mais de 40 anos (Spielmann & Marcelli, 2006). Diversos pesquisadores têm desenvolvido estudos utilizando líquens como bioindicadores da qualidade do ar em área urbana (Klumpp, et al., 2001; Coccaro, 2001; Carneiro, 2004; Leonardo, 2010; Santos et al., 2016; Silva et al., 2014; Santos et al., 2015; Soares et al., 2016).

No município de Itabira os líquens foram utilizados como bioindicadores da qualidade do ar no estudo de Pereira & Quintão (2013) e Santos et al. (2018).

### **2.3 Coleta e Análise de Dados**

A abordagem utilizada para a pesquisa de campo foi o método quali-quantitativa. Segundo Pereira et al. (2018) a abordagem qualitativa ocorre no ambiente natural com coleta direta de dados. O método quantitativo envolve a coleta de dados numéricos realizados por meio de medições, utilizado para melhor entendimento dos fenômenos estudados.

Assim sendo, a metodologia qualitativa foi utilizada no presente estudo para a identificação e análise dos distintos tipos de líquens encontrados nas árvores amostradas. Já o método quantitativo foi utilizado para se quantificar os tipos de líquens e calcular a sua frequência, para correlacioná-los com a qualidade do ar nos pontos analisados. Para obtenção dos dados de biomonitoramento do ar, utilizou-se o método de pesquisa de campo baseado nas pesquisas de Ferreira (2008).

Neste estudo, utilizou-se também a pesquisa documental. Pereira et al. (2018) ressaltam que a técnica permite a análise de documentos relacionados à legislação, registros estatísticos, documentos pessoais e registros em meios de comunicação.

Como universo da pesquisa, consideraram-se todas as grandes avenidas e praças arborizadas do município de Itabira, próximos a mineração. Sendo que a escolha dos pontos amostrais foi determinada a partir de áreas próximas aos complexos de mineração e/ou áreas com tráfego intenso de automóveis, que são contribuintes significantes para a poluição atmosférica. Após, foram selecionados locais arborizados, como avenidas e praças. Também foram priorizados locais que não haviam sido usados em pesquisas anteriores recentes, a fim de obter novos resultados e complementar os anteriores. Nesse sentido, foram selecionados quatro pontos para a amostragem no município (Figura 3).

**Figura 3** – Disposição das localizações dos quatro pontos de análise de líquen, por imagem de satélite, centro urbano do município de Itabira. 2019.

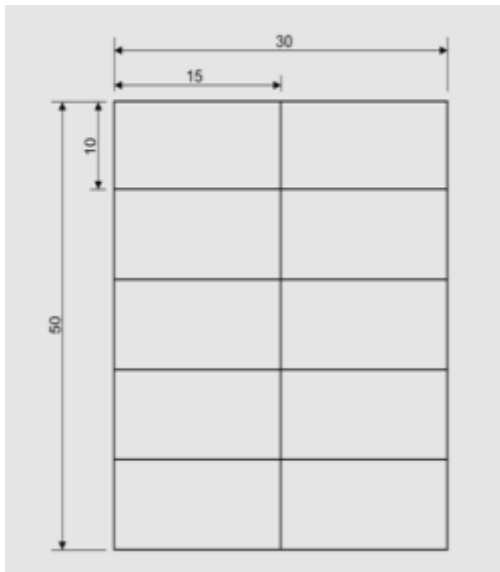


Fonte: Adaptado de Google Earth (2019)

A metodologia aplicada é a mesma que foi utilizada nos estudos de Ferreira (2008), Pereira & Quintão (2013) e Santos et al. (2018) em Itabira. O método analisa a abundância de espécies e quantifica os tipos distintos de líquens presentes no córtex das árvores. Como ferramenta de pesquisa, foi construída uma rede de arame, chamada de *reticulum*. Suas dimensões são 30 x 50 cm, totalizando uma área de 1,5m<sup>2</sup>, divididos em 10 quadrantes, como mostra a imagem feita no *software* AutoCAD (Figura 4). A Figura 5 mostra o *reticulum* em uma das árvores analisadas, em sua base, um barbante de 50 cm foi colocado para servir como ponto de referência a partir do solo, padronizando a altura analisada em todas as árvores.

Com o auxílio de tabelas Excel, impressas para utilização em campo, foi anotado cada resultado, distinguindo os tipos de líquens e as espécies das árvores amostradas. Em seguida, calculou-se a frequência dos líquens, que variava de 1 a 10, que é o número de quadrantes da rede.

**Figura 4** – Modelo utilizado para a fabricação do *Reticulum*.



Fonte: Autores (2019).

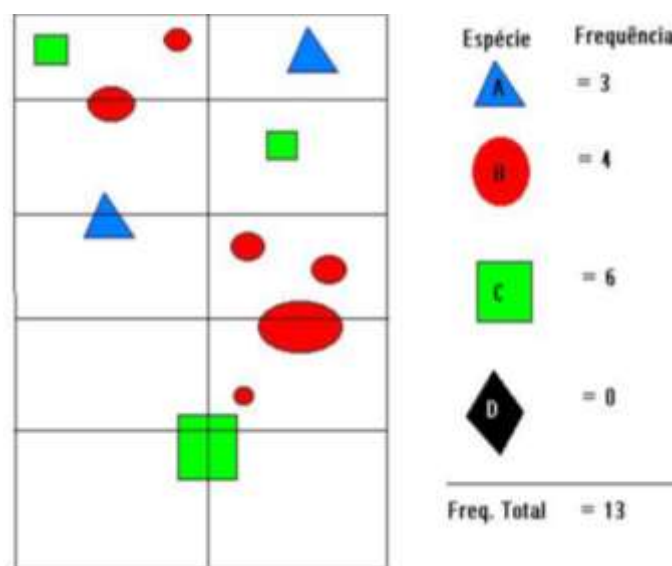
**Figura 5** – Exemplo do uso do *Reticulum* no ponto 3 em exemplar de *Tabebuia impetiginosa*.



Fonte: Autores (2019).

Para contagem de líquens, observa-se a presença dos diferentes tipos, encontrados dentro no *reticulum*, conforme ilustra a Figura 6. Sendo assim, foram identificados os tipos de líquens e a sua quantidade em cada quadrante.

**Figura 6** – Exemplo de contagem da frequência total de espécies.



Fonte: Ferreira (2008, p. 51)

Foram selecionadas para a análise as espécies arbóreas *Tabebuia impetiginosa* (Ipê Rosa) e *Licania tomentosa* (Oiti) para amostragem. Salienta-se, porém, que inicialmente somente a espécie *T. impetiginosa* era o objetivo do estudo. Contudo, no ponto 4 não havia a quantidade necessária para análise e, em função disso, utilizou-se também a *L. tomentosa*, espécie comum em arborização urbana e propícia ao crescimento de líquen. Sendo assim, definiram-se cinco árvores em cada ponto para a contagem de líquen. Quanto à classificação dos líquens em relação aos tipos de talos, foram selecionados para análise os folhosos/foliosos, crostosos/incrustantes e fruticosos.

Já se tratando do cálculo do Índice de Pureza do Ar (IPA), há uma diversidade de equações na literatura. A primeira delas foi criada por De Sloover e Leblanc (1968), desenvolvedores do IPA. Porém, neste artigo, foi utilizada a fórmula numérica proposta por Santoni e Lijteroff (2006), no qual o resultado é obtido a partir da soma das frequências de líquens no *reticulum*. Como apresentado abaixo, a letra "F" representa o número de quadrantes ocupados por cada espécie (tipo) na grade de amostragem. Já a letra "n" é o número de indivíduo arbóreos amostrados nos pontos.

$$IPA = \sum \frac{F}{n}$$

Com isso, por meio de planilha formatada no Microsoft Word, os dados obtidos foram unificados e classificados conforme proposto por Ferreira (2008). A tabela 1 dispõe cada classificação da qualidade e contaminação do ar de acordo com as margens do valor IPA obtido.



**Tabela 1** – Classificação da contaminação e qualidade do ar a partir dos valores de IPA.

Valor IPA	Contaminação do Ar	Qualidade do Ar
$IPA < 1$	Extremamente alta	Péssima
$1 \leq IPA < 4$	Muito alta	Muito alta
$4 \leq IPA < 8$	Alta	Má
$8 \leq IPA < 13$	Média/alta	Medíocre
$13 \leq IPA < 19$	Média	Baixa
$19 \leq IPA < 26$	Média/moderada	Média
$26 \leq IPA < 34$	Moderada	Discreta
$34 \leq IPA < 43$	Baixa	Boa
$IPA \geq 43$	Muito baixa	Muito boa

Fonte: Adaptado de Ferreira (2008, p. 52)

### 3. Resultados e Discussão

No dia 30 de maio 2019, foi realizada a amostragem nos pontos 1, 2 e 4. Sendo o ponto 3 realizado no dia 1º de junho 2019. Abaixo, descrição detalhada dos quatro locais:

- Ponto 1: estacionamento da Prefeitura Municipal de Itabira, localizado no centro da cidade. Maior movimentação de veículos em períodos regulares de trabalho. Presença de árvores de grande porte na arborização do local e ao fundo área de morro revegetada. (19°37'30"S, 43°13'14"W). Figura 7;

- Ponto 2: Avenida Cristina Gazire, apresenta fluxo de veículos leve a moderado, principal acesso do bairro Praia à região central, situa-se próxima à linha férrea usada pela VALE S/A. Via de saída do município em direção à cidade vizinha de Nova Era. A avenida conta com um córrego ao meio, que conduz a água fluvial separadamente dos resíduos de esgoto sanitários para a Estação de Tratamento de Esgoto Laboriaux (19°37'49"S, 43°12'31"W). Figura 8;

- Ponto 3: Avenida das Rosas, um ponto de tráfego intenso por ser a rota que liga o centro do município aos bairros adjacentes e Mina Cauê, muito usada pelos automóveis

prestadores, como ônibus que transportam funcionários e caminhões (19°37'17"S, 43°12'49"W). Figura 9;

- Ponto 4: Praça Cidade de Toledo, Avenida Cauê, no bairro Campestre. É uma praça arborizada, porém via de acesso mais próximo à Mina Cauê e Minas do Meio (19°36'58"S, 43°13'03"W). Figura 10.

Como resultado, constatou-se que a presença de líquens folhosos e crostosos foram a maioria nas árvores amostradas. Os fruticosos não apareceram em dois dos pontos analisados, talvez por ter uma sensibilidade maior aos poluentes. De acordo Käffer (2011), líquens fruticosos são mais sensíveis aos poluentes em relação aos líquens crostosos, sendo estes mais resistentes, deste modo, a existência de líquens fruticosos em um local sugere um melhor grau da qualidade do ar.

**Figura 7** – Estacionamento da Prefeitura de Itabira (Ponto 1).



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

**Figura 8** – Av. Cristina Gazire, “Canal da Praia” (Ponto 2).



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

**Figura 9** – Av. das Rosas (Ponto 3).



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

**Figura 10** – Pça Cidade Toledo (Ponto 4).



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Nas Figuras 11 e 12 observam-se diferentes tipos de líquens em *T. impetiginosa*, nos pontos 1 e 2, respectivamente.

**Figura 11** – Líquens crostosos e folhosos no ponto 1. Itabira/MG.



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

**Figura 12** – Líquen fruticoso sendo apontado no ponto 2. Itabira/MG.



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Na Tabela 2, estão dispostos os resultados obtidos das frequências dos tipos de líquens presentes sobre o córtex das espécies *T. impetiginosa* e *L. tomentosa* nos pontos de estudo.

**Tabela 2** – Frequência de líquens presentes nas espécies arbóreas analisadas, em quatro pontos, com distinção dos tipos de talo. Itabira/MG. 2019.

Ponto	Espécie Arbórea	Árvores	Frequência de cada tipo		
			Crostoso	Folhoso	Fruticoso
1	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	A1	10	10	0
		A2	10	6	0
		A3	10	8	2
		A4	10	6	1
		A5	10	10	0
		<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>3</b>
2	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	A1	10	9	0
		A2	8	10	0
		A3	9	8	0
		A4	7	8	1
		A5	10	10	0
		<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>1</b>
3	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	A1	10	10	0
		A2	10	9	0
		A3	5	4	0
		A4	0	7	0
		A5	9	8	0
		<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>38</b>	<b>0</b>
4	<i>Licania tomentosa</i>	A1	2	10	0
		A2	3	10	0
	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	A3	8	10	0
		A4	2	10	0
		A5	3	6	0
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	

Fonte: Autores (2020).

Na Tabela 3, é apresentado o valor IPA obtido de cada ponto e suas respectivas classificações de contaminação e qualidade do ar, de acordo com Ferreira (2008).

**Tabela 3** – Resultado do nível da qualidade e contaminação do ar nos quatro pontos analisados de Itabira /MG.

Ponto	Valor IPA	Contaminação do ar	Qualidade do ar
1	19	Média – Moderada	Média
2	18	Média	Baixa
3	14	Média	Baixa
4	12	Média – Alta	Medíocre

Fonte: Autores (2020).



No ponto 1, situado no estacionamento da Prefeitura, identificou-se os três tipos de líquens, sendo o valor de IPA igual a 19. O local foi o que se mostrou menos poluído em relação aos outros. Obteve classificação “média – moderada” em termos de contaminação e “média” na qualidade do ar. Pode ser explicado pelo fato de não receber fluxo intenso de veículos durante todo o dia e estar localizado na região central da cidade, ser de baixa altitude e não tão próximo à área da atividade minerária. A arborização do estacionamento e área próxima que circunda o local pode ter contribuído também com a qualidade do ar dos arredores: área mais fechada em relação aos outros pontos analisados o que dificulta a dissipação de particulados atmosféricos.

A pesquisa não considerou para análise de dados a coloração dos líquens encontrados. Porém, vale a pena ressaltar que foram encontrados líquens crostosos de coloração amarela e verde; folhosos de coloração branca, verde, cinza e preta. Neste sentido, lembramos que os líquens podem manifestar-se por meio de colorações diversas, de acordo com a influência das algas, fungos ou cianobactérias formados na simbiose. De acordo com Honda & Vilegas (1998), a cor marrom e cinza chumbo são colorações produzidas pelas cianobactérias, laranja, amarelo, rosa e vermelho são líquens portadores de fungos e os que apresentam algas verdes aparecem nas cores entre o cinza, branco, e verde por causa da clorofila das algas.

No ponto 2, Avenida Cristina Gazire localizado em uma avenida de tráfego leve a moderado, houve presença de todos os tipos de líquens. Predominou a presença de crostosos, que foram identificados em todos os dez quadrantes do *reticulum* e em todas as cinco árvores amostradas. O valor do IPA obtido foi 18, com relação à frequência, porém, teve uma perda em comparação ao ponto 1, embora mantenha-se dentro dos mesmos limites, conforme a tabela 1 ( $13 \leq \text{IPA} < 19$ ). A partir disso, concluiu-se que o local tem média contaminação do ar e a sua qualidade se mostra baixa, podendo ser justificado pela movimentação diária de automóveis e pela proximidade da linha férrea. Um fato importante a ser mencionado são as constantes queimadas em lotes vagos e morros descobertos, sem vegetações arbóreas, que predominam ao longo da avenida.

Em ambos os pontos 1 e 2, Figuras 13 e 14, foram encontrados a presença de líquens fruticosos, sugerindo que, apesar da classificação negativa em razão do valor IPA, ainda há uma certa pureza no ar desses locais, visto que os fruticosos são seres muito sensíveis e frágeis à poluentes. Além dos exemplares encontrados dentro do *reticulum*, observou-se também alguns outros sobre o córtex das árvores, em zonas mais altas do caule.

**Figura 13** – Os três tipos de líquens sob a mesma árvore no ponto 2. Itabira/MG.



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

**Figura 14** – Líquen fruticoso encontrado no ponto 1. Itabira/MG.



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Classificado como área com baixa qualidade do ar, o ponto 3 recebe intenso tráfego de veículos, em todas as horas do dia. A Avenida das Rosas, além de ligar bairros ao centro comercial, é uma das vias principais dos ônibus que transportam funcionários prestadores de serviços da mineração, por ser próximo à mina e escritórios da empresa. Esse fato pode ser a possível explicação para o local apresentar baixo valor IPA.

O ponto 4, Av.Cauê, é o mais próximo das áreas de mineração, situado entre as Minas do Meio e a Mina Cauê, apresentou qualidade do ar classificada como medíocre e a contaminação média alta. E, além disso, é o local de amostragem mais distante de alguma área com bastante vegetação e de grande fluxo de carros. Dentre todos os pontos, esse local é o mais afetado.

É importante destacar que, em relação à qualidade e contaminação do ar, os pontos de amostragem 2 e 3 (Av. Cristina Gazire e Avenida das Rosas) apresentaram a mesma classificação, média. Entretanto, quando analisados, percebe-se a diferença nos valores de IPA, sendo que o ponto 2 está mais próximo de valor 19 e, logo, a qualidade do ar tende a ser “média”. Já o ponto 3, tende ao valor 13 e, portanto, a qualidade do ar aproxima-se de ser “medíocre”. Logo, o ponto 3 se mostra mais precário em termos de ambientação comparado ao ponto 1, ambos os pontos são afetados por tráfego intenso de veículos automotores. O fato de existir líquens fruticosos no ponto 2, mas não existir no ponto 3 sugere-se que a qualidade



do ar seja melhor. Observou-se também que, no ponto 2, há maior quantidade e diversidade de tipos de líquens o que corrobora com essa sugestão.

Conforme constatado pelas pesquisas de Pereira & Quintão (2013), os pontos mais próximos das minas do município de Itabira apresentaram valores IPA que caracterizam a qualidade do ar como “baixa”. Ao comparar com o presente artigo, é notória a semelhança entre os dados obtidos em pesquisas anteriores. Isto é, os pontos próximos das minas são significativamente mais impactados negativamente. Igualmente, a presença de matas aprimora a condição do ar, como amostrado no trabalho de Pereira & Quintão (2013). Sendo assim, locais com presença de matas e tráfego moderado apresentaram melhores condições nos dois trabalhos. Santos et al. (2018), estudo também realizado no município de Itabira, constataram que a qualidade do ar variou entre baixa e média, e a contaminação do ar entre média e média moderada. Os autores também observaram, em um ponto de coleta próximo à mineração, uma maior presença de líquens em apenas um lado dos troncos das árvores, sendo justamente o lado oposto à mineração.

Na pesquisa de ambos os autores citados acima, não houve a presença de líquens fruticosos dentro do *reticulum* em nenhum dos pontos analisados. O aparecimento dos fruticosos no presente trabalho (pontos 1 e 2) pode sugerir uma melhora no aspecto de pureza do ar em relação aos outros pontos analisados pelos autores anteriormente no município de Itabira.

Além da proximidade entre a lavra e os moradores, existe ainda o fator geográfico do município, que agrava ainda mais a situação. Itabira é cercada por colinas e montanhas que impedem o material de se dispersar, aglomerando-o no ar.

A proximidade acentuada entre as minas e a área urbana possibilita a ocorrência de eventos indesejáveis de degradação da qualidade do ar por material particulado, principalmente nos períodos do ano com estiagem prolongada, baixa umidade relativa do ar e ventos de maior intensidade, o que ocorre mais frequentemente nos meses de abril a setembro (Consultoria e Engenharia do Meio Ambiente, 1996 *apud* Santi et al., 2000).

A concentração de poluentes tóxicos nos animais e plantas deve ser tanto menor quanto mais distantes estiver do local da fonte de emissão (substância desprendida no ar) e quanto maiores forem as possibilidades de diluição e dispersão dessa substância no ar (Fellenberg, 1980). Sendo assim, um dos fatores responsáveis pela dispersão da poeira da mineração é a curta distância entre a zona urbana e as áreas exploradas.

Werneck (1995), como um dos pioneiros em pesquisas sobre a qualidade do ar da região, evidenciou que a atividade extrativista tinha potencial para afetar significativamente a saúde da população itabirana a longo prazo. Nos casos das crianças, por exemplo, iriam nascer já inspirando o material particulado poluente que causaria uma morbidade acentuada em suas vidas.

Nos anos 2000, foi publicada a pesquisa de Santi et al. (2000) que comprovou o que o autor Werneck (1995) havia documentado. Um monitoramento de partículas totais em suspensão foi feito em alguns pontos de Itabira, próximos e distantes das minas. Nos pontos mais próximos, como as estações de monitoramento dos Bairros Chacrinha e Areão, houve muitas ocorrências diárias de concentração elevada de poluentes. Como as principais minas estão localizadas nos arredores da cidade, os ventos dispersem os poluentes oriundos da extração mineral e indústrias em direção a área urbana de Itabira, sobretudo nos períodos secos do ano, entre os meses de abril a setembro. Tal fato implicou no resultado da média anual de partículas totais em suspensão, que ultrapassou os limites estabelecidos pela legislação CONAMA 03/1990.

Nesse âmbito, se mostra relevante os estudos de Braga et al. (2007). Os autores apontaram que, no período de 2003 a 2004, o limite de poluentes inaláveis (PM<sub>10</sub>) foi violado algumas vezes.

Braga et al. (2007) ainda relacionaram os dados obtidos nas estações de medições de material particulado com o número de casos de doenças respiratórias atendidas nos hospitais de Itabira e região. Segundo os autores, ao longo de um ano, dos 6570 atendimentos de crianças com até 13 anos de idade, 300 foram diretamente relacionados com a poluição atmosférica por material particulado. Em relação aos adolescentes, dos 825 casos de atendimentos no ano, 80 deles foram consequência dos efeitos agudos dos poluentes. "Essa é a estimativa de efeito agudo e não contempla os efeitos acumulados da exposição ao poluente." (Braga et al., 2007).

Ainda de acordo com Braga et al. (2007), a qualidade do ar de Itabira era semelhante a da capital de São Paulo. Nessas cidades, estudos com hospitalizações por doenças cardiovasculares mostraram efeitos de magnitude semelhantes aos encontrados em Itabira.

O tráfego de veículos também é um fator que contribui com a poluição do ar de Itabira. Em uma cidade com mais de 100 mil habitantes, é natural que haja um fluxo grande de veículos, principalmente nas áreas centrais. A questão é que os motores à combustão emitem poluentes extremamente prejudiciais no ar. Inclusive, essas emissões podem produzir

vários efeitos adversos na saúde humana (Barros et al., 2004). Assim, sem dúvida, o tráfego aliado à mineração impacta negativamente e em grande escala o ar da região.

A partir das condições explícitas que evidenciavam a inferioridade da qualidade do ar no município, observa-se, na Figura 15, as "nuvens de poeiras" que se originam das minas e se espalham em direção a região urbana. Essas nuvens se agravam durante o período seco com muito vento, sendo frequentemente observada pelos moradores.

**Figura 15** – Nuvens de poeira ocorridas em Itabira no ano de 2018.



Fonte: Átila Lemos (2018).

As pesquisas apresentadas constataam os efeitos negativos que impactam na qualidade do ambiente e na saúde pública, principalmente na implicação de doenças respiratórias nos residentes do município de Itabira. A substância tóxica quando é inspirada é levada para as vias aéreas superiores podendo penetrar nos pulmões causando irritação nas mucosas.

Salienta-se que devido à grande área de contato entre a superfície do sistema respiratório e o ambiente, a qualidade do ar interfere diretamente na saúde respiratória. Além disso, uma quantidade significativa dos poluentes inalados atinge a circulação sistêmica através dos pulmões e pode causar efeitos deletérios em diversos órgãos e sistemas (Künzli et al., 2010 como citado em Arbex et al., 2012). O material particulado pode levar à irritação das vias aéreas, inflamação e aumento de reatividade brônquica, reduzir o transporte muco ciliar, com exacerbação de crises de asma brônquica, aumento das infecções respiratórias e piora da sibilância. Isto é, pode provocar uma redução da função dos pulmões e aumentar as complicações dos sintomas em pacientes com asma (Arbex et al., 2004; Souza et al., 2004; Schwartz et al., 1994).

Com a exposição aos poluentes no geral, acontece um crescimento na formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio que, juntos, induzirão um estresse das vias aéreas. Logo, os radicais livres que não são neutralizados pelas defesas do organismo iniciam uma resposta inflamatória com a liberação de quimiocinas, citocinas e moléculas de adesão (Künzli et al., 2010 como citado em Arbex et al., 2012).

Diante desta estreita relação entre o ambiente desequilibrado e a qualidade de vida saudável, surge a necessidade de monitorar e avaliar a qualidade do ar. Criando, então, estratégias destinadas à detecção precoce de processos poluidores, com o uso de aplicação de ferramentas de intervenção e controle de poluentes (Braga et al., 2007).

#### **4. Conclusão**

O uso dos líquens como bioindicadores da poluição atmosférica permitiu uma avaliação preliminar da qualidade do ambiente no município de Itabira/MG. Com baixo custo e maior facilidade de manuseio, o monitoramento passivo possibilitou diagnósticos precoces, mesmo quando os efeitos nocivos à saúde humana ainda não tenham sido evidenciados. A pesquisa forneceu importantes informações e abriu campo para outras possíveis análises sobre a qualidade do ar no município.

Como analisado no presente estudo, o ponto amostrado localizado mais próximo da área mineradora (ponto 4) é o mais precário em termos de qualidade do ar, contudo, todos os outros pontos também não apresentaram bons resultados. Sendo assim, sugere-se que a mineração pode ser a responsável pela precariedade das condições atmosféricas em Itabira/MG, e direta e indireta pode afetar a saúde humana. A topografia do município, com zonas de mineração em grandes altitudes que circundam os principais bairros proporciona a fácil dispersão de particulados. Moradores convivem com as chamadas ‘nuvens de poeira’ que saem das minas em direção ao centro, além também, de terem que varrer os seus quintais diariamente para retirada de fina camada de minério do chão, nos bairros próximos. E os impactos negativos da atividade não se restringem somente às zonas de exploração, pois o tráfego de veículos contribui para a dispersão da poeira. Para tal, é importante ressaltar que grande parte dos veículos, carros e ônibus estão diretamente relacionados com a atividade mineradora.

Outro fator que devemos mencionar, responsável pela dispersão de particulados, são as queimadas em morros e quintais abandonados, em períodos secos do ano. Porém, mais

estudos serão necessários para relacionar a qualidade atmosférica nessas áreas com a utilização dos líquens como bioindicadores.

O presente estudo complementou trabalhos anteriores realizados em outros pontos da cidade de Itabira, visando atualizar as informações sobre a condição atmosférica da cidade. E, dessa maneira, ao compará-los, nota-se que os dados se mostram hodiernos.

O monitoramento de poluentes atmosféricos utilizando os líquens pode ser um campo da análise ambiental, principalmente quando associado à qualidade de vida da população urbana itabirana. Sugere-se, portanto, estudos complementares utilizando a mesma metodologia do presente estudo, porém em outros pontos do município, a fim de futuramente mapear a qualidade do ar como ferramenta de gestão, utilizando tecnologias como os sistemas de informações geográficas (SIG's).

## Referências

Agência Nacional das Águas - ANA. (2016). *Uso e Ocupação do Solo em alta resolução espacial da Zona Urbana dos municípios com mais de 50.000 habitantes na Bacia do Rio Doce*. Recuperado de: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuid=7e4929ae-a1a3-4800-8e0f-b111835d8295>.

Andrade, M. S. B. (2010). Impactos socioeconômicos da grande mineração nos municípios de Minas Gerais. *Anais do XIV Seminário sobre a Economia Mineira*. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais. MG, Brasil. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/6237118.pdf>.

Arbex, M. A., Cançado, J. E., Pereira, L. A. A., Braga, A. L. F., & Saldiva, P. H. N. (2014). Queima da biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, 30(2), 158-175. Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n2/v30n2a15>.

Arbex, M. A., Santos, U. P., Martins, L. C., Saldiva, P. H. N., Pereira, L. A. A., & Braga, A. L. F. (2012). A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, 38(5). Recuperado de: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-37132012000500015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132012000500015&lng=en&nrm=iso).

Barros, N., Bras, C., & Fontes, T. (2004). Impacto na qualidade do ar na saúde pública das grandes linhas de tráfego. *Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia*, Porto, 1, 139-142. ISSN 1646-0499. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10284/604>.

Braga, A. L. F., Pereira, L. A. A., Procópio, M., André, P. A., & Saldiva, P. H. N. (2007). Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 23(4), 570-578. Recuperado de: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2007001600017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2007001600017&lng=en&nrm=iso).

Brasil, (2019). *Ministério de Minas e Energia estabelece eixos estruturantes para o setor mineral*. Ministério de Minas e Energia. Recuperado de: [www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-estabelece-eixos-estruturantes-para-o-setor-mineral](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-estabelece-eixos-estruturantes-para-o-setor-mineral).

Carneiro, R. M. A. (2004). *Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para saúde da comunidade*. (Tese mestrado em Enfermagem em Saúde Pública). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-19102004-170613/en.php>.

Consultoria e Engenharia do Meio Ambiente (CEMA). (1996 jan.). *Relatório e Plano de Controle Ambiental: Distrito Ferrífero de Itabira*. Itabira: Companhia Vale do Rio Doce.

Coccaro, D. M. B. (2001). *Estudo da determinação de elementos-traço em líquens para monitoração ambiental*. (Tese mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de: [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Daniela%20Maria%20Bertero%20Coccaro\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Daniela%20Maria%20Bertero%20Coccaro_M.pdf).

Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*, Italy, 114, 471-492. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/11764262\\_Biological\\_monitoring\\_lichens\\_as\\_bioindicators\\_of\\_air\\_pollution\\_assessment\\_-\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/11764262_Biological_monitoring_lichens_as_bioindicators_of_air_pollution_assessment_-_A_review).



Cunha, M. H. A. (2005). *Biomonitoramento da qualidade do ar em Vertente do Lério – PE, e sua correlação com a ocorrência de doenças pulmonares*. (Tese mestrado em Gestão Políticas Ambientais). Universidade Federal de Pernambuco Recife, PE, Brasil. Recuperado de: [https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6649/1/arquivo8206\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6649/1/arquivo8206_1.pdf).

Engecorps. (2015). *Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Itabira: Produto 3 – Diagnóstico Técnico Participativo dos Serviços de Saneamento Básico*. Itabira, MG, Brasil. Recuperado de: <http://www.itabira.mg.gov.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/Produto-3.pdf>.

Ferreira, A. G. C. (2015). *Mineração em Serra tanto bate até que seca: a presença da Vale em Itabira para além do desenvolvimento dos conflitos ambientais*. (Trabalho de conclusão de curso em Ciências Sociais). Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. Recuperado de: <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2015/12/Monografia-AnaGabriela-.pdf>.

Fellenberg, G. (1980). *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo: Springer Universidade de São Paulo.

Ferreira, E. J. P. D. (2008). *Biomonitorização da qualidade do ar: Caso estudo na envolvente da fábrica de celulose do Caima*. (Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal. Recuperado de: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/1909/1/Jofre\\_2008.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/1909/1/Jofre_2008.pdf)

Freitas, C. M., Silva, M. A., & Menezes, F. C. (2016). O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. *Ciência e Cultura*. 68(3), 25-30. Recuperado de: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252016000300010](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000300010). DOI: 10.21800/2317-66602016000300010

Galbiatti, H. F. (2006). *Ruptura oblíqua condicionada por falha transcorrente na falha a céu aberto da Mina do Cauê, Itabira, MG*. 113f. (Dissertação mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, Brasil. Recuperado

de: [http://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo\\_2014/teses/arquivos/henry-francisco-galbiatti.pdf](http://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/henry-francisco-galbiatti.pdf).

Google. *Google Maps*. (2019) Nota (Município de Itabira, Minas Gerais). Recuperado de: <https://www.google.com.br/maps>.

Google. *Google Earth*. (2019). Versão 7.1.5.1557.2017. Nota (Município de Itabira, Minas Gerais). Recuperado de: <https://www.earth.google.com>.

Gonçalves, F. V., Bruno, C., Bruno, C., & Souza, C. R. (2007). Utilização de líquens como bioindicadores da qualidade atmosférica na cidade de Uberlândia/MG. *Congresso de Ecologia do Brasil. Sociedade de Ecologia do Brasil Caxambu*, MG, Brasil, 8. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/256168672\\_utilizacao\\_de\\_liquens\\_como\\_bioindicadores\\_da\\_qualidade\\_atmosferica\\_na\\_cidade\\_de\\_uberlandia\\_mg](https://www.researchgate.net/publication/256168672_utilizacao_de_liquens_como_bioindicadores_da_qualidade_atmosferica_na_cidade_de_uberlandia_mg).

Honda, N. K., & Vilegas, W. (1998). A química dos líquens. *Química Nova*, 21(6), 110-125. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1145.pdf>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. (2020). *Informações estatísticas – Cidades: Itabira*. Recuperado de: <http://cod.ibge.gov.br/2VVIW>.

Kaffer, M. I. (2011). *Biomonitoramento da qualidade do ar com uso de líquens na cidade de Porto Alegre, RS*. 220f. (Tese doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociência, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Recuperado de: [www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30187/000779906.pdf?sequence=1&isAllowed=](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30187/000779906.pdf?sequence=1&isAllowed=)

Klumpp, A., Ansel, W., Klumpp, G., & Fomin, A. (2001). Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras. *Revista Brasileira de Botânica*, 24(4), 511-518. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042001000500005>.

Leonardo, L. (2010). *Utilização de líquens como bioindicadores de contaminação por radionuclídeos naturais e metais em região impactada por tenorm*. (Tese doutorado em

Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. Recuperado de: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-20062011-151917/pt-br.php>.

Lemos, A. (2018, dez). Itabira recebeu poeira da Vale neste sábado. *Átila Lemos*. Itabira. Recuperado de: <http://atilalemos.com.br/2018/12/itabira-recebeu-poeira-da-vale-neste-sabado>.

Martins, S. M. A., Käffer, M. I., & Lemos, A. (2008). Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil. *Hoehnea*, 35(3), 425-433, Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/hoehnea/v35n3/v35n3a11.pdf>.

Milanez, B. Grandes minas em Congonhas (MG), mais do mesmo? In Fernandes, F. R. C.; Enríquez, M. A. R. S.; Alamino, R. C. J. (Eds.). (2011). *Recursos minerais & sustentabilidade territorial, 1*, Grandes minas, pp. 199-228. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, Recuperado de: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1168/1/Grandes%20minas%20em%20Congonhas.pdf>.

Milanez, B., & Guimarães, C. L. (2017). Mineração, Impactos locais e os desafios da diversificação: revisitando Itabira. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, 41, 215-236. Recuperado de: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/49360>.

Moreira, F. D., Fonseca, M. M., Ferreira, L. F., Aguiar, R. A., Santos, S. C., Carpanez, T. G., & Santiago, I. F. (2017). Uso de líquens como bioindicadores da qualidade do ar em centro urbano, Juiz de Fora/MG. *6 Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. pp. 198-202. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/325732823\\_uso\\_de\\_liquens\\_como\\_bioindicadores\\_da\\_qualidade\\_do\\_ar\\_em\\_centro\\_urbano\\_juiz\\_de\\_fora\\_mg](https://www.researchgate.net/publication/325732823_uso_de_liquens_como_bioindicadores_da_qualidade_do_ar_em_centro_urbano_juiz_de_fora_mg).

Moura, J. M., Fernandes, A. L., & Silva, J. C. (2012) Utilização de líquens como bioindicadores de poluição atmosférica na cidade de Cuiabá-MT. *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos*, Goiânia, GO, Brasil. 3. Recuperado de: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VI-016.pdf>.

Peiter, P., & Tobar, C. (1998). Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos a saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro*, 14(3), 473-485. Recuperado de: [www.scielo.org/scielo.php?pid=S0102-311X1998000300003&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0102-311X1998000300003&script=sci_arttext&tlng=es).

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pereira, H. R., & Quintão, P. L. (2013). *Poluição atmosférica: Uma análise comparativa entre a atividade mineradora no município de Itabira/MG e a atividade siderúrgica no município de Barão de Cocais/MG utilizando líquens como bioindicadores*. (Trabalho de conclusão de curso Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências Humanas de Itabira, Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Itabira, MG, Brasil.

Piqué, M. P. R. *et al.* (2005). Biomonitoramento, instrumento pedagógico a serviço da sustentabilidade urbana. *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Campina Grande, PB, Brasil, 33. Recuperado de: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/14/artigos/SP-5-92636934804-1118243323383.pdf>.

Santi, A. M. M., Suzuki, R. Y., & Oliveira, R. G. (2000). Monitoramento da qualidade do ar no município de Itabira, MG: avaliação dos resultados em anos recentes (1997/99) e das perspectivas de modernização da rede de monitoramento no contexto do licenciamento ambiental corretivo da CVRD. *Anais do Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Porto Alegre, RS, Brasil. 27.

Santoni, C. S., & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores em la provincia de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(1), 49-58. Recuperado de: [www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/viewFile/22522/21666](http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/viewFile/22522/21666).

Santos, K. S., Gomes, N. C., Oliveira, G. A. Silva, J. J. R., Alvarenga, C. A., & Belardi, R-M. (2018). Líquens utilizados como bioindicadores da qualidade do ar do município minerador

de Itabira. *Research, Society and Development*, 7(12), 01-18, ISSN e4712480. DOI: 10.33448/rsd-v7i12.480.

Santos, T. T. T., Diniz, E. S., Araújo, G. C. N., Pereira, M. J. T., Silva, G. P. M., & Alves, A. O. (2015). Líquens como bioindicadores da qualidade do ar na Avenida Conde da Boa Vista e Praça Oswaldo Cruz, Recife/PE. *Revista do Jardim Botânico de Recife*, 1(2), 61-74. Recuperado de: <http://arrudea.recife.pe.gov.br/arrudea/index.php/Arrudea/article/view/11/8>. DOI: <http://dx.doi.org/10.2446/arrudea.v1i2.11>.

Schwartz, J., Dockery, D. W., Neas, L. M., Wypij, D., Spengler, J. H., Koutrakis, P., & Je Ferris, B. G. (1994). Acute effects of summer air pollution on respiratory symptom reporting in children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 150(5). Recuperado de: <https://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/ajrccm.150.5.7952546>.

Silva, A. K. O., Pereira, I. M. C., Silva, N. H., Motta-Fiho, F. O., & Pereira, E. C. (2014 set.). Líquens utilizados como biomonitores da qualidade do ar no Parque da Jaqueira – Recife – Pernambuco. *Geo UERJ*, 1(25) 239-256. Recuperado de: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/5690>. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2014.5690>.

Silva, J. P. S. (2007 nov.). Impactos ambientais causados por mineração. *Revista Espaço da Sophia*, 8 (1). Recuperado de: <https://docplayer.com.br/3846820-Impactos-ambientais-causados-por-mineracao.html>.

Silva, M. Z. (2004). *A Vale do Rio Doce na estratégia do desenvolvimentismo brasileiro*. Vitória: Editora da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

Silva, R. A. (2002). *Cladonia verticillaris (Líquén), como biomonitor padrão da qualidade do ar no Distrito de Jaboatão – PE*. (Dissertação de mestrado em Gestão e Política Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. Recuperado de: [https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6817/1/arquivo8344\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6817/1/arquivo8344_1.pdf).

Soares, C. S., Morais, I. C. M., Maciel, J. R., Magrini, L. C., & Martins, Y. T. (2016). Uso dos líquens como bioindicadores da qualidade do ar em Três Rios/Rio de Janeiro. *Anais 5ª*

SIGAB, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. p. 259-267. Recuperado de: [www.itr.ufrrj.br/sigabi/wp-content/uploads/5\\_sigabi/Sumarizado/37.pdf](http://www.itr.ufrrj.br/sigabi/wp-content/uploads/5_sigabi/Sumarizado/37.pdf).

Souza, R., Jardim, C., Salge, J. M., & Carvalho, C. R. R. (2004). Lesão por inalação de fumaça. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 30(6), 557-565. Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n6/a11v30n6>.

Spielmann, A. A., & Marcelli, M. P. (2006). *Fungos Liquenizados (Liquens)*. (Tese de doutorado). Instituto de Botânica. Programa de Pós- Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de: [http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/Web/pdf/Fungos\\_Liquenizados\\_Spielmann\\_&\\_Marcelli.pdf](http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/Web/pdf/Fungos_Liquenizados_Spielmann_&_Marcelli.pdf).

Sumita, N. M., Mendes, M. E., Macchione, M., Guimarães, E. T., Lichtenfels, A. J. F. C., Lobo, D-J, A., Saldiva, P. H. N., & Saiki, M. (2003). Tradescantia pallida cv purpurea Boom in the characterization of air pollution by accumulation of trace elements. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53, 574-579. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12774990/>. DOI: 10.1080 / 10473289.2003.10466197.

Vale S/A. *Mineração*. Recuperado de: [www.vale.com/brasil/business/mining](http://www.vale.com/brasil/business/mining).

Werneck, G. A. F. (1995). *Prevalencia y factores de riesgo para asma y otras enfermedades de origem alergico en niños escolares en la ciudad de Itabira, en Minas Gerais - Brasil*. (Dissertação mestrado em Saúde Ambiental). Escola de Saúde Pública de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Anne Danielle Mendes Martins da Costa – 35%

Thiara de Freitas Silva – 35%

Cibele Andrade de Alvarenga – 20%

Arthur Mendes Guerra Martins da Costa – 10%