

Distribuição espacial de variáveis do clima e do solo: um estudo geoestatístico

Autor: Rayner Sversut Barbieri

Tesis doctoral UDC / Año 2023

Directores: Rafael Montanari

Eva Vidal Vázquez

Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal

Tesis Doctoral

**Distribuição espacial de variáveis do clima e do
solo: um estudo geoestatístico**

Rayner Sversut Barbieri

Enero 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Vanderley Barbieri e Rosimar Sversut Barbieri, que me educaram e me deram a oportunidade para mais esta conquista em minha vida, que nos momentos difíceis, me compreenderam e me incentivaram, demonstrando todo carinho, respeito, confiança e amor que sentem por mim.

Aos meus avós, principalmente minha avó Cleis Menani Sversut que nos deixou nesse período de doutorado. Com a senhora fica a minha eterna gratidão, amor, carinho e respeito, pela mulher forte e guerreira que sempre foi.

Ao meu irmão, Renan Sversut Barbieri, meu melhor amigo. Irreverente, parceiro, conselheiro e amoroso. Tem um coração enorme e sou privilegiado de crescer, conviver e ser tão próximo de você.

AMO VOCÊS!!!

AGRADECIMENTOS

Gratidão. Essa palavra resume.

Até certo ponto não imaginava conquistar algo assim, no entanto quando colocamos objetivos, metas e desafios em nossas vidas tudo acontece. Cercado de pessoas excelentes e ótimos profissionais fica mais fácil, sem todos eles, seria impossível.

Agradeço a Deus em primeiro lugar sempre. Minha fé sempre me guiou e traçou o meu caminho. Se chego aqui hoje é porque o Senhor permitiu.

À minha família pelo apoio emocional, afetivo, psicológico e racional. Sem vocês seria impossível.

Ao Professor Rafael Montanari por não medir esforços, não medir atenção e trabalho. Desde o início, quando o procurei em meu mestrado, sempre me proporcionou as melhores condições de pesquisa e ensino. Sempre foi positivo, consciente e parceiro. Sempre me desejou o melhor e me apoiou em todas minhas escolhas. Te agradeço muito por tudo, palavras não completam. Te desejo, também, tudo de melhor, tenho orgulho de ser seu orientado e que posso te considerar como amigo.

Ao Professor Antonio Paz González e Professora Eva Vidal Vásquez pelos ensinamentos e abertura de novas oportunidades. Sempre me deu liberdade de escolhas, atitudes e me guiou rumo a um objetivo.

Ao companheiro Dr. Marcelo Germán Wilson e a todo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Recursos Naturales pelo apoio na elaboração desta Tese e publicação de artigo científico.

Aos funcionários da UNESP, UDC e INTA.

À Fundación Amancio Ortega e fomento da INDITEX pelo apoio na elaboração desta tese.

Aos amigos que sempre estiveram comigo. Muito longe de serem menos importantes, amo vocês!

O presente trabalho foi realizado com apoio e financiamento por meio da convocatória INDITEX-UDC 2018.

^aDeep in my heart there is a trembling question.
Still I am sure that the answer, answer is going to come somehow.
There must be peace and understanding sometime^a

Walter Earl Brown

“Enjoy yourself, it's later than you think “

Carl Sigman

RESUMO

Os objetivos desse trabalho foram: 1) gerar informações por meio da análise de variabilidade e estabelecimento da estrutura de dependência espacial e correlação linear de alguns atributos do solo, a fim de auxiliar no planejamento de atividades agrícolas em seis cidades na província de El Oro, Equador, 2) avaliar se a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos melhoram a resistência do solo à penetração de raízes (RP) em curto prazo e descrever sua variabilidade espacial no horizonte de superfície de um solo sob plantio direto, na província de Entre Rios, Argentina, 3) analisar a distribuição espacial das temperaturas médias, máximas e mínimas na Comunidade Autónoma de Galícia, Espanha. A necessidade de estudos de solo na província de El Oro, Equador, possibilitou relizar esse estudo e gerar informações por meio da análise de variabilidade e estabelecimento da estrutura de dependência espacial e correlação linear de alguns atributos do solo, a fim de auxiliar no planejamento de atividades agrícolas na província. Em todas elas foram realizadas análise descritiva inicial, geoestatística e matriz de correlação linear simples com base em uma malha com 368 pontos amostrais. O maior alcance foi indicado pelo magnésio (41,500 m) e o menor pelo cobre (7,740 m). O par Mg versus soma de bases foi a maior correlação linear dentre todos os atributos analisados. O pH se destacou como intermediador e influenciador de outros atributos do solo. A busca pelo entendimento da influência dos fertilizantes orgânicos e inorgânicos na Resistência do solo à penetração de raízes (RP) na província de Entre Rios, Argentina, gerou dados importantes. Os quatro tratamentos testados, que consistiram em aplicações de superfície com: cama de frango (PL) como corretivo orgânico, gesso (G) como corretivo inorgânico, uma combinação de ambos (PL+G), reaplicação de PL na metade das parcelas PL+G e PL, e controle (T), foram avaliados por meio de análise descritiva, variabilidade espacial e dependência espacial entre unidades amostrais. A maior RP foi encontrada no tratamento T (1,96 MPa) e a menor no PL+G+PL (0,21 MPa). A reaplicação sobre PL não apresentou efeitos sobre os valores de RP. No entanto, a reaplicação sobre PL+G causou efeitos em todas as faixas de RP, sendo que, a superfície representada pelo intervalo 1,2 - 1,8 MPa diminuiu de 54,17 para 6,65%. Ao analisar a distribuição espacial da Temperatura média na região de

galícia, foram utilizados dados de temperatura média do ar medidos em escala mensal, durante os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016 fornecidos pelas redes de 167 estações meteorológicas de AEMET e METEOGALICIA. As coordenadas geográficas permitem o cálculo do semivariograma experimental e interpolações usando krigagem com deriva externa L. Os semivariogramas revelaram que o modelo esférico foi ajustado à série de dados de temperatura média mensal com total frequência. A temperatura média e média mínima do mês de junho de 2014 apresentou maior alcance (4464735,39 metros). As validações dos meses de março/2013, janeiro/2014 e fevereiro/2014 apresentaram melhor ajuste ($R = 0,98$) para a variável de temperatura média. Com relação à variável de temperatura média mínima os meses de janeiro/2014 e fevereiro/2014 também apresentaram melhor ajuste ($R = 0,98$). Por fim, o mês de janeiro/2014 mostrou melhor ajuste entre todos para a variável de temperatura média máxima ($R = 0,99$). A partir da técnica geoestatística foi possível analisar a variabilidade espacial das variáveis de solo e clima.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Geoestatística, Krigagem, Semivariograma, Variabilidade espacial

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo consistieron en: 1) generar información a través del análisis de la variabilidad y el establecimiento de la estructura de dependencia espacial y de la correlación lineal de algunas propiedades del suelo, con el fin de ayudar en la planificación de actividades agrícolas en seis ciudades de la provincia de El Oro, Ecuador, 2) evaluar si la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos mejora la resistencia del suelo a la penetración de raíces (RP) en a corto plazo y describir su variabilidad espacial en el horizonte superficial de un suelo bajo labranza cero, en la provincia de Entre Ríos, Argentina y 3) analizar la distribución espacial de las temperaturas medias, máximas y mínimas en la Comunidad autónoma de Galicia, España. La realización de estudios de suelos en la provincia de El Oro, Ecuador, abrió la posibilidad de generar información para el análisis de la variabilidad y establecimiento de la estructura de dependencia espacial y correlación lineal de algunas propiedades del suelo, con el fin de ayudar en la planificación de las actividades agropecuarias en la provincia. Para todas las propiedades estudiadas se llevó a cabo análisis descriptivo inicial, matriz de correlación lineal simple y análisis geoestadístico a partir de una red de muestreo con 368 puntos. El rango o alcance de dependencia espacial más largo fue verificado para el magnesio (41,500 m) y el más corto por cobre (7,740 m). La correlación lineal más alta entre todos los pares de atributos analizados se obtuvo para Mg versus suma de bases. El pH se correlacionó con las restantes propiedades estudiadas, poniendo de manifiesto la influencia que ejerce sobre otras propiedades del suelo. Se llevó a cabo un ensayo para investigar la influencia de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la resistencia del suelo a la penetración de raíces (RP) en la provincia de Entre Ríos, Argentina, que generó datos importantes. Los cuatro tratamientos ensayados, consistieron en aplicaciones superficiales de: gallinaza (PL) como corrector orgánico, yeso (G) como corrector inorgánico, combinación de ambos (PL+G), segunda aplicación de PL en la mitad de las parcelas PL+ G y PL, y control (T). Los datos obtenidos se evaluaron mediante análisis descriptivo, variabilidad espacial y dependencia espacial en las parcelas experimentales. El valor de PR más alto se encontró en el tratamiento testigo, T,

(1,96 MPa) y el más bajo en PL+G+PL (0,21 MPa). La segunda aplicación de PL no mostró efectos sobre los valores de PR. Sin embargo, la segunda dosis sobre PL+G causó efectos en todos los rangos de PR, de modo que el área encontrada en el intervalo de 1,2 - 1,8 MPa disminuyó de 54,17 a 6,65%. Para el análisis de la distribución espacial de la temperatura del aire en la Comunidad Autónoma de Galicia, se utilizaron los datos de temperatura media, medias de la máxima y media de las mínimas medidos a escala mensual durante los años 2013, 2014, 2015 y 2016, que fueron proporcionados por una red de 167 estaciones meteorológicas de AEMET y METEOGALICIA. Usando las coordenadas geográficas de cada estación, se pudo calcular el semivariograma experimental y efectuar interpolaciones mediante kriging con deriva externa. Los semivariogramas obtenidos revelaron que el modelo esférico se ajustó a las series de datos de temperatura medias mensuales con una mayor frecuencia. La temperatura media y media de las mínimas del mes de junio de 2014 presentó el mayor rango (4464735,39 m). Las validaciones para los meses de marzo/2013, enero/2014 y febrero/2014 presentaron el mejor ajuste ($R = 0,98$) para la temperatura media. En cuanto a la temperatura media de las mínimas, los meses de enero/2014 y febrero/2014 también presentaron el mejor ajuste ($R = 0,98$); finalmente, el mes de enero/2014 presentó el mejor ajuste entre todos para la temperatura media máxima variable ($R = 0.99$) Mediante el uso de técnicas geoestadísticas se pudo analizar la variabilidad espacial de las series de datos suelo y clima medidos a diferentes escalas.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Geoestadística, Kriging, Semivariograma, Variabilidad espacial

RESUMO (GALEGO)

Os obxectivos deste traballo consistiron en: 1) xerar información a través da análise da variabilidade e o establecemento da estrutura de dependencia espacial e da correlación lineal dalgunhas propiedades do solo, co fin de axudar na planificación de actividades agrícolas en seis municipios da provincia de El Oro, Ecuador, 2) avaliar se a aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos mellora a resistencia do chan á penetración de raíces (RP) na curto prazo e describir a súa variabilidade espacial no horizonte superficial dun solo baixo labranza cero, na provincia de Entre Ríos, Arxentina e 3) analizar a distribución espacial das temperaturas medias, máximas e mínimas na Comunidade autónoma de Galicia, España. A realización de estudos de solos na provincia de El Oro, Ecuador, abriu a posibilidade de xerar información para a análise da variabilidade e establecemento da estrutura de dependencia espacial e correlación lineal dalgunhas propiedades do solo, co fin de axudar na planificación das actividades agropecuarias na provincia. Para todas as propiedades estudadas levouse a cabo análise descritiva inicial, matriz de correlación lineal simple e análise xeoestadístico a partir de una rede de mostraxe con 368 puntos. O rango ou alcance de dependencia espacial máis longo foi verificado para o magnesio (41,500 m) e o máis curto para cobre (7,740 m). A correlación lineal máis alta entre todos os pares de atributos analizados obtívose para Mg versus suma de bases. O pH se correlacionou coas restantes propiedades estudadas, pondo de manifesto a influencia que exerce sobre outras propiedades do solo. Levouse a cabo un ensaio para investigar a influencia dos fertilizantes orgánicos e inorgánicos na resistencia do solo á penetración de raíces (RP) na provincia de Entre Ríos, Arxentina, que xerou datos importantes. Os catro tratamentos ensaiados, consistiron en: aplicacións superficiais de: galiñaza (PL) como corrector orgánico, xeso (G) como corrector inorgánico, combinación de ambos os (PL+G), segunda aplicación de PL na metade das parcelas PL+ G e PL, e control (T). Os datos obtidos avaliáronse mediante análise descritiva, variabilidade espacial e dependencia espacial nas parcelas experimentais. O valor de PR máis alto atopouse no tratamento testemuña, T, (1,96 MPa) e o máis baixo en PL+G+PL (0,21 MPa). A segunda

aplicación de PL non mostrou efectos sobre os valores de PR. Con todo, a segunda dose sobre PL+G causou efectos en todos os rangos de PR, de modo que a área atopada no intervalo de 1,2 - 1,8 MPa diminuíu de 54,17 a 6,65%. Para a análise da distribución espacial da temperatura do aire na Comunidade Autónoma de Galicia, utilizáronse os datos de temperatura media, medias da máxima e media das mínimas medidos a escala mensual durante os anos 2013, 2014, 2015 e 2016, que foron proporcionados por unha rede de 167 estacións meteorolóxicas de AEMET e METEOGALICIA. Usando as coordenadas xeográficas de cada estación, púidose calcular o semivariograma experimental e efectuar interpolacións mediante kriging con deriva externa. Os semivariogramas obtidos revelaron que o modelo esférico axustouse ás series de datos de temperatura medias mensuais cunha maior frecuencia. A temperatura media e media das mínimas do mes de xuño de 2014 presentou o maior rango (4464735,39 m). As validacións da temperatura media para os meses de marzo/2013, xaneiro/2014 e febreiro/2014 presentaron o mellor axuste ($R = 0,98$). En canto á temperatura media das mínimas, os meses de xaneiro/2014 e febreiro/2014 tamén presentaron o mellor axuste ($R = 0,98$); finalmente, o mes de xaneiro/2014 presentou o mellor axuste entre todos para a temperatura media máxima variable ($R = 0.99$) Mediante o uso de técnicas xeoestadísticas púidose analizar a variabilidade espacial das series de datos adoito e clima medidos a diferentes escalas.

Palabras chave: Agricultura de precisión, xeoestadística, Kriging, Semivariograma, Variabilidade espacial

ABSTRACT

The aims of this work were: 1) to generate information through variability analysis and establishment of the structure of spatial dependence and linear correlation of some soil attributes, in order to assist in the planning of agricultural activities in six cities in the province of El Oro, Ecuador, 2) to evaluate if the application of amendments improves PR in the short term and describes the spatial variability of PR in the surface horizon of a soil under no-tillage, in the province of Entre Rios, Argentina, and 3) to analyze the spatial distribution of average, maximum and minimum temperatures in the region of Galicia, Spain. The need for soil studies in the province of El Oro, Ecuador, made it possible to carry out this study and generate information through the analysis of variability and establishment of the structure of spatial dependence and linear correlation of some soil attributes, in order to assist in the planning of agricultural activities in the province. In all of them, initial descriptive analysis, geostatistics and simple linear correlation matrix were performed based on a mesh with 368 sample points. The longest range was indicated by magnesium (41.500 m) and the shortest by copper (7.740 m). The Mg pair versus sum of bases was the highest linear correlation among all analyzed attributes. The pH stood out as an intermediary and influencer of other soil attributes. The quest for understanding the influence of organic and inorganic fertilizers on penetration resistance (PR) in the province of Entre Rios, Argentina, generated important data. The four treatments tested, which consisted of surface applications with: poultry litter (PL) as organic amendment, gypsum (G) as inorganic amendment, a combination of both (PL+G), reapplication of PL over half of plots PL+G and PL, and control (T), were evaluated using descriptive analysis, spatial variability and spatial dependence between sample units. The highest PR was found in the T treatment (1.96 MPa) and the lowest in the PL+G+PL (0.21 MPa). The reapplication over PL+G caused effects in all PR ranges, with the surface represented by the range 1.2 – 1.8 MPa decreased from 54.17 to 6.65%. When analyzing the spatial distribution of the average temperature in the Galicia region, data on average air temperature measured on a monthly scale during the years 2013, 2014, 2015 and 2016, provided by the networks of 167 meteorological stations from AEMET and METEOGALICIA. The

geographic coordinates allow the calculation of the experimental semivariogram and interpolations using kriging with external drift L. The semivariograms revealed that the spherical model was adjusted to the monthly average temperature data series with full frequency. The average and minimum average temperature for the month of June 2014 showed the greatest range (4464735.39 meters). The validations for the months of March/2013, January/2014 and February/2014 showed the best fit ($R = 0.98$) for the variable of average temperature. Regarding the minimum average temperature variable, the months of January/2014 and February/2014 also showed the best adjustment ($R = 0.98$). Finally, the month of January/2014 showed the best adjustment among all for the maximum average temperature variable ($R = 0.99$). Using the geostatistical technique, it was possible to analyze the spatial variability of soil and climate variables.

Keywords: Geostatistics, Kriging, Precision agriculture, Semivariogram, Spatial variability

RESUMEN EXTENSO

INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En las últimas décadas, la agricultura moderna se ha convertido en una actividad que cada vez requiere una gestión más intensiva de sus procesos productivos. El gran avance de las nuevas técnicas de manejo de los cultivos, así como los nuevos equipos y los insumos más eficientes han proporcionado un aumento considerable del rendimiento de los cultivos, que se ha apoyado en la agricultura de precisión. La agricultura de precisión es un sistema de gestión agrícola que tiene en cuenta la variabilidad espacial y temporal de la unidad productiva y tiene como objetivo aumentar el rendimiento económico a lo largo del tiempo, manteniendo la sostenibilidad y minimizando las consecuencias negativas para el medio ambiente. El estudio de la variabilidad espacial del suelo y el clima es muy importante para la planificación y análisis de la investigación agrícola. El uso de técnicas geoestadísticas permite el cálculo y la modelización de semivariogramas, que cuantifican la dependencia espacial de los parámetros del suelo y del clima. Esta herramienta cuenta con una función numérica denominada semivarianza, que evalúa la dependencia espacial de un atributo en función de la distancia entre puntos muestreados y requiere como dato de entrada las coordenadas geográficas de los puntos muestreados. Los gráficos llamados semivariogramas, generados con datos de semivarianza, demuestran más claramente la dependencia de un atributo en función de la distancia entre los puntos muestreados. Para estimar valores no muestreados entre puntos, es posible interpolar los resultados medidos en puntos vecinos, utilizando la técnica denominada kriging. En base a las anteriores consideraciones, el objetivo de este trabajo fue analizar tres casos de dependencia espacial, dos de ellos en variables del suelo y el tercero en una serie de datos climáticos. En primer lugar, se analizó la estructura de la dependencia espacial y la correlación lineal de algunos atributos del suelo, con el fin de ayudar en la planificación de actividades agrícolas en seis zonas de la provincia de El Oro, Ecuador. En segundo lugar, se evaluó si la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos

mejora la resistencia del suelo a la penetración de raíces (RP) a corto plazo y se describió su variabilidad espacial en el horizonte superficial de un Aquic Argiudoll bajo labranza cero, en la provincia de Entre Ríos, Argentina. En tercer lugar, se analizó la distribución espacial de las temperaturas medias, máximas y mínimas a escala mensual y durante cuatro años en la Comunidad Autónoma de Galicia.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN LA REGIÓN DE EL ORO, ECUADOR

En el Ecuador se han descrito 25 tipos de clima y diferentes órdenes de suelo; el 50% de los suelos son superficies y están afectados por procesos de erosión; de este modo se estima en un 17% el deterioro ocasionado por la erosión hídrica en cuencas hidrográficas, en un 15% el asociado a la desertificación y en un 9% el debido a la pérdida excesiva de nutrientes del suelo. La provincia de El Oro es una de las 24 provincias que conforman la República del Ecuador, ubicada al sur del país, en una zona conocida como región litoral o costa El Oro comprende zonas montañosas, bosques húmedos, bosques secos, costas y pequeñas islas. El gobierno ecuatoriano estableció la necesidad de incorporar un enfoque territorial con una visión de desarrollo. Los estudios de suelos, en particular los estudios geoestadísticos, permiten determinar la distribución geográfica de las propiedades físicas y químicas del suelo, con el objetivo de su conservación y manejo. Se evaluaron atributos químicos y físicos de seis municipios de la provincia de El Oro: Huaquillas, Machala, Chilla, Atahualpa, Portovelo y Las Lajas. Se recolectaron muestras de suelo cada dos kilómetros en forma de red regular o cuasi-regular con pequeños cambios en campo con barrena tipo holandés y GPS para georreferenciación, con una profundidad de 0-0.20 m, totalizando así 368 puntos de muestreo. Se analizaron propiedades generales del suelo. Se analizaron un total de 14 propiedades químicas en cada punto de muestreo, incluyendo propiedades generales, macroelementos y microelementos. Para cada atributo del suelo estudiado se realizó el clásico análisis descriptivo. Para probar la hipótesis de normalidad o lognormalidad, se utilizó la prueba de Shapiro y Wilk al 5% de significación. Además, se creó una matriz de correlación con el fin de analizar dependencias lineales simples para las combinaciones, dos a dos, de todos los atributos

estudiados. El componente espacial se caracterizó individualmente por la dependencia espacial entre las muestras, las cuales se analizaron mediante el método del semivariograma. Los semivariogramas, el ajuste del modelo y la interpolación por kriging ordinario se realizaron con el programa GS+ versión 9.0, "Geoestadística para las Ciencias Ambientales". De acuerdo a los coeficientes de variación de los atributos analizados, con excepción de pH y arena que presentaron los valores más bajos (22,02 y 25,42% respectivamente), las restantes propiedades presentaron una elevada variabilidad con valores de este parámetro comprendidos entre 33,98 % para Ca de cambio y 90,52 % para K de cambio; esta variabilidad también se evidenció por la diferencia entre valores mínimos y máximos. Las variaciones en los atributos químicos del suelo son el resultado de la influencia de un conjunto de propiedades y factores del suelo, la planta y el medio ambiente, que también intervienen en los procesos de formación del suelo y en el manejo del mismo. La mayoría de los semivariogramas se ajustaron al modelo esférico. El modelo esférico es uno de los que presenta mejores ajustes a los datos experimentales, en la práctica y se caracteriza por alcanzar la meseta a una distancia finita, siendo indicativo de fenómenos continuos. El contenido de zinc presentó el mayor coeficiente de determinación espacial ($R^2 = 0,959$), con un rango o alcance de 8,850 m y ADE de 76,7%. Por otra parte, el mayor rango se obtuvo para el contenido de Mg (41,500 m), por lo que las determinaciones realizadas a distancias mayores a la de los suelos aquí estudiados, no tienen dependencia espacial y, por ello, se deben de realizar muestreos y estadísticas descriptivas adaptadas a este resultado. El menor alcance se obtuvo para el contenido en Cu (7,740 m), por lo que, con el objetivo de ayudar a proyectos futuros, en las mismas condiciones de este estudio, los valores de rango utilizados en los análisis geoestadísticos, la distancia entre muestras, no deben exceder los 7,740 m. De acuerdo con los mapas kriging con la distribución espacial de las propiedades del suelo, se pudo verificar que hubo una gran variación de los mismos en las zonas estudiadas, confirmando los resultados obtenidos a partir de los coeficientes de variación verificados en el análisis descriptivo. Los mapas de distribución espacial obtenidos a través de la interpolación de datos, utilizando el método del kriging ordinario, son esenciales para visualizar zonas de manejo específicas, que, a su vez, proporcionan información importante para manejar con criterios de precisión

la agricultura y la ganadería, y permiten la aplicación de insumos con tasas variables, encaminadas a homogeneizar la fertilidad del suelo. Con respecto a los mapas presentados, Las Lajas, Atahualpa y Chilla mostraron alta similitud espacial a efectos prácticos de manejo de suelos entre pH, SB, Mn, Mg y Ca. Áreas con alta acidez ($\text{pH} < 5.0$) y baja SB evidencian la necesidad de encalado, con el fin de homogeneizar el estatus de la fertilidad del suelo y brindar mejores condiciones para las actividades agrícolas, ya que la mayoría de los suelos analizados en estos municipios se encuentran bajo pastoreo y probablemente degradados, de donde resulta en un entorno muy heterogéneo. Los mapas de kriging fueron importantes para determinar estas zonas específicas de manejo del suelo, principalmente en relación con el pH y la SB. El par de variables Mg versus SB presentó la mayor correlación lineal significativa ($r = 0,729$; $p < 0.01$) de entre todos los pares de atributos analizados. Esta correlación positiva indica que existe dependencia lineal y espacial entre diversas variables. El pH destacó como una variable que influenciaba la mayor parte de los restantes atributos que se estudiaron.

**ADICCIÓN DE ENMIENDAS PARA RECUPERAR SUELO COMPACTADO
BAJO UM SISTEMA DE LABRANZA CERO**

**(ADDITION OF AMENDMENTS TO RECOVER COMPACTED SOIL UNDER
NO TILLAGE SYSTEM)**

Los suelos de la región pampeana de Argentina, de textura limosa, se cultivan en la actualidad bajo labranza cero, de forma predominante. Esta práctica es adecuada para mitigar los procesos erosivos asociados al cultivo de los mismos. Sin embargo, este sistema de manejo, la labranza cero, combinada con la simplificación de las secuencias de cultivo o monocultivo de soja, puede generar degradación de la estructura superficial del suelo, compactación, reducción de la tasa de infiltración y afectar la estabilidad de la estructura, provocando un aumento en la pérdida de agua por escorrentía e incluso llegando a reactivar la erosión hídrica. En general, la adición de correctores orgánicos puede influir positivamente en la estructura del suelo, aumentando la formación y estabilidad de los agregados, y, por tanto, mejorando las tasas de infiltración de agua. Asimismo, el uso de enmiendas inorgánicas para mejorar las

propiedades físicas del suelo, también ha estado generalmente orientado a la formación y estabilización de agregados; los agregados están considerados como las unidades estructurales que caracterizan la estructura del suelo. Por ello, se analizó un ensayo de campo en la provincia de Entre Ríos (Argentina) con un control (T) y la aplicación de cuatro tratamientos que consistieron en: 1) gallinaza (PL) como corrector orgánico, 2) yeso (G) como corrector inorgánico, 3) combinación de los dos anteriores (PL+G), y, 4) dos aplicaciones sucesivas de PL en la mitad de las parcelas (PL+G y PL). El experimento de campo se llevó a cabo en un centro de investigación agrícola perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y ubicado en el municipio de Oro Verde, provincia de Paraná, noreste de Argentina. En junio de 2014 se inició el ensayo de campo en una parcela dedicada a la producción, con rotación soja-maíz (*Zea mays* L.); la parcela experimental estaba manejada siguiendo el Sistema de Siembra Directa, durante al menos 15 años. El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones. A los 20 meses de iniciado el experimento, con el contenido de agua del suelo a capacidad de campo ($30,5\% \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), se midió la resistencia a la penetración (PR) con un penetrómetro Eijkelkamp. En cada punto de medida, los conjuntos de datos de RP se obtuvieron a intervalos de 1 cm y se expresaron en MPa. Los datos de PR se recolectaron siguiendo una línea perpendicular a la dirección de siembra, de 2 m de largo, en 10 puntos diferentes, separados, por tanto, cada uno del vecino por 0,2 m. Con los datos de PR obtenidos en cada tratamiento se realizó un análisis descriptivo y se cuantificó la variabilidad espacial a partir de semivariogramas, prestando atención predominante a la dependencia espacial entre unidades tratamientos o unidades de muestreo. Se acepta que algunas de las propiedades físicas del suelo afectan directamente el crecimiento de las plantas y otras lo hacen indirectamente. Entre las más importantes para el crecimiento y el rendimiento del cultivo, se encuentran: la disponibilidad de agua, oxígeno, temperatura y resistencia del suelo a la penetración; y entre los factores que indirectamente afectan el desarrollo radicular se encuentran: textura, estructura, densidad del suelo, características intrínsecas del perfil del suelo, entre otros. La correlación entre RP y el crecimiento de raíces y la producción vegetal está ampliamente comprobada en muchos trabajos, algunos de los cuales abordan su variabilidad espacial. En promedio, el valor de PR más alto se encontró en el tratamiento

control, T, (1,96 MPa) y el más bajo en PL+G+PL (0,21 MPa). Todos los tratamientos que contenían yeso (G, PL+G) y el testigo (T), en general, presentaron valores de PR superiores a los de los demás tratamientos en todo el perfil del suelo. En la proximidad de la superficie (hasta 0,01 m) no se observaron diferencias significativas entre tratamientos; a 0,05 m se pueden diferenciar significativamente los valores de PR; para esta profundidad se destaca el efecto PL, que tuvo el valor de PR más bajo (0,78 MPa), y se diferenció significativamente de los demás, mientras que T tuvo el valor de PR más alto. Los tratamientos con G (aplicado solo o combinado con PL) mostraron valores intermedios. A 0.10 m se puede observar que los tratamientos con aplicaciones de PL y G sin combinación fueron los que presentaron los valores más bajos de PR, a diferencia de la aplicación combinada de ambos y T. Ninguno de los tratamientos estudiados alcanzó el límite de los 2,00 MPa, valor considerado como crítico para el desarrollo de las raíces de las plantas. La aplicación del correctivo orgánico proporcionó valores mejores, es decir más bajos de PR que resultaron ser estadísticamente significativos en todos los perfiles de suelo analizados (0-0,05 m). En cuanto al efecto de doble aplicación con PL (PL+PL vs. PL) se encontraron dos efectos significativos en el suelo superficial (0.01 y 0.05 m), donde PL+PL presentó los valores más altos de RP. Cuando se vuelve a aplicar PL en PL+G (PL+G+PL vs PL+G), se observaron diferencias (0,01 y 0,05 m) y también a 0,15 m. En todos los casos, los valores más bajos de PR correspondieron a la doble aplicación de PL. En cuanto a la variabilidad estadística de los datos, se obtuvieron valores que pueden asignarse a la categoría media para el tratamiento PL+PL (18,60%) y la categoría alta para los demás tratamientos. Los resultados de los semivariogramas muestran que la magnitud del coeficiente de determinación espacial (R^2), presenta un mejor ajuste en el tratamiento PL+G+PL ($R^2 = 0,99$), mientras que el peor ajuste se obtuvo en el tratamiento PL ($R^2 = 0,97$). El rango, o alcance de la dependencia espacial osciló entre 0,06 m (Tratamiento T y G) y 0,18 m (Tratamiento PL+G y PL+PL). Por lo tanto, bajo las condiciones del tratamiento PL de este ensayo, y para plantear futuras investigaciones, sobre la resistencia a la penetración (PR) en función del sistema de manejo del suelo, la distancia entre puntos de muestreo en los que se han de tomar los datos que van a ser utilizados en el análisis geostadístico con fines de aplicar técnicas de agricultura de precisión,

en general, no debe ser inferior a 0,06 m. Los restantes tratamientos proporcionaron mayores valores del parámetro alcance, dado que se obtuvieron 0,18 m, 0,18 m y 0,16 m para los tratamientos G, PL+G y PL+G+PL, respectivamente; es decir, el atributo PR en estos tratamientos presenta dependencia espacial hasta mayores distancias, lo que evidencia que bajo los mismos el perfil del suelo es más homogéneo desde el punto de vista de la variabilidad espacial. Los valores de RP en aquellos tratamientos donde se aplicaron G, PL y G + PL, no alcanzaron los 1,8 MPa, y sólo el tratamiento testigo, T, alcanzó este valor máximo en un 0,16% de la longitud del perfil; de hecho, el tratamiento testigo, T, presentó un rango de RP de 1,2 – 1,8 MPa a lo largo del 76,17% de la longitud del perfil, mientras que el rango de 0,6 – 1,2 MPa correspondió al el 23,68%. Este último rango (0,6 - 1,2 MPa) representó el 99,26% y el 97,35% de la superficie para PL y G. Por alguna razón, la aplicación de yeso seguida de la aplicación de gallinaza provocó endurecimiento, principalmente en la capa 0,05-0,20 m; así, el rango de resistencia a la penetración de 1,2 - 1,6 MPa representó el 54,17% de la superficie del perfil. Los tratamientos con aplicación doble de gallinaza (PL+PL y PL+G+PL) mostraron perfiles con menor PR y mapas más homogéneos. La doble aplicación PL, por tanto, no mostró efectos sobre los valores de PR. Sin embargo, la doble aplicación en PL+G causó efectos en todos los rangos de PR. La superficie representada por el intervalo 1,2 - 1,8 MPa disminuyó de 54,17 a 6,65%. Además, la superficie del perfil aumentó de 1,08 a 3,71% en el rango más bajo (0-0,6MPa), en un área ubicada en la capa superior del suelo. Este estudio ha mostrado que las enmiendas orgánicas proporcionan buenos resultados, dando al perfil del suelo menos resistencia a la penetración y áreas específicas menos compactadas.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS TEMPERATURAS MENSUALES MEDIAS, MÁXIMAS y MÍNIMAS EN GALICIA

El clima se caracteriza a partir de la media de los valores diarios recogidos de parámetros meteorológicos como temperatura, precipitación, etc., en un lugar determinado durante un periodo largo de tiempo, normalmente 30 años. Es por tanto la media del tiempo que ha hecho en ese lugar durante ese periodo. Nos

informa acerca de las variaciones estacionales típicas de ese lugar. Del estudio de esas variaciones se obtienen los distintos tipos de climas. Tiempo y clima son dos conceptos que se confunden a menudo. Los dos se refieren a condiciones locales de temperatura, precipitación etc. pero la principal diferencia es la escala temporal. El tiempo se refiere al momento actual mientras que el clima a un periodo de muchos años. El clima y el tiempo atmosférico dependen no solo de los elementos del clima, sino también de los factores del clima. Estos son agentes como la latitud, vientos predominantes, corrientes marinas, distancia al mar, altitud y relieve, que modifican, acentúan o limitan los elementos del clima. Entre las clasificaciones más frecuentemente usadas, cabe citar las de Köppen y Papadakis. El sistema de Köppen data de 1884 y se basa en que la vegetación natural tiene una clara relación con el clima, por lo que los límites entre un clima y otro se establecieron teniendo en cuenta la distribución de la vegetación. Los parámetros para determinar el clima de una zona son las temperaturas y precipitaciones medias anuales y mensuales, y la estacionalidad de la precipitación. Köppen divide los climas del mundo en cinco grupos principales: tropical, seco, templado, continental y polar. Papadakis en 1952 clasifica los climas en función de las zonas agrícolas. Tiene en cuenta factores de gran importancia para la viabilidad de los cultivos, como son la severidad de los inviernos y la duración y el calor de los veranos. Para definir el clima de una zona es necesario conocer las medias de temperaturas máximas, medias, mínimas, mínimas absolutas, precipitación acumulada y evapotranspiración potencial. A partir de estos valores se delimitan el tipo de invierno, el tipo de verano y el régimen hídrico. Combinando estos tres factores se determina el tipo de clima de la región. Actualmente se asiste a un proceso de cambio climático, dado que el planeta se está calentando, y este calentamiento actual es mucho más rápido que los ocurridos en otras épocas. La principal causa de este calentamiento (con más de un 95% de probabilidad) es la enorme cantidad de gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera desde la revolución industrial, resultado de la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. En el clima de Galicia influyen principalmente dos factores: la circulación de la atmósfera (centros de alta y baja presión, masas de aire y frentes) y las características geográficas del territorio gallego (ubicación, altitud, trazado del relieve y distancia al mar). En este contexto, Galicia participa de las condiciones del llamado

dominio oceánico ibérico y está influida por los vientos de poniente. Los centros de acción de las principales masas de aire que actúan sobre la Península Ibérica y Galicia determinan el tiempo e influyen en el clima de diferentes formas. Los centros de alta presión o anticiclones dan lugar a días secos y despejados. Los centros de bajas presiones son los responsables de las precipitaciones en Galicia. Las depresiones atlánticas, al sustituir a los anticiclones, atraen a Galicia los frentes polares de lluvia y son más intensos en invierno y primavera. Uno de los elementos más importantes del clima es la temperatura del aire. La temperatura se caracteriza a partir de datos medidos o registrados en estaciones meteorológicas, como la media, la media de máximas, la media de mínimas, máximas, mínimas, oscilación o diferencia entre máximas y mínimas, etc., y se evalúa en diferentes escalas de tiempo. Por otro lado, debido a la irregular distribución espacial de las estaciones y al reducido número o densidad de estaciones de medición, aún existen dificultades para obtener la distribución espacial de las variables climáticas. Con frecuencia, se han utilizado modelos matemáticos basados en ecuaciones de regresión para estimar la temperatura promedio del aire en lugares donde se carece de mediciones de estaciones meteorológicas. En Galicia existe una alta correlación negativa de los valores térmicos con el aumento de la altitud, observándose un claro descenso de las temperaturas con el aumento de la altitud. Esta correlación se puede utilizar para realizar análisis geoestadísticos avanzados. Se analizó la distribución espacial de la temperatura media, media de las máximas y media de las mínimas en la Comunidad Autónoma de Galicia, a escala mensual, durante los años 2013, 2014, 2015 y 2016. Los datos fueron proporcionados por las redes de estaciones meteorológicas de AEMET Y METEOGALICIA. Además de recolectar datos mensuales de temperatura, se prestó especial atención a la obtención de datos geográficos correspondientes a las estaciones estudiadas. Para ubicar las estaciones meteorológicas en el espacio se utilizó como sistema de referencia geográfica las coordenadas UTM Zona 29, Datum Europeo de 1950. Las coordenadas geográficas se usaron para el cálculo del semivariograma experimental. La altitud se utilizó como variable auxiliar para realizar interpolaciones utilizando kriging de deriva externa. Los semivariogramas revelaron que el modelo esférico se ajustó a la serie de datos de temperatura en el período estudiado.

El mayor rango o alcance de estos semivariogramas correspondió a la temperatura media y a la media de las mínimas durante junio de 2014 y el menor a la media de las máximas durante noviembre de 2015, Los valores de alcance de los semivariogramas son útiles para establecer la localización de estaciones adicionales que puedan representar a toda la Comunidad Autónoma de Galicia a escala local para diferentes aplicaciones, entre ellas, las relacionadas con la agricultura de precisión. La validación de los semivariogramas teóricos por el método de la validación cruzada proporcionó coeficientes de correlación entre datos medidos y estimados significativas o muy significativas. Así, teniendo en cuenta las tres series de datos, temperatura media de las mínimas, media y media de las máximas, los valores de dichos coeficientes, R, han oscilado entre los rangos de 0,83 a 0,98, de nuevo 0,83 a 0,98 y 0,64 a 0,98, respectivamente; en general, los valores de R de las tres series han sido superiores a 0,90 la mayor parte de los meses y solo han sido inferiores en contadas ocasiones. Se comprobó, por tanto, que la técnica empleada, permite generar datos, pronósticos y estimaciones de temperatura que se adapten a la realidad de los entornos locales.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	2
CAPÍTULO 2	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 A estatística e geoestatística aplicada ao solos e clima	5
2.1.1 Estatística descritiva.....	6
2.1.2 Geoestatística	6
2.2 Os solos.....	18
2.2.1 Características dos solos na província de El Oro, Equador	23
2.2.2 Características dos solos na província de Entre Rios, Argentina.....	26
2.3 Atributos do solo	29
2.3.1 Atributos físicos do solo.....	29
2.3.2 Atributos químicos do solo.....	35
2.4 Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.....	39
2.5 O Clima.....	41
2.5.1 Características do clima de Galícia	44
2.5.2 Variabilidade espacial da temperatura.....	49
CAPÍTULO 3	52
3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO NA REGIÃO DE EL ORO, EQUADOR	53
3.1 Introdução.....	54
3.2 Material e métodos.....	55
3.3 Resultados e Discussão.....	58
3.4 Conclusões	69
CAPÍTULO 4	70
4. ADDITION OF AMENDMENTS TO RECOVER COMPACTED SOIL UNDER NO TILLAGE SYSTEM	71
4.1 Introduction	72
4.2 Materials and methods.....	73
4.2.1 Description of the experimental site.....	73
4.2.2 Field determinations	75
4.3 Results and discussion	77
4.4 Conclusions	84

CAPÍTULO 5	85
5. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS TEMPERATURAS MENSAIS MEDIAS, MEDIAS DAS MÁXIMAS E MEDIAS DAS MÍNIMAS EM GALICIA	86
5.1 Introdução.....	86
5.2 Material e métodos.....	87
5.3 Resultados e discussão	94
5.4 Conclusão.....	101
CAPÍTULO 6	102
6. ANEXOS.....	103
6.1 Superfície por aptidão agrícola na província de El Oro, Equador.....	103
6.2 Cobertura e uso do solo na província de El Oro, Equador.....	103
6.3 Bacias hidrográficas na província de El Oro, Equador.....	103
6.4 Mapa ecológico na província de El Oro, Equador.....	104
6.5 Classificação do solo por tipo de pendentes na província de El Oro, Equador..	105
6.6 Classificação taxonômica do solo na província de El Oro, Equador	105
6.7 Classificação textural do solo na província de El Oro, Equador.....	106
6.8 Tipos de clima na província de El Oro, Equador.....	106
6.9 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2013 na região de Galícia, Espanha.....	107
6.10 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2013 na região de Galícia, Espanha.....	108
6.11 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2013 na região de Galícia, Espanha.....	109
6.12 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2014 na região de Galícia, Espanha.....	110
6.13 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2014 na região de Galícia, Espanha.....	111
6.14 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2014 na região de Galícia, Espanha.....	112
6.15 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2015 na região de Galícia, Espanha.....	113
6.16 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2015 na região de Galícia, Espanha.....	114
6.17 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2015 na região de Galícia, Espanha.....	115
6.18 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2016 na região de Galícia, Espanha.....	116

6.19	Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2016 na região de Galícia, Espanha.....	117
6.20	Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2016 na região de Galícia, Espanha.....	118
	CAPÍTULO 7	119
7.	REFERÊNCIAS	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Semivariograma experimental.....	10
Figura 2. Modelos semivariográficos com patamar definido.....	12
Figura 3. Malha amostral utilizada para a avaliação dos atributos do solo nos 6 municípios de El Oro, Equador.	57
Figura 4. Semivariogramas simples dos atributos de solos na região de El Oro, Equador.....	63
Figura 5. Mapas de krigagem dos atributos de solos (Areia, Silte, Argila, teores de fósforo disponível, zinco, cobre e ferro) na região de El Oro, Equador.	64
Figura 6. Mapas de krigagem dos atributos de solos (teores de manganês, sódio, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases e matéria orgânica) na região de El Oro, Equador.....	65
Figure 7. Location of the study site in Entre Rios province, Argentina.....	74
Figure 8. Regular soil samples of PR in plot.	75
Figure 9. Penetration resistance (PR) average plotted against depth of the treatments.	78
Figure 10. Semivariograms and cross-validation of penetration resistance of a Mollisol in Entre Rios province, Argentina.	82
Figure 11. Kriging maps of penetration resistance at the 0-0.2 m depth of a Mollisol in Entre Rios province, Argentina.	84
Figura 12. Interpolación de la temperatura media en Galicia mediante el método de krigado universal para enero de 2013, 2014, 2015 y 2016.....	99
Figura 13. Interpolación de la temperatura media en Galicia mediante el método de krigado universal para julio de 2013, 2014, 2015 y 2016.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas, morfológicas e químicas de solos analisados taxonomicamente na província de El Oro, Equador.	26
Tabela 2. Valores indicativos de pH e termos usuais para descrever seus intervalos.	39
Tabela 3. Localização, média anual de temperatura e precipitação pluvial dos municípios estudados na Província de El Oro.	56
Tabela 4. Análise descritiva inicial dos atributos químicos e físicos de solos na região de El Oro, Equador.	60
Tabela 5. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para alguns atributos químicos e físicos de solos na região de El Oro, Equador.	61
Tabela 6. Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos químicos e físicos de solos na região de El Oro, Equador.	68
Table 7. Descriptive analysis of penetration resistance (MPa) of a Molisoll in Entre Rios province, Argentina.	77
Table 8. Penetration resistance (MPa) at fixed depths, for four treatments of amendments of a Mollisol under NT in Entre Rios province, Argentina.	78
Table 9. Effect of re-application with PL on the penetration resistance (MPa) at fixed depths, for four treatments of amendments of a Mollisol under NT in Entre Rios province, Argentina.	79
Table 10. Fit parameters of the semivariograms and cross-validation for penetration resistance (MPa) of a Molisoll in Entre Rios province, Argentina.	82
Tabela 12. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2013.	95
Tabela 13. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2014.	96
Tabela 14. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2015.	97
Tabela 15. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2016.	98

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Dentre as técnicas estatísticas utilizadas na análise e interpretação de dados edafoclimáticos, se destaca a geoestatística, que tem como característica principal a análise da distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinado por meio do semivariograma à distância ou período de tempo de dependência entre estas. Além disso, possibilita os respectivos mapeamentos da área estudada por meio da krigagem - que permite interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; DALCHIAVON et al., 2012; RESENDE et al., 2014).

A modelagem matemática ao semivariograma, moderado pela geoestatística, é uma ferramenta capaz de contribuir para pesquisas sustentáveis, por meio da identificação de metodologias que auxiliem na caracterização mais adequada da estrutura e da magnitude da dependência espacial das variáveis, tais como as relações existentes entre os atributos do solo, podendo assim contribuir com o planejamento agrícola, manejo do solo, conservação e seus impactos futuros.

Os atributos químicos do solo podem ser férteis ou se tornarem férteis por meio do manejo adequado. O manejo do solo pode influenciar na variabilidade espacial desses atributos e conseqüentemente na variação da produtividade em uma área (BURAK et al., 2016). Para tanto é necessário quantificar a variação desses atributos, uma vez que os mesmos, por serem sistemas dinâmicos e abertos, estão em constantes modificações (DALCHIAVON et al., 2011b; MONTANARI et al., 2015). Nesse sentido, modelos matemáticos e de modelos estatísticos têm explicado o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza, como a variação dos atributos químicos e físicos do solo, bem como suas relações.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi gerar informações por meio da análise de variabilidade e estabelecimento da estrutura de dependência espacial e correlação linear de alguns atributos do solo, a fim de auxiliar no planejamento de atividades agrícolas em seis cidades na província de El Oro, Equador; Avaliar se a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos melhoram a resistência

do solo à penetração de raízes (RP) em curto prazo e descrever sua variabilidade espacial no horizonte de superfície de um Aquic Argiudoll sob plantio direto, na província de Entre Rios, Argentina; Analisar a distribuição espacial das temperaturas médias, máximas e mínimas na região de Galícia, Espanha.

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A estatística e geoestatística aplicada ao solos e clima

As propriedades do solo, em geral, não são aleatoriamente distribuídas no espaço, obedecendo a um arranjo estrutural com uma dimensão característica que é o seu domínio, correspondendo à distância dentro da qual há interdependência dos valores medidos (RUSSO; BRESLER, 1981). Análises estatísticas “clássicas”, independência das observações, são inadequadas para estudos com este enfoque e, devem ser substituídas por análises espaciais nas quais são consideradas as correlações entre observações vizinhas (HAMLETT et al., 1986).

Essas análises são baseadas na teoria das variáveis regionalizadas, base da geoestatística, em que, a variabilidade espacial pode ser caracterizada por meio de autocorrelogramas, semivariogramas e métodos de interpolação, como por exemplo, a “krigagem” (LIBARDI et al., 1996). A partir destas medidas localizadas espacialmente é definido o grau de dependência espacial do parâmetro avaliado. A estatística clássica, por meio das estatísticas descritivas, não contempla a posição relativa da amostra no terreno e conseqüentemente a distribuição espacial.

Desse modo, o conhecimento da variabilidade do solo subsidia a tomada de decisão para diferentes sistemas de manejo, além de outras aplicações como em levantamentos de solos, conhecimento e inferências nas propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos, entendimento dos processos geomórficos e pedogênicos, estimativas de densidade amostral dentre outros (CAMPOS et al., 2014).

Muitos autores têm estudado a variabilidade espacial dos parâmetros químicos e físicos dos solos (MONTANARI, 2009); outros estudos enfocam a variabilidade dos atributos do solo num contexto pedogeomórfico (VIEIRA et al., 2010).

Recentemente estudos enfocando a variabilidade espacial das propriedades do solo associados aos modelos de paisagem têm auxiliado no mapeamento de locais específicos de manejo. Estes estudos ajudaram a

caracterizar diferentes ambientes, e servem de base para a transferência de conhecimento para locais de mesmo domínio pedogeomórfico.

2.1.1 Estatística descritiva

A estatística descritiva sempre foi muito utilizada em pesquisas na Ciência do Solo, pois fornece uma indicação inicial do comportamento dos dados, permitindo assim uma análise preliminar da população em estudo (RIBEIRO JÚNIOR, 1995).

Para uso da estatística descritiva em dados oriundos de experimentos de campo, é admitido solo homogêneo. Portanto, área e/ou solos homogêneos são escolhidos muitas vezes, sem um critério bem definido de homogeneidade, onde as parcelas são distribuídas ao acaso para evitar o efeito da irregularidade porventura existente (CARVALHO et al., 2000).

Segundo BUSSAB e MORETTIN (1987), as medidas de dispersão mais utilizados para expressar a variabilidade de um conjunto de dados são a variância, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a amplitude total, por serem fáceis de calcular e interpretar. Quando os valores tendem a se concentrarem próximos da média, a variância é pequena. Entretanto, se os valores tendem a se afastar da média a variância é grande. O coeficiente de variação (CV), segundo WEBSTER e OLIVER (1990), indica o grau da variabilidade da variável em estudo, não refletindo o seu significado físico, porém, muito utilizado para comparar atributos que possuem magnitudes diferentes.

Outro parâmetro que a estatística descritiva utiliza com frequência é a média aritmética, que é um único valor representativo do conjunto de dados. Outra medida é a mediana, a qual representa o valor central da variável em estudo, define exatamente o centro da distribuição.

2.1.2 Geoestatística

No decorrer dos anos, a agricultura moderna tornou-se uma atividade que cada vez mais requer o gerenciamento de seus processos produtivos. O grande avanço de novas técnicas de manejo ligados a culturas, novos equipamentos e

insumos com maior eficiência tem proporcionado consideráveis ganhos em relação ao rendimento das culturas. A crescente competitividade mundial promove um amplo quadro de transformação, caracterizado pela maior exigência por parte dos consumidores em busca de rendimentos elevados, maior qualidade dos produtos, preservação do meio ambiente e preços adequados para competir internacionalmente. Toda esta demanda só poderá ser atendida uma vez otimizado o uso de insumos (BELLÉ, 2009).

Agricultura de precisão é um sistema de gerenciamento agrícola que leva em conta a variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento do retorno econômico ao longo do tempo, à sustentabilidade e à minimização de consequências negativas ao meio ambiente, usando um conjunto de tecnologias e ferramentas (MAPA, 2017). Os sistemas conservacionistas de manejo criam no solo um ambiente diferente daquele encontrado no sistema convencional assim ocorrendo a maior variabilidade, resultante dos efeitos da palhada na camada superficial e da pouca movimentação do solo. Fatores como a precipitação pluvial, a radiação solar, a temperatura do ar, os ventos, os teores de nutrientes, a camada do solo, a densidade do solo, presença de plantas invasoras, pragas e doenças podem agravar a variabilidade das plantas na área agrícola (ANDREOTTI et al., 2010; ACOCK; PACHEPSKY, 1997).

A geoestatística é utilizada para o estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo, sendo aplicada à Ciência do Solo (BURGESS; WEBSTER, 1980), e auxilia na escolha, locação de experimentos e interpretação dos resultados (VIEIRA et al., 1991). O uso da geoestatística requer coleta de amostras previamente planejada, com a localização espacial de cada ponto de amostragem.

O estudo da variabilidade espacial do solo é muito importante para o planejamento e análise das pesquisas agropecuárias. O uso de técnicas geoestatísticas permite a elaboração de semivariogramas, que quantificam a dependência espacial de parâmetros do solo, possibilitando a obtenção de estimativas da propriedade do solo, em locais não amostrados, com erro mínimo (GUIMARÃES et al., 1992).

Para estimar a variabilidade espacial utiliza - se a ferramenta geoestatística denominada semivariograma. Esta ferramenta dispõe de uma

função numérica denominada semivariância, que avalia a dependência espacial de um atributo em função da distância entre pontos amostrados e baseia-se na estatística clássica, mas preza as coordenadas geográficas dos pontos amostrados, sendo assim, quanto mais próximos estão dois pontos, menor a variância entre os valores (ASSUMPÇÃO et al., 2007). Gráficos denominados semivariogramas, gerados com dados da semivariância demonstram com maior clareza a dependência de um atributo em função da distância entre pontos amostrados (GUIMARÃES, 2004).

Para estimar valores não amostrados entre os pontos é possível mediante interpolação dos resultados encontrados nos pontos vizinhos, utiliza-se a krigagem uma ferramenta bastante eficaz para tal finalidade (VICENTE, 2004; VIEIRA, 2000). Corá e Beraldo (2006) afirmam que a krigagem é considerada como o método que proporciona maior precisão na elaboração de mapas, por causa da confiabilidade na estimativa de valores em pontos que não foram amostrados. Após a interpolação pelo método da krigagem, os resultados são submetidos a espacialização gerando mapas de isolinhas, na maioria das vezes usando o sistema de informação geográfica (SIG), onde outras bases podem ser visualizadas e agrupadas. Dessa forma, o mapeamento dos atributos do solo, numa área agrícola, é bastante importante, tanto para a recomendação de manejo, como para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (VALLADARES et al., 2009; ANDREOTTI, et al., 2010). Com isso, a utilização das tecnologias como a geoestatística possibilita auxiliar tecnicamente decisões estratégicas em relação ao sistema de manejo, seus efeitos no meio ambiente e na produtividade das culturas plantadas (GREGO et al., 2014).

2.1.2.1 Amostragem

Algumas pesquisas têm indicado a necessidade de um grande número de pontos de amostragem para poder melhor identificar a dependência espacial do solo (MACHADO; SILVA; BERNARDI, 2004; RESENDE et al., 2006; GIMÉNEZ; ZANCANARO, 2012). Libardi et al. (1996) relataram que enquanto na estatística clássica as amostras são coletadas ao acaso, na geoestatística os locais de amostragem são definidos. Os autores observaram ainda, que nos dois tipos de coleta pode-se calcular a média e a variância, entretanto, somente por meio da

geoestatística, que considera a dependência espacial entre as medidas, pode-se obter a estrutura da variância, evidenciando aspectos não disponíveis por outros métodos.

Em um LATOSSOLO no Cerrado de Goiás, Brasil, Resende et al. (2006) estudaram grades de amostragem em uma área de 97,5 hectares, considerando tamanhos que variaram de 0,25 a 9,0 hectares. Para grades de amostragem de até 4 hectares, a elaboração de mapas respeitando os princípios da geoestatística (obtenção de dependência espacial) foi possível para os atributos de matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio. No caso do fósforo, foi obtida dependência espacial apenas quando se utilizou a amostragem mais densa, com uma grade de 0,25 hectares. Ou seja, segundo os autores os atributos de matéria orgânica, pH, potássio, cálcio e magnésio apresentam maior continuidade espacial que o fósforo e os micronutrientes. Para estes últimos, há maior probabilidade de não encontrar dependência espacial em amostragens pouco densas.

2.1.2.2 Semivariograma

A estimativa da dependência espacial ou temporal entre amostras vizinhas pode ser feita pela autocorrelação, que é de grande utilidade quando se efetua a amostragem em uma direção. Quando a amostragem envolve duas direções, a ferramenta mais apropriada na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma. O semivariograma define o tipo e a forma da associação espacial e, segundo VIEIRA et al. (1983), constitui-se no primeiro passo da análise geoestatística. O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de mapeamento por krigagem, permitindo representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (EMBRAPA, 2004).

O semivariograma é um gráfico que caracteriza a estrutura de dependência espacial da variável (ou variáveis) sob estudo, ou seja, o semivariograma é uma função que relaciona a semivariância com o vetor distância, podendo ser representada analítica e/ou graficamente, sendo estimado pela seguinte equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \dots\dots\dots(1)$$

Onde $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação h ; $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h . A plotagem $\hat{\gamma}(h) \times h$ produz o semivariograma experimental, que apresenta um comportamento puramente aleatório ou algum comportamento sistemático por modelos teóricos (esférico, exponencial e gaussiano). O esquema mostrado na Figura 1 expressa o comportamento típico de um semivariograma experimental de um atributo que apresenta dependência espacial. Pontos próximos entre si são mais semelhantes do que pontos mais afastados. A função de semivariância quantifica a dissimilaridade entre os pontos, ao contrário da correlação (VIEIRA et al., 1981).

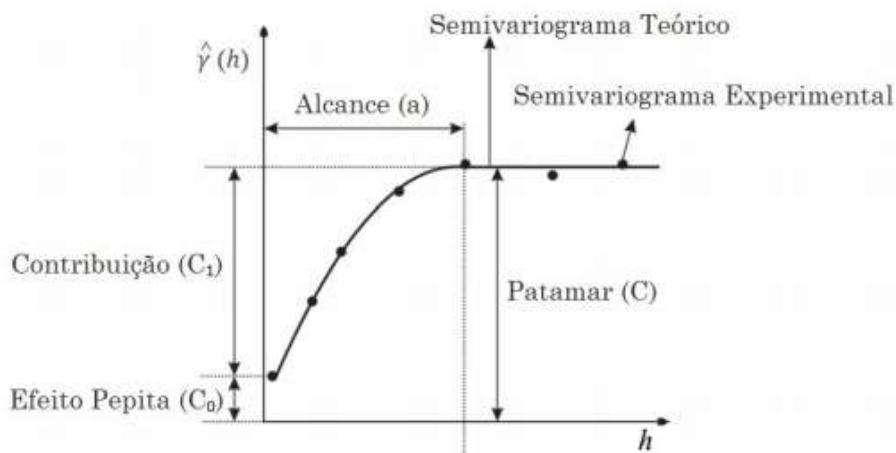


Figura 1. Semivariograma experimental

O semivariograma começa com um baixo valor, denominado efeito pepita puro (C_0) e cresce à medida que h cresce, até uma distância, denominada alcance, representada por "a", que determina a distância até a qual o atributo se apresenta espacialmente dependente. A partir desta distância, os dados podem ser considerados independentes. O alcance da dependência espacial é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo são iguais entre si. Assim,

valores de um atributo, localizados dentro da área cujo raio é igual ao seu valor, possuem entre si extrema semelhança em magnitude. Contudo, passam a assumir valores independentes, maiores ou menores, somente para as distâncias estabelecidas a partir do seu valor (VIEIRA et al., 1981; MCBRATNEY e WEBSTER, 1985). Seu conhecimento é de extrema importância à Agricultura de Precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para, em função da inteligência artificial que o geoprocessamento desempenha via satélite, poder monitorar o trator agrícola, equipado com a semeadora/adubadora, e assim poder efetuar a distribuição no terreno de um determinado insumo com taxas variáveis (COELHO, 2003).

No ajuste dos modelos experimentais são considerados: a) o maior coeficiente de determinação (r^2); b) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). O ajuste é validado pela técnica da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionará a melhor malha de krigagem. Para cada atributo são estimados o efeito pepita (C_0), alcance (a) e o patamar (C_0+C). A classificação da dependência espacial (ADE) é realizada conforme sugestões de Cambardella et al. (1994), modificada por Robertson (2004) conforme a seguinte expressão:

$$ADE = [C/(C+C_0)] \times 10 \dots \dots \dots (2)$$

Onde: ADE é o avaliador da dependência espacial; C é a variância estrutural; $C+C_0$ é o patamar.

Em estudos relacionados a solos, podem-se ajustar vários modelos de semivariogramas, tais como: esférico, exponencial, gaussiano e linear. O modelo ajustado será aquele cuja função melhor representar as semivariâncias observadas. O ideal é que a semivariância aumente com a distância entre os pontos amostrados até atingir um valor mais ou menos constante. Portanto, um semivariograma ideal é aquele que passa através da origem quando a distância amostral de separação é igual a zero e atinge um patamar a uma determinada distância.

Os semivariogramas experimentais são construídos a partir de malhas com disposição regular ou, quando irregulares, posteriormente regularizadas. Os valores observados a serem submetidos à variografia devem ser obtidos de suportes iguais ou então regularizados e os cálculos são feitos em direções previamente estabelecidas, visando a compreensão da variabilidade espacial do fenômeno em estudo. Após a confecção dos semivariogramas dos valores experimentais, procura-se ajustar um modelo matemático que represente o mais próximo possível a configuração dos mesmos. Embora possa existir uma infinidade de funções que se ajustem aos semivariogramas experimentais, a prática tem mostrado que alguns modelos, fundamentados nas suposições teóricas das variáveis regionalizadas, têm satisfeito a maioria das suas aplicações (STURARO, 2015).

Alguns modelos básicos (Figura 2), usuais em geoestatística, denominados de modelos isotrópicos por Isaaks e Srivastava (1989):

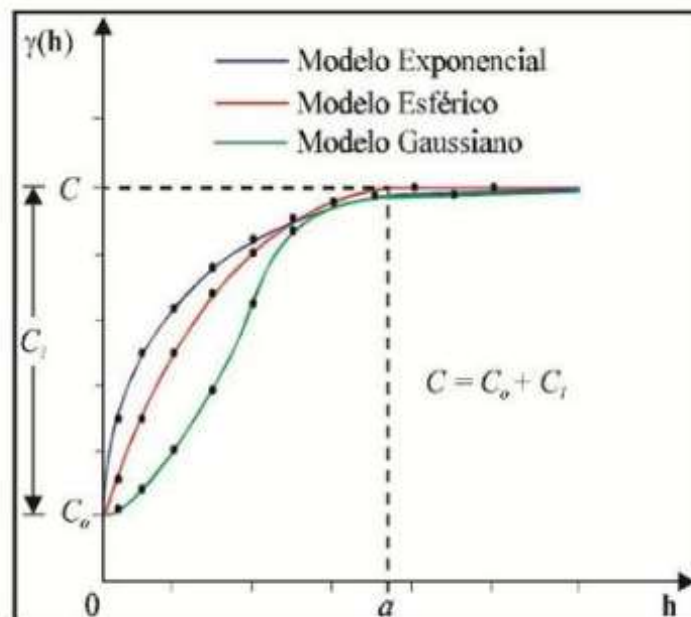


Figura 2. Modelos semivariográficos com patamar definido.

a) Modelo esférico

O modelo esférico (Eq. 3) é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar ($C_0 + C_1$), depois traçando-se uma reta que intercepte

o eixo y em C_0 seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h = 0$. Essa reta cruzará o patamar à distância, $a' = (2/3) a$. Assim, o alcance(a) será $a = 3a'/2$. O modelo esférico é linear até aproximadamente $(1/3)a$ (VIEIRA, 2000), sendo este modelo o de maior ocorrência para as propriedades de solo (TRANGMAR et al., 1985).

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ; |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & ; 0 < h < a \\ C_0 + C_1 & ; |h| > a \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

b) Modelo exponencial

Uma diferença entre o modelo exponencial (Eq. 4) e o esférico é que este modelo atinge o patamar assintoticamente, com o alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é de 95% do patamar (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Os parâmetros C_0 e C_1 , para o modelo exponencial, são determinados da mesma maneira que para o esférico (VIEIRA, 2000).

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ; |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) \right] & ; h \neq 0 \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

c) Modelo Gaussiano

O modelo gaussiano (Eq. 5) é usado muitas vezes para modelar fenômenos extremamente contínuos (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Semelhante ao modelo exponencial, o modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente, e o parâmetro é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). O que caracteriza este modelo é seu ponto de inflexão próximo à origem.

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ; |h| = 0 \\ C0 + C1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right)^2 \right] & ; h \neq 0 \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

2.1.2.3 Krigagem

Inicialmente, o método de krigagem foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamento geológico. Entretanto, seu uso expandiu-se com sucesso no mapeamento de solos, no campo hidrológico, no atmosférico e outros correlatos (EMBRAPA, 2004). A krigagem é um processo de interpolação que estima valores de atributos em locais não amostrados, sem tendência e com variância mínima, podendo expressar os resultados em forma de mapas de isolinhas ou de superfície tridimensional. O valor da variável espacial, num local não amostrado, é estimado por combinação linear de valores medidos em outros locais vizinhos, levando-se em conta a modelagem da dependência espacial da variável, expressa pelo semivariograma. Pontos próximos dos locais não amostrados têm maior peso do que os afastados e aqueles agrupados têm maior peso do que os isolados, (VIEIRA et al., 1983; BORGELT et al., 1994).

Dentre os diversos métodos de interpolação disponíveis, são referidos o do inverso da potência da distância, mínima curvatura, base radial, *shepard*, regressão polinomial, triangulação e krigagem. A krigagem apresenta, entre outras vantagens, maior precisão geral e fidelidade aos dados originais (VIEIRA, 2000). Landim (1998) afirmou ainda que a expressão do erro associado aos valores estimados distingue-o dos demais algoritmos à disposição. Este método também é descrito como geoestatístico, exigindo a construção prévia, análise e o ajuste do semivariograma. Para este fim (VIEIRA, 2000), o estimador clássico de Matheron é o mais utilizado, apresentando-se mais estável sob normalidade, sendo recomendável à utilização de um estimador robusto em casos de dados assimétricos.

A krigagem utiliza um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa (VIEIRA et al., 1983; ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; JOURNAL e HUIJBRETS, 1991). Este estimador utiliza as

informações obtidas no semivariograma para determinar pesos otimizados que são usados para a estimativa de pontos não amostrados. Assumindo que o semivariograma é uma função da distância, os pesos mudam de acordo com a distribuição espacial das amostras.

A utilização das técnicas de geoestatística em atributos de solos, na inferência de pontos não amostrados (krigagem), foi inicialmente apresentada nos trabalhos de Burgess e Webster (1980); Burgess et al. (1981); Vieira et al. (1981); Yost et al. (1982) e Braga e Druck (1993). Esses autores mostraram a boa adequação dos interpoladores geoestatísticos aos dados de solos e consideraram que a krigagem apresenta uma estrutura teórica desejável, condições favoráveis de implementação e uma estabilidade às variações amostrais.

A estimativa de valores para locais não amostrados, pela técnica de krigagem, possibilita estabelecer um mapa da área de estudo para os atributos do solo, permitindo a definição de linhas de isovalores, que podem ser de grande utilidade no planejamento experimental e na interpretação do comportamento espacial dos dados (BURGESS; WEBSTER, 1980), auxiliando no planejamento das atividades agrícolas e no fornecimento de subsídios para tomadas de decisões. Cristóbal et al. (1996) e Robaina e Seijas (2002), estudando a distribuição espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em uma área com cana-de-açúcar, afirmaram que o método de interpolação por krigagem pode ser muito útil quando se quer obter os mapas de isolinhas de um atributo com altos coeficientes de variação, como no caso da condutividade hidráulica do solo saturado.

Krigagem nada mais é do que uma média ponderada dos valores observados de uma propriedade Z dentro de uma vizinhança. Somente os pontos que estão espacialmente relacionados com o local a ser estimado (dentro da amplitude da dependência espacial) são usados na krigagem. Os vizinhos mais próximos têm maiores pesos ponderadores. Assim, o semivariograma deve ser bem preciso somente nos primeiros lags. Pouco ganho é obtido para grandes distâncias. Existem alguns tipos de krigagem que serão explicitados abaixo:

Krigagem simples: nessa forma de krigagem adota-se uma única média em toda a área;

Krigagem ordinária pontual: nessa forma de krigagem, para cada estimativa é identificada uma média do valor da propriedade naquela vizinhança;

Krigagem em bloco: a krigagem em blocos, fornece um valor médio para uma determinada região no espaço.

Segundo Trangmar et al., (1985), a krigagem em blocos se baseia na mesma equação do estimador da krigagem pontual, mudando apenas a forma de se determinar os pesos. No lugar da semivariância entre pontos amostrais e ponto estimado, usa-se a semivariância média entre pontos amostrais e todos os pontos dentro de um bloco. Neste trabalho os dados serão trabalhados com a krigagem em blocos.

A magnitude do efeito pepita é importante na krigagem porque estabelece um limite menor para o tamanho da variância de estimação e, portanto, para a precisão da interpolação. Isto é quanto menor o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimação, ou, mais precisamente, quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa, ou maior a confiança que se pode ter na estimativa.

A mudança do alcance é a que promove o efeito relativamente menor nos pesos. Contudo, o acréscimo tende a promover redução da variância de krigagem. Experiência indica que krigagem em bloco produz mapas mais refinados que a krigagem pontual. A krigagem em bloco é mais importante quando o efeito pepita é grande.

a) Krigagem ordinária

É o método mais apropriado, para situações ambientais, este método assume que as médias locais não estão necessariamente relacionadas tão próximas quanto a média da população, portanto, usa apenas as amostras na vizinhança local para estimar.

b) Krigagem simples

Assume-se que os meios locais são relativamente constantes e iguais à

média da população, que é conhecida. A média populacional é usada como um fator em cada estimativa local, juntamente com as amostras na vizinhança local. Existem dois tipos de Krigagem, o Ponto e o Bloco, que geram grades de interpolação.

2.1.2.4 Semivariograma cruzado

O semivariograma cruzado é uma ferramenta geoestatística que permite verificar a continuidade cruzada entre as variáveis regionalizadas, tornando possível avaliar se a variabilidade de uma série é acompanhada pela da outra, de forma direta como indireta. Por exemplo, propriedades do solo e atributos da planta, condutividade hidráulica e retenção de água, as quais são difíceis e caras para se medir, tais como a granulometria da camada superficial do solo. A facilidade de se utilizar os teores granulométricos em estimativas tem atraído o interesse de pesquisadores que utilizam modelos para predição da produtividade das culturas, erosão e potencial de produção. Em situações nas quais há a correlação espacial entre duas propriedades, a estimativa de uma delas pode ser feita usando-se informações de ambas, que são expressas no semivariograma cruzado, sendo o método chamado de co-krigagem, o qual pode ser mais preciso do que o da krigagem em si (VIEIRA et al., 2010b).

2.1.2.5 Co-krigagem

Algumas variáveis apresentam grande dificuldade de determinação, qual seja quanto ao tempo para a análise, ou quanto ao custo das análises (GUIMARÃES, 2000). O conhecimento das relações entre as variáveis pode contribuir para a realização de estimativas de variáveis em função de outros atributos (KIEHL, 1979), isto quando existir correlação espacial entre duas variáveis, modelada pelo semivariograma cruzado, sendo possível estimar o valor de uma variável para um determinado local não amostrado pela técnica de co-krigagem, com base na correlação espacial de outra variável. A co-krigagem é uma técnica de avaliação geoestatística que permite estimar uma variável primária de interesse por intermédio de uma variável secundária. Para que sua aplicação seja possível é necessário que ambas estejam correlacionadas, para

que o variograma cruzado seja representativo (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Ela pode ser utilizada para estimar valores de uma propriedade do solo de difícil mensuração (como exemplo, a condutividade hidráulica), com base em uma outra medição mais fácil (por exemplo, o teor de argila), desde que sejam correlacionadas espacialmente. Essa estimativa pode ser até mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o semivariograma cruzado mostrar dependência espacial entre duas variáveis (VIEIRA et al., 2010b).

2.2 Os solos

Conforme Bigarella et al. (1994), o termo solo é, às vezes, aplicado erroneamente a qualquer tipo de alteração. Refere-se apenas à parte do manto de intemperismo que sofreu decomposição e modificações intensas, tornando-o capaz de comportar o desenvolvimento de vegetais superiores. O solo é constituído direta ou indiretamente de produtos de intemperização das rochas. Em menor escala, resulta da ação de organismos e de detritos orgânicos decompostos da cobertura vegetal.

No sentido mais restrito, solo é um material e/ou inconsolidado, poroso, finamente granulado, com natureza e propriedades particulares, herdadas da interação de processos pedogenéticos com fatores ambientais, envolvendo as variáveis: material de origem, clima, organismos vivos, relevo e tempo. Desse modo, os solos são capazes de dar sustentação à vida de vegetais terrestres superiores.

O desenvolvimento pleno do solo constitui um processo muito lento. Inicialmente, a parte superior do manto, seja residual ou transportada, decompõe-se o suficiente para liberar nutrientes às plantas, possibilitando o crescimento de vegetais pioneiros e de pequeno porte. Nesse estágio, o solo é incipiente e de má qualidade agrícola, contendo grande quantidade de rocha desagregada e pouco alterada, tratando-se de um solo imaturo. À medida que são incorporados detritos orgânicos mortos parcialmente decompostos, o solo passa a fornecer nutrientes, ou seja, húmus (coloides orgânicos), os quais contêm carbono extraído do ar durante o desenvolvimento de plantas.

A matéria vegetal em decomposição produz ácidos húmicos que auxiliam na alteração das partículas do manto, bem como na lixiviação de algumas

substâncias, transladando-as para níveis inferiores. Com a continuidade do processo, a composição do solo muda de forma progressiva, embora muito lentamente.

No caso de a erosão não perturbar a formação do solo, e haver pluviosidade suficiente para manter a decomposição química e a vegetação, o seu desenvolvimento é acelerado durante certo tempo. Gradualmente, o solo torna-se mais profundo, atingindo o estágio de maturidade ao perder grande parte do material mineral.

Quando um solo inicia sua evolução sobre o manto residual, ele é considerado incipiente, esquelético ou imaturo (predominam partículas grosseiras) refletindo o caráter da rocha subjacente. Por exemplo: na alteração de um granito, um solo imaturo é rico em argila formada pela intemperização do feldspato, além de conter ainda numerosos fragmentos de quartzo e de outros grãos minerais constituintes dessa rocha, os quais se encontram desintegrados, porém não alterados. O ferro derivado da biotita ou da hornblenda foi oxidado e confere à argila coloração amarelada. A argila contém absorvidas ainda certas substâncias bastante solúveis (p.ex. compostos de potássio).

As influências externas, no entanto, modificam o caráter original do solo e podem ser acentuadas ao ponto de imprimem características mais marcantes do que aquelas herdadas da rocha ou material original. Como fatores externos mais importantes, destacam-se o clima e a vegetação a ele relacionados. A pluviosidade é um fator externo de grande importância na determinação do tipo de solo. Lobeck (1939), citado por Bigarella et al. (1994), destaca o fato de que os solos da porção oriental úmida dos Estados Unidos pertencem a uma classe Pedalfer e que praticamente todos aqueles do oeste semiárido a outra classe (Pedocal), apesar da diversidade das rochas das quais derivam. Os solos de uma região tendem, portanto, em longo prazo, a se adaptarem às condições, diminuindo as diferenças entre eles.

Independentemente de origem, passado e história geológica, os solos que atingem maturidade num ambiente são mais similares do que aqueles que procedem da mesma fonte, mas que permanecem imaturos por força de fatores locais.

Segundo Meurer (2000), no desenvolvimento da Ciência do Solo, o solo tem sido estudado e interpretado diferentemente à medida que os

conhecimentos sobre a sua complexidade evoluíram. Destacam-se alguns conceitos que contribuíram significativamente para o conhecimento:

- A. O solo como produto de alteração das rochas e como corpos naturais organizados;
- B. O solo como meio para o desenvolvimento das plantas;
- C. O solo como meio capaz de armazenar e transformar resíduos, assim descritos:

a) solos como produto de alteração das rochas e como corpos naturais organizados - No final do século XVIII, com o desenvolvimento da ciência da geologia, os solos passaram a ser considerados como produtos de alteração das rochas, empregando-se métodos geológicos para a sua classificação. Surgiu, assim, a classificação dos solos de acordo com as rochas que lhes deram origem: solos graníticos, solos calcários, solos sedimentares, e assim por diante. A partir dos trabalhos realizados pelo geólogo russo Dokuchaev, na metade do século XIX, os solos passaram a ser reconhecidos como corpos naturais organizados, com características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, relacionadas aos processos e fatores que lhes deram origem;

b) solo como meio para o desenvolvimento das plantas – Desde a antiguidade, os povos preocupavam-se com a capacidade dos solos em produzir alimentos, pois deles dependia a sua sobrevivência. A classificação dos solos quanto a sua produtividade agrícola já era utilizada há mais de 4.000 anos, na China, para avaliar as posses individuais e os impostos a pagar ao governo. O conceito agrícola de solos e a qualificação das terras também já eram conhecidos no Império Romano.

Nesse sentido, o solo deveria prover um ambiente no qual as plantas pudessem se desenvolver em função da reserva de água e dos elementos minerais presentes no solo. Assim, as raízes poderiam ancorar-se e crescer em um ambiente poroso, com oxigênio, ausência de elementos tóxicos, entre outros.

Pelo menos 16 elementos são considerados como essenciais para o crescimento das plantas. O carbono, o oxigênio e o hidrogênio, combinados na reação fotossintética, são obtidos do ar e da água. Eles constituem 90 % ou mais da massa produzida pelo vegetal.

Os restantes 13 elementos são obtidos do solo. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre são necessários em maiores quantidades

e são denominados de macronutrientes. Os nutrientes requeridos pelas plantas em pequenas quantidades e, por isso, denominados de micronutrientes, são o boro, o cobre, o cloro, o ferro, o manganês, o molibdênio e o zinco;

c) o solo como meio capaz de armazenar e transformar resíduos – Nos últimos anos, tem aumentado o interesse na utilização do solo como meio alternativo para auxiliar no controle da poluição ambiental. Dessa forma, o solo vem sendo utilizado para descarte de resíduos com potencial poluente, como compostos de lixo, lodos de estações de tratamento, efluentes industriais, entre outros. Essa prática tem sido viável devido à capacidade do solo de inativar diversos íons e compostos orgânicos por adsorção, complexação ou precipitação. Os microorganismos do solo podem, também, decompor compostos e resíduos orgânicos e ter ação sobre organismos patogênicos. Assim, considerando a evolução histórica do conceito sobre solo e sua importância dentro da Ciência do Solo, um conceito de solo mais adequado e mais abrangente na atualidade pode ser: *“Solo: corpo natural da superfície terrestre, constituído de materiais minerais e orgânicos resultantes das interações dos fatores de formação (clima, organismos vivos, material de origem e relevo) com o passar do tempo, contendo matéria viva e em parte modificado pela ação humana, capaz de sustentar plantas, de reter água, de armazenar e transformar resíduos e suportar edificações”*.

Conforme Bigarella et al. (1994), junto à superfície, as rochas sofrem a ação contínua dos agentes atmosféricos e biológicos. Nos primeiros estágios da alteração, tem lugar uma fragmentação por meio de processos físicos, bem como pela hidratação dos minerais, além da ação de outros processos químicos mais complexos. A ação conjunta desses processos em si não daria origem a um solo propriamente dito, se não fosse a atividade de organismos como líquens, crustáceos e microorganismos. Torna-se acentuada devido ao desenvolvimento de maior complexidade biológica que afeta cada vez mais o manto de alteração, com o acúmulo de detritos minerais e orgânicos.

Na alteração da rocha, verifica-se a remoção de elementos facilmente solúveis (Cl, S, Ca, Na), os quais são utilizados pelas plantas, ou lixiviados. Ao mesmo tempo, ocorre aumento relativo de minerais menos solúveis (Mg, Si, Fe e Al) no material fino da parte superior do manto de alteração, onde também aumentam os teores de matéria orgânica.

A maior influência da atividade biológica do solo verifica-se na porção superior do manto que é muito susceptível aos fatores climáticos, os quais determinam o tipo de intemperismo, bem como as condições de vida (biótipo) dos seres envolvidos (biocenose) na formação dos solos, sejam eles microorganismos ou seres mais desenvolvidos (plantas e/ou animais).

Nos estágios iniciais, os líquens crustáceos podem colonizar a superfície da rocha preparada pelas algas e pelos fungos. Contribuem para a desagregação da rocha, tanto física como quimicamente. Dessa forma, incrementam o fornecimento de água na rocha, contribuindo também para a formação de uma cobertura de matéria orgânica morta que favorece a colonização posterior das plantas maiores. As transformações químicas que ocorreram na formação dos minerais de argila fazem com que certas substâncias minerais sejam disponíveis às plantas mais simples, as quais retiram carbono do CO₂ do ar e eliminam uma série complexa de reações. Não existe um solo verdadeiro sem a presença de matéria orgânica.

As plantas, ao morrerem, são parcialmente decompostas para formar húmus, o qual confere coloração escura às camadas superficiais de muitos solos. O húmus contribui para a alimentação das plantas e com a água forma ácidos que percolam no solo para promover mudanças químicas. As bactérias multiplicam-se intensamente com o desenvolvimento do solo, sendo que algumas exercem funções importantes, como a de retirar nitrogênio do ar, fixando-o da forma N, NH₄⁺, fato que ocorre também em processos de simbiose com fungos (micorrizas) e nas raízes de leguminosas. Nos processos de decomposição desses organismos na nitrificação, atuam bactérias especializadas (*Nitrobacter* e *Nitrossomonas*) que transformam o amônio (NH₄⁺) em nitrato (NO₃⁻), tornando o nitrogênio disponível a uma diversidade maior de organismos vegetais.

As raízes de algumas plantas atingem grandes profundidades facilitando a entrada de ar e a circulação de água no subsolo. Essa ação também é facilitada pelos vermes (minhocas) e outros pequenos animais, os quais auxiliam igualmente as transformações químicas ao passarem grande quantidade de solos pelos seus organismos. A atuação complexa dos fatores físicos, químicos e biológicos, originam o desenvolvimento da estrutura e o arranjo das partículas sólidas do solo. Os produtos do intemperismo, assim como os resíduos

orgânicos, especialmente os colóides minerais (argila) e orgânicos (húmus), por meio de processos de agregação que aglomeram as partículas primárias do solo (grãos de silte e areia) originam os agregados do solo. Estes, por sua vez, podem compor estruturas maiores, conhecidas como estruturas do solo (blocos, prisma, colunas, lâminas, etc.). Da ação diferenciada desses fatores ao longo do perfil, resultam os vários horizontes do solo, os quais se tornam mais claramente desenvolvidos e diferenciados em sua morfologia com o decorrer do tempo.

Em decorrência dos fatores acima mencionados, desenvolvem-se muitos tipos distintos de solos, considerando-se o grande número de minerais e rochas, bem como as condições variadas de intemperização. Provavelmente não existem dois solos de regiões razoavelmente separadas que sejam iguais, causando assim a enorme heterogeneidade dos atributos do solo.

2.2.1 Características dos solos na província de El Oro, Equador

No Equador, as primeiras descrições dos solos data de 1922, feita pelo Dr. H. H. Bennet (Acosta, 1965). Posteriormente, outros estudos de caráter são feitos regionais (Miller e Eifil, 1945; Lopez, 1961; Acosta, 1965) e Depois de todas as experiências mencionadas, o Ministério Agricultura e Pecuária (MAG) da época, representa uma política de planejamento agrícola regional. Durante o período 2000-2002, o projeto "Geração de informação georreferenciada para desenvolvimento Sustentabilidade do Setor Agropecuário ", que gerou mapas de uso atual e cobertura vegetal nas três regiões do Equador (Projeto MAG-IIICA-CLIRSEN, 2002). A maioria dos estudos realizados para o Ministério da Agricultura, Pecuária e Pesca (MAGAP) e os que foram executados caracteres privados são difíceis de acessar; no entanto eles estão inclusos nos relatórios técnicos do ex-CLIRSEN atualmente chamado Instituto Espacial Equatoriano, em estudos pontuais feitos em 2012 (Anexos - mapas).

Segundo Baldock (1982) as áreas correspondentes às paróquias El Cambio, do cantão de Machala; Palmales, do cantão Arenillas; e Buenavista da passagem do cantão planícies geomorfologicamente distintas cobertas por material aluvial de piemonte e fluvial que recobre Depósitos quaternários. De acordo com um estudo realizado por Orston (1983), definiu-se que as formações litológicas nesta área, correspondem às planícies costeiras caracterizado por ter

uma topografia plana a muito levemente ondulado, permitindo os depósitos aluviais dos rios: Jubones ao norte, ao sul Arenillas e leste o rio Buenavista, sistemas fluviais que geraram a planície de depósito fluvial da província de El Oro (ORSTON Map, 1983), estes solos têm sido utilizados por mais de meio século para a exploração da banana, especialmente; bem como outras culturas agrícolas de importância para o país, como a produção de cacau e o campo da aquicultura, produção de camarão.

Por outro lado, nas áreas correspondentes a Río Negro, Tres Cerritos e Vega Rivera, do município de Pasaje, de acordo com Winckell (1992), pertencem ao Piemonte da costa oeste, que constituem um notável conjunto contínuo de Quinindé Norte a Huaquillas ao sul. Sua extensão lateral máximo está localizado na latitude de Guayaquil, onde aproxima-se 90 km de leste a oeste, enquanto é reduzida a uma faixa fina de 15-20 km ao norte de Machala. Lopez (1961), indica que eles apresentam uma topografia irregular atingindo níveis superiores a 1000 metros, que determinam que o potencial agrícola desta área é quase limitado. A nível nacional, profissionais relacionados ao Estudo dos Solos utilizaram várias fontes de informação, nacional e internacional para descrever e classificar os solos. No entanto, os bancos de dados gerados pelas agências relevantes mantiveram a informações para um escopo restrito, por isso, torna-se imperioso gerar este tipo de informação para os fins que a sociedade ou o setor agrícola exige deles.

A província tem uma fisiografia conformada por baixas montanhas, que são os contrafortes da cordilheira do Sudoeste, bem como uma planície seca, diferenciada por ventos oceânicos que causaram uma diversidade climática sub-úmida-seca, com índices notáveis de produtividade do solo. Corresponde à classificação fisiográfica do terraço aluvial, com solos aluviais, produtos de inundações frequentes, bem como planícies claras do altiplano, produto de solos aluviais-coluviais.

Os solos são formados geologicamente por sedimentos aluviais de origem aluvial terciária, rochas aluviais quaternárias e rochas metamórficas do Paleozóico. Alguns fatores têm contribuído para a degradação da província, incluindo a agricultura, mineração, desenvolvimento da indústria do camarão, a agricultura de monocultura, alto uso de agroquímicos, plantio total eo movimento mecânico do solo, o que tem causado o aparecimento dos primeiros sintomas

da desertificação, como a erosão nos solos de alguns cantões, que prejudica o desenvolvimento econômico destes.

A vegetação densa e o substrato rochoso não favorecem a retenção de água da chuva, o que explica, em parte, o aumento do canal durante o inverno e a forte carga de sedimentos na suspensão inferior do rio. Os rios fornecem material de silte de argila em suspensão; por outro lado, a areia vem do mar. Em relação à carga de sedimentos em suspensão, é relativamente alta e é maior no inverno quando a dinâmica da corrente dos rios aumenta consideravelmente devido às chuvas, trazendo consigo uma maior quantidade de material fino. Os leitos dos rios são predominantemente cobertos por material siltoso, bem como areia e uma mistura de ambos, mas em menor grau.

O solo costeiro é constituído por material detrítico quaternário aluvial que preenche as bacias costeiras. Durante períodos de chuvas fortes, em áreas planas e baixas com má inundações drenagem ocorrer e formam solos encomendar Entissolos Fluvents subordem que consistem em depósitos aluviais na planície de inundação, ventiladores, deltas e terraços. A principal característica são camadas estratigráficas de textura variável e com conteúdo de matéria orgânica irregular. Na costa existem áreas expostas à influência do mar, áreas de pântanos que são planícies próximas ao mar, nas quais a água é salobra, onde se desenvolvem os manguezais. O arquipélago de Jambeli é uma área de manguezais, formada por sedimentos recentes de lodo e argila, onde cascalhos e areia são ocasionalmente observados. Estes solos permanecem saturados com água. São solos de cores cinzas, azuladas e com manchas avermelhadas ou enegrecidas, que possuem uma quantidade apreciável de sais com predomínio de argila.

Eles são encontrados especialmente em pântanos costeiros, onde a água é salobra. Há uma área de praia que forma um cordão costeiro feito de areia. Estas praias são barras alongadas paralelas às costas de poucos metros ampla e que é influenciada diretamente pelas ondas, a corrente costeira e a deriva costeira. Para o leste, há solos dos entissolos de ordem de subordens psamments que são de material arenoso de recentes depósitos. Eles têm uma retenção de água muito baixa e quando estão secos e descobertos, são muito propensos à erosão eólica, seu conteúdo de matéria orgânica é baixo.

A parte oriental corresponde à área superior da província, no sopé da serra. São solos que têm muito pouca evidência de formação que ocorrem em encostas íngremes em que a perda de solo é mais rápida que a sua formação. Eles estão distribuídos por relevos acidentados nas encostas da Cordilheira dos Andes ou também em relevo de encostas suaves. As condições de pouca espessura ou desenvolvimento limitam seu uso. Os principais problemas para o seu uso constituem erosão, turbulência e materiais grossos excessivos.

Na Tabela 1 estão apresentadas algumas características físicas, morfológicas e químicas de solos analisados taxonomicamente na província de El Oro, Equador.

Tabela 1. Características físicas, morfológicas e químicas de solos analisados taxonomicamente na província de El Oro, Equador.

Cidade	Sector	Horiz	Prof. (cm)	Cor	Textura (%)			Clase Textural (USDA)	D.ap. (g cm ⁻³)	pH (H ₂ O)	C.E. (dS m ⁻¹)	M.O. (%)
					Areia	Silte	Argila					
Machala	Pajonal	Ap	0 - 25	10 YR (4/4)	22,68	58,00	19,32	FL	1,41	7,46	0,13	0,44
		A	25 - 38	10 YR (5/8)	38,68	60,00	1,32	FL	1,38	7,32	0,09	0,60
		Bw	38 - 63	10 YR (5/6)	24,68	74,00	1,32	FL	1,14	7,13	0,17	0,24
		2C ₁	63 - 82	10 YR (5/8)	48,68	50,00	1,32	FL	1,24	7,07	0,09	0,08
		2C ₂	82 +	10 YR (5/8)	72,68	24,00	3,32	a	1,25	7,01	0,09	0,44
Machala	La Iberia	Ap	0 - 20	10 YR (4/6)	22,46	74,00	3,54	FL	1,33	7,79	0,50	0,6
		A	20 - 32	10 YR (5/8)	16,46	72,00	11,54	FL	1,30	7,83	0,34	0,32
		Bw	32 - 48	10 YR (5/6)	16,46	82,00	1,54	FAL	1,17	7,90	0,44	0,36
		2C ₁	48 - 60	10 YR (5/8)	16,46	44,00	39,54	FAL	1,16	7,78	0,46	0,24
		2C ₂	60 - 70	10 YR (5/8)	16,46	42,00	41,54	AL	1,26	7,68	0,42	0,52
		2C ₃	70 +	10 YR (5/8)	16,46	54,00	31,54	FAL	1,21	7,56	0,41	0,01
Machala	Santa Inés	Ap	0 - 18	10 YR (4/4)	34,24	63,82	1,94	A	1,64	6,8	0,26	2,20
		A	18 - 33	10 YR (4/6)	38,24	60,22	1,54	FL	1,56	7,4	0,15	1,10
		Bw ₁	33 - 46	10 YR (4/6)	40,46	58,00	1,54	FL	1,34	7,1	0,10	0,02
		Bw ₂	46 - 68	10 YR (6/8)	42,46	56,00	1,54	FL	1,41	7,2	0,08	0,01
		2C	68 +	10 YR (4/8)	98,73	1,19	0,08	a		7,2	0,02	0,01
Pasaje	Buenavista	Ap	0 - 20	10 YR (4/6)	22,70	66,20	11,10	FL	1,6	6,82	0,21	1,72
		A	20 - 40	10 YR (4/3)	20,50	66,40	13,10	FL	1,8	7,30	0,18	0,68
		Bw	40 - 60	10 YR (5/6)	18,50	60,40	21,10	FL	1,7	7,50	0,18	0,48
		C	60 +	10 YR (5/8)	20,70	55,22	27,10	FAL	1,7	8,06	0,20	0,34
Arenillas	Palmales I	Ap	0 - 32	10 YR (4/6)	70,00	19,00	11,00	Fa	1,55	7,11	0,10	0,89
		A	32 - 40	10 YR (6/6)	88,00	8,00	4,00	a	1,55	7,17	0,06	0,13
		2C ₁	40 - 94	10 YR (5/6)	66,00	19,00	15,00	Fa	1,60	6,63	0,17	0,55
		2C ₂	94 - 100	10 YR (6/6)	92,00	4,00	4,00	a	1,58	7,18	0,04	0,13
		3C ₁	100 - 115	10 YR (5/8)	72,00	17,00	11,00	Fa	1,66	7,00	0,12	0,27
		3C ₂	115 +	10 YR (6/8)	93,00	4,00	3,00	a	1,57	7,12	0,04	0,06
Pasaje	Rájaro	Ap	0 - 18	10YR (4/6)	44,24	52,44	3,22	FL	1,80	6,30	0,27	0,30
		Bw ₁	18 - 33	10YR (6/4)	30,46	62,22	7,32	FL	1,78	6,19	0,18	0,02
		Bw ₂	33 - 46	10YR (7/3)	26,46	52,22	21,32	FL	1,83	6,19	0,15	0,01
		C	46 - 68	10YR (8/3)	18,46	58,22	23,32	FL	1,82	6,10	0,13	0,01
Pasaje	Río Negro	A ₁	0 - 28	10YR (5/8)	40,46	57,78	1,76	FL	1,84	5,86	0,10	4,21
		A ₂	28 - 53	10YR (6/8)	30,46	65,78	3,76	FL	2,26	5,36	0,08	0,55
		C ₁	53 - 103	10YR (5/8)	78,24	20,00	1,76	a	1,90	5,17	0,07	0,28
		C ₂	103 - 125	10YR (6/8)	46,24	52,00	1,76	FL	1,84	5,77	0,09	0,21
		2C	125 +	10YR (4/6)	80,02	18,22	1,76	a	2,15	5,48	0,08	0,14
Pasaje	Vega Rivera	A	0 - 10	10 YR (5/8)	50,46	26,22	23,32	FAa	1,5	4,56	0,16	3,80
		Bt ₁	10 - 43	10 YR (6/8)	38,46	20,22	41,32	A	1,7	4,24	0,13	3,58
		Bt ₂	43 - 75	10 YR (6/8)	37,46	19,22	43,32	A	1,6	4,40	0,09	0,13
		Bt ₃	75 - 114	10 YR (6/6)	32,46	46,00	21,54	F	1,5	4,36	0,08	0,07
		Cm	114 +	10 YR (7/3)	28,46	72,00	1,54	FL	1,8	4,40	0,09	0,02
Pasaje	Tres Cerros	A	0 - 20	10 YR (3/6)	31,20	19,20	49,50	A	1,67	3,99	0,10	0,89
		Bt ₁	20 - 42	10 YR (3/6)	25,20	9,20	65,50	A	1,74	4,26	0,10	0,68
		Bt ₂	42 - 70	10 YR (4/6)	24,40	24,00	51,50	A	1,72	4,22	0,10	0,48
		C	70 +	10 YR (4/6)	19,20	2,70	83,50	A	1,50	4,22	0,10	0,35
Arenillas	Palmales II	A	0 - 22	10 YR (3/1)	68,46	14,00	17,54	Fa	1,65	6,38	0,08	1,79
		Bw ₁	22 - 40	10 YR (4/1)	68,46	10,44	21,10	FAa	1,55	6,82	0,06	1,03
		Bw ₂	40 - 65	10 YR (2/1)	68,46	12,22	23,32	FAa	1,58	6,46	0,06	0,75
		C	65 +	10 YR (3/6)	56,46	10,44	33,10	FAa	1,62	6,83	0,05	0,13

Fonte: Adaptado de Villaseñor, Chabla e Luna (2015).

2.2.2 Características dos solos na província de Entre Ríos, Argentina

Segundo o Ministerio da Agricultura, Ganadería y Pesca da Argentina, a província de Entre Ríos tem uma área agrícola potencial de 2.617.823 hectares que, somada à 1.312.282 ha de superfícies. Na safra de 2005/2006, a área utilizada na agricultura, incluindo o arroz, foi 1.894.075 ha. Da superfície restante, parte foi desmontada e com sérios problemas de degradação (erosão hídrica, perda de estrutura, etc.), e o resto está sob floresta.

Nos últimos 20 anos, uma alta proporção de departamentos de Entre Ríos que foram identificados como agricultores e mestiços, sofreram algumas transformações caracterizadas por aumentar a participação da agricultura no uso da terra. Esse fenômeno poderia ter impactado negativamente a sustentabilidade dos sistemas de produção, já que o modelo de integração, pastagens e gado favorecem a recuperação da matéria orgânica do solo e devolve parte do nitrogênio exportado pelos grãos, além de contribuir para melhorar a condições físicas do solo.

A existência de terras menos adequadas para a agricultura em certas áreas do território provincial limita o desenvolvimento e a sustentabilidade dessas áreas. A expansão agrícola nessas áreas tem a deterioração dos solos, em outros tempos, seu uso agrícola. Com referência a este último, menos de 20% do total da terra de Entre Rios mostram aptidão agrícola em graus variados.

Na província de Entre Ríos existem cinco ordens de solo distribuídas em diferentes áreas do território geográfico. A ordem predominante corresponde aos solos VERTISSOLOS que ocupam 30,13% da área provincial (2.350.000 ha), seguida da ordem MOLISOL, cobrindo 24,36% (1.900.000 ha). Em menor proporção estão os solos da ordem ALFISOL 10,9%, os solos da ordem ENTISOLS estão presentes em 8,33%, e finalmente, a ordem INCEPTISOL que ocupa 5,77%.

2.2.2.1 Vertisoles

Os materiais originais são calcários de origem pantanosa ou lacustre. As características desses solos se referem àqueles inerentes ao alto teor de argilas expansivas. Então são solos muito escuros, pretos, com alto teor de argilas com tendência a contrair e expandir variando o grau de umidade. Dependendo do uso, os Vertisoles de Norte e Nordeste da província (Vertisoles hidromórficos),

embora não haja problemas de erosão, o uso agrícola é mais limitado do que em outras regiões do mesmo, devido à sua drenagem, exceto culturas de arroz e eventualmente sorgo.

2.2.2.2 Molisoles

No nível do Subgrupo de Solos, dois Argiudules típicos e Argiudules verticos, estes últimos presentes em direção ao leste da província, onde há siltes calcários. Na sua parte superficial são semelhantes aos Argiudolls típicos, mas nos horizontes profundos apresentam características de Vertisoles. As terras que apresentam este tipo de solo são adequadas para uso agrícola, sendo limitando a grande suscetibilidade à erosão.

2.2.2.3 Alfisoles

Eles estão localizados nas áreas planas ou muito suavemente onduladas do centro e centro norte do província, podemos encontrá-los nas margens do rio Gualeguay. São solos mostram uma aptidão muito restrita para as culturas, uma vez que os rendimentos são baixos e há muito risco de falha total ou parcial das culturas. Eles não têm problemas de erosão, mas a drenagem condições físicas deficientes e adversas constituem uma limitação muito grave. Encontrados em áreas com encostas muito suaves. Quando o gradiente excede 1% sua suscetibilidade à erosão é uma grande limitação. Enquanto a sua aptidão para uso agrícola é um pouco melhor do que as anteriores, deve ser esporádico para o risco de erosão.

2.2.2.4 Entisoles

Eles estão localizados em uma faixa irregular na costa do rio Uruguai de largura variável entre 2 e 30 km (Federação dos Departamentos, Concórdia, Colón e Concepción del Uruguay). Dois são distinguidos tipos ou casos, solos areno-avermelhados profundos, sendo o mais adequado para reflorestamento e plantações de citros. Suas principais limitações são a baixa fertilidade e a baixa capacidade de retenção de água, o que os torna praticamente impróprios para

uso agrícola. Solos arenosomarrons, são arenosos, com material argiloso de profundidade variável. Sua aptidão para uso agrícola é maior que as anteriores porque tanto sua fertilidade como sua capacidade de reter água.

2.2.2.5 Inceptsoles

São solos com cor base marrom escuro, texturas argilosas, pH neutro a pouco alcalino e boa fertilidade, geralmente exibem fissuras quando secas. O maior uso é dado em pastagens tropicais e pode ser adequado para culturas sob condições de irrigação artificial.

2.3 Atributos do solo

2.3.1 Atributos físicos do solo

2.3.1.1 Qualidade física do solo

Os solos são capazes de dar sustentação à vida de vegetais terrestres superiores, pois estão associados a vários processos, como a germinação, crescimento radicular, armazenamento de água, aeração e atuam como substrato nutritivo, contribuindo para a dinâmica de nutrientes, no entanto para que exerça suas funções é necessário que solo esteja em condições adequadas (MONTANARI, 2016). Segundo Dexter (2004), a qualidade do solo está relacionada com três aspectos: físico, químico e biológico, componentes considerados fundamentais na manutenção e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

O conceito de qualidade do solo (QS) começou a ser elaborado no início dos anos 90 e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. Porém, o principal avanço foi o aceite da sociedade à importância de avaliar a qualidade do solo. O conceito mais simplificado para o termo foi formulado por Larson e Pierce (1994), como sendo “apto para o uso”. Já Doran et al. (1994), sugerem uma definição mais complexa para QS, que envolve a capacidade de o solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do meio ambiente e promovendo a saúde das plantas e dos animais.

Estudos referentes ao assunto, bem como o uso do termo QS, ainda são incipientes. Um dos desafios atuais é como avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável. A avaliação da qualidade do solo pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos físicos, químicos e biológicos, que possibilitam o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado de qualidade desse solo (MARCHINI et al., 2015).

Ao considerar que o recurso solo é limitado e que alguns de seus componentes requerem períodos de tempo prolongados para serem restaurados, a previsão do grau das perturbações ambientais provocadas pelo manejo inadequado das atividades agropecuárias se torna essencial. Técnicas que visem avaliar a qualidade física de um solo (QFS) de forma simples e confiável ainda é objeto de investigações, e resultados sistemáticos deste monitoramento representam papel central em estudos sobre qualidade do solo (STEFANOSKI et al., 2013). Santos et al. (2011) afirmam que são escassos experimentos que permitam observar as alterações na qualidade do solo resultantes dos efeitos acumulados dos sistemas de manejo.

Conforme Karlen et al. (1997), um bom índice, para que possa ser utilizado na avaliação de uma propriedade ou atributo, deve: (a) de algum modo influenciar o processo para o qual a avaliação está sendo feita; (b) permitir a comparação com alguma condição definida como padrão e; (c) ser sensível e permitir a detecção de diferenças em escala pontual no tempo e no espaço. Sabendo que as propriedades físicas do solo são interdependentes e que, conseqüentemente, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais, propõe-se uma divisão hierárquica dos indicadores de QFS a partir do grau relativo de dificuldade de obtenção de seus valores, sendo classificados (I) primários: aqueles mais facilmente mensuráveis, obtidos por medidas diretas de campo ou de laboratório e (II) secundários: aqueles que, normalmente, são derivados de dados obtidos no campo e/ou no laboratório (indicadores primários), mas que exigem certo grau de tratamento estatístico ou modelagem, sendo de mais difícil interpretação (STEFANOSKI et al., 2013)

Dentre os atributos do solo que podem sofrer alterações estão à resistência à penetração, a densidade, a porosidade, que está relacionada com o estado de compactação, que pode causar dificuldades ao desenvolvimento das

raízes e acarretar perda de produtividade e degradação do solo, devendo ser quantificada, monitorada e corrigida para limites aceitáveis; principalmente quando os valores críticos são obtidos próximos à capacidade de campo (ANDRADE et al., 2013).

A avaliação da qualidade dos solos é uma tarefa muito difícil, podendo ser realizada em função de inúmeros indicadores específicos chamados de atributos, visando caracterizar a perda ou ganho na produtividade das culturas em determinados tipo de solo (SANTOS, 2010). Montanari et al. (2013) concluíram que os atributos umidade do solo, densidade da partícula e a resistência à penetração foram os atributos que mais se relacionaram com a estimativa da qualidade física do solo, avaliando um LATOSSOLO VERMELHO distrófico. Conforme Kiehl (1979), as proporções consideradas adequadas de um solo agrícola, são: 50% de fase sólida e 50% de espaço poroso, devendo ser assim distribuídos, 45% de constituintes minerais e 5% de constituintes orgânicos, $0,17 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ de macroporos, e aproximadamente $0,33 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ de microporos, apesar de que essas proporções serem variáveis e dependem do tipo de solo e principalmente o manejo utilizado na área. Segundo Greenland (1981), a macroporosidade deve ter valor igual ou superior $0,10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, pois um valor inferior a este limite é considerado crítico, podendo ser prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O ponto básico refere-se à diminuição da qualidade da estrutura do solo, podendo ocorrer tanto em superfície, com o aparecimento de finas crostas, quanto em subsuperfície, sob a camada arável, com o surgimento de camadas compactadas, resultando em menores taxas de infiltração de água, que irá acelerar mais ainda o processo de degradação do solo. A degradação essencialmente física do solo (sem perda de solo) é a mais fácil de ser causada e a mais difícil de ser revertida. Assim, para uma gestão segura dos recursos naturais, práticas selecionadas de manejo que aumentem o teor de matéria orgânica e melhorem a estrutura do solo como um todo (compactação do solo, densidade do solo, resistência à penetração de raízes, estabilidade de agregados, porosidade e retenção de água que irá favorecer o crescimento de plantas, refletindo melhor rendimento das culturas (PORTELA et al., 2010).

2.3.1.2 Compactação do solo

A compactação do solo pelo tráfego de máquinas, originada da compressão do solo insaturado, é a principal causa da degradação física dos solos agrícolas, e aumenta com a intensidade de tráfego em condições inadequadas de umidade do solo. Na compactação do solo há aumento de massa por unidade de volume, resultando em aumento na densidade, na resistência à penetração de raízes e na microporosidade relativa, o que contribui para redução linear da porosidade total e da macroporosidade. O sistema radicular talvez seja o primeiro componente da planta a sentir os efeitos da compactação do solo, mesmo quimicamente corrigido. Assim, a busca por valores que indiquem restrições ao crescimento das raízes e diminuição de produtividade torna-se essencial para o sucesso da exploração agrícola (BEUTLER et al., 2005; FLOWERS & LAL, 1998; MONTANARI et al., 2013b; REICHERT et al., 2007)

A resistência mecânica à penetração (RP) é um dos atributos físicos mais adotados como indicador da compactação do solo. Apresenta relações diretas com o crescimento das plantas, sendo mais eficiente na identificação da compactação quando acompanhada da umidade e da densidade do solo (FREDDI et al., 2006). Fisicamente estabelecida pela pressão, ela é dada pela razão entre a força necessária para a penetração de uma haste metálica do penetrômetro, provida de um cone na sua extremidade, cuja área basal é conhecida e constante. Sua avaliação deve ser concomitantemente à da umidade do solo, uma vez que elas variam de forma inversamente proporcional. Contudo, varia positivamente com a densidade do solo (MONTANARI et al., 2010).

Os níveis críticos de RP para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Assim, conforme revisão efetuada por Reichert et al. (2007), recomenda-se sua avaliação quando o teor de água do solo estiver próximo do valor da capacidade de campo. Entretanto, quando obtida no momento em que a umidade do solo estiver ao redor de 2/3 da microporosidade (solo friável/macio) (ROSA FILHO, 2008).

Portanto, valores críticos de RP podem variar de 1,5 MPa a 4,0 MPa (Rosolem et al., 1999); no entanto, valores próximos a 2 MPa são, de maneira

geral, aceitos como impeditivos ao crescimento radicular (BLAINSKI et al., 2008). No entanto, a maioria dos trabalhos tem adotado a seguinte classificação de RP, estabelecida por Arshad et al. (1996): a) extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; b) muito baixa: $0,01 < RP < 0,1$ MPa; c) baixa: $0,1 < RP < 1,0$ MPa; d) moderada: $1,0 < RP < 2,0$ MPa; e) alta: $2,0 < RP < 4,0$ MPa; f) muito alta: $4,0 < RP < 8,0$ MPa e g) extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa.

Secco (2009), pesquisando as consequências da compactação de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico, determinou que a resistência do solo à penetração no intervalo de 2,65 a 3,26 MPa resultou em decréscimos de aproximadamente 24,3 % na produtividade da soja. Marasca et al. (2011) concluiu que a resistência do solo à penetração em um LATOSSOLO VERMELHO distroférico, apesar de ter apresentado valores considerados restritivos (2,90 MPa) ao desenvolvimento radicular, não foi verificada influência negativa na produtividade da soja.

2.3.1.3 Densidade do solo

A densidade do solo (DS), também conhecida como densidade aparente ou densidade global, é uma propriedade física que reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez define as características do sistema poroso. Por definição, a DS é a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca em estufa, a 110°C, e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e poros. Desta forma, todas as manifestações que influenciarem a disposição das partículas do solo, refletirão diretamente nos valores da DS. Essa propriedade é utilizada para se estimar a compactação do solo, de forma mais genérica, pois quanto mais denso um solo, mais compactado ele tende a se apresentar.

Mudanças na densidade do solo são facilmente medidas e podem ser um ótimo indicativo de alterações na qualidade do solo e no funcionamento do ecossistema, aumentos na densidade geralmente implicam em diminuição na qualidade do solo para crescimento radicular, redução da aeração e mudanças indesejáveis no comportamento da água no solo, como redução da infiltração. Pode-se dizer, com certa restrição, que a densidade é a medida quantitativa mais direta da compactação. Dentre os vários métodos usados para a determinação, destacam-se os anéis volumétricos, possuindo bordas cortantes e volume

conhecido, normalmente 50 cm^3 (KIEHL, 1979). Além disso, Kiehl (1979) propõe que a densidade do solo deve permanecer no intervalo entre 1,1 a $1,6 \text{ Mg.m}^{-3}$ em solos minerais, assumindo valores superiores a $1,6 \text{ Mg.m}^{-3}$ em solos de textura arenosa. Já Bowen (1981) considerou que valores em torno de $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos franco-argilosos e argilosos, e de $1,85 \text{ kg.dm}^{-3}$ para solos arenosos, podem afetar o crescimento das raízes e conseqüentemente a produtividade vegetal

Camargo e Alleoni (1997) assinalaram como crítico, em solos variando de franco-argilosos a argilosos, o valor de densidade na ordem de $1,55 \text{ Mg.m}^{-3}$. Já para o cultivo da soja em solos franco-argilo-arenosos, Beutler et al. (2005) afirmaram que a densidade ótima deve ser da ordem de $1,23 \text{ Mg.m}^{-3}$.

A densidade do solo é um atributo físico do solo de grande importância por ser utilizada na avaliação da compactação dos solos, influenciando em algumas outras propriedades como na porosidade, retenção e infiltração de água no solo, desenvolvimento de raízes e vulnerabilidade aos processos erosivos (GUARIZ et al., 2009). Reichert et al. (2003) sugeriram a densidade do solo crítica para solos argilosos variando de $1,30$ a $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$, solos de textura média $1,40$ a $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$ e de $1,70$ a $1,80 \text{ kg dm}^{-3}$ de textura arenosa. Montanari et al. (2010) notaram que valores médios da densidade do solo de $1,36$ – $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$ proporcionaram queda da produtividade de grãos de feijão.

2.3.1.4 Porosidade do solo

O uso e o manejo do solo alteram a sua densidade e, conseqüentemente, a porosidade total e a de aeração. A porosidade de aeração é a razão entre o volume de ar, avaliado quando sua umidade estiver na capacidade de campo, e seu volume total. O ar ocupa o espaço poroso do solo não ocupado pela água. Para um solo seco, todo o espaço vazio (porosidade total) é ocupado pelo ar. A exigência das plantas para com a aeração do solo, isto é, a porosidade livre de água necessária para o seu pleno desenvolvimento, varia entre as espécies e os tipos de solos.

Tomando a porosidade total como um valor fixo, pode-se dizer que uma parte pode ser ocupada por água e a outra por ar. Quando a porosidade de aeração é menor que 10%, a taxa de fluxo de oxigênio em direção ao sistema

radicular das plantas é severamente prejudicada afetando, assim, os processos fisiológicos/metabólicos e, conseqüentemente, o crescimento das raízes das plantas (LEÃO, 2002).

Em relação ao solo agrícola ideal, sua porosidade total, definida como sendo a porção do volume do solo não ocupada pelas partículas sólidas, dada em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, é considerada ideal quando apresentar metade do seu volume, ou seja, $0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Dela fazem parte a microporosidade, que é responsável pelo armazenamento de água, variando entre $0,250$ e $0,330 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e a macroporosidade, representada pelo volume de poros responsáveis pela aeração das raízes, variando de $0,170$ a $0,250 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Por outro lado, valores de macroporosidade inferiores a $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem interferir no desenvolvimento das raízes a ponto de reduzir substancialmente a produtividade agrícola, já para a cultura do feijoeiro valores inferiores a $0,150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (REICHERT et al., 2007).

2.3.2 Atributos químicos do solo

A matéria orgânica do solo engloba os resíduos vegetais em diversos estágios de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável denominada húmus (CAMARGO et al., 1999). Possui uma superfície específica variando entre 800 e $900 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (MEURER et al., 2006), assim como, uma capacidade de troca catiônica que pode chegar a $1400 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$. Atualmente, com a adoção de sistemas conservacionistas de cultivo, tais como o plantio direto e o reduzido, tem-se evidenciado sobre a necessidade da resteva, que se constitui no material precursor da futura matéria orgânica humificada, assim como, sobre a importância dessa fase na ciclagem dos nutrientes, no controle da umidade e da temperatura, infiltração de água, erosão e da atividade biológica do solo (CANELLAS et al., 1999).

A acidez potencial corresponde às substâncias ou aos compostos que liberam H^+ para a solução do solo, causando sua acidificação. Estas incluem o Al^{3+} trocável adsorvido às cargas negativas das argilas e dos grupos funcionais COOH e OH da matéria orgânica (BISSANI et al., 2004). A acidificação do solo pode levar a uma perda significativa da produtividade das culturas (FAGERIA; STONE, 2004).

Considerando que um mesmo sistema de cultivo do solo afeta de forma semelhante os regimes de temperatura e umidade, bem como o fracionamento e a incorporação dos resíduos vegetais nos solos, o efeito diferenciado desses sistemas sobre a taxa de decomposição deve-se provavelmente aos aspectos relacionados às diferentes capacidades protetoras da matéria orgânica à ação decompositora dos microrganismos. Nos LATOSSOLOS, além da mais alta proteção física da matéria orgânica pela maior capacidade de formação de agregados, a matéria orgânica encontra-se, em grande parte, associada às superfícies minerais dos óxidos de Fe, pouco afetadas pelo preparo do solo devido a elevada estabilidade química que possuem (OAEDES et al., 1989).

A matéria orgânica afeta as características químicas, físicas e biológicas do solo. Entre as características químicas, destacam-se principalmente a disponibilidade de nutrientes às culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos. Já a principal característica física modificada é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo, como sua densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e a infiltração de água, que são fundamentais à sua capacidade produtiva. No tocante às características biológicas, a matéria orgânica as afeta diretamente, uma vez que atua como fonte de carbono, energia e nutrientes aos microrganismos (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Os níveis críticos estabelecidos por Raij et al. (1997), para a matéria orgânica do solo, foram: a) baixo: $MO < 25,0 \text{ g dm}^{-3}$; b) médio: $25,1 \leq MO \leq 50,0 \text{ g dm}^{-3}$; c) alto: $MO > 50,0 \text{ g dm}^{-3}$.

Nos solos tropicais altamente intemperizados, a mineralogia oxidica da fração argila representa um importante componente à estabilização da matéria orgânica que, por sua vez, juntamente com as argilas, contribui substancialmente para melhorar a sua agregação e sua estrutura. O incremento e a manutenção da matéria orgânica nos trópicos, sobretudo no cerrado, tem-se mostrado mais difícil do que na região subtropical sul brasileira. A adoção do sistema plantio direto tem contribuído substancialmente para essa melhoria, tanto quantitativa quanto qualitativa, da matéria orgânica do solo, resultando em melhorias às suas características físicas e químicas (SILVA; MENDONÇA, 2007).

O estudo da matéria orgânica do solo merece uma grande atenção desde o século XIX devido, basicamente, a importância da mesma para o funcionamento dos ecossistemas. Intervem de forma ativa na formação do solo condiciona, seu comportamento em relação com o crescimento das plantas e microorganismos, ao influir no armazenamento de água, troca catiónica, e constituir uma fonte de nutrientes, entre outros aspectos (PORTA et al., 2003).

A matéria orgânica de um solo pode proceder da acumulação de restos e resíduos de plantas e animais (biomassa senescente incorporada ao solo, aportes antropogênicos de estiércol e restos de colheitas e produtos orgânicos resultantes da síntese industrial como o caso dos pesticidas), da decomposição de tecidos orgânicos (pela ação mecânica da fauna e dos microorganismos), da degradação ou decomposição de moléculas orgânicas complexas a compostos orgânicos mais simples ou bem da reorganização de certos produtos da degradação.

O tipo e a quantidade de matéria orgânica do solo têm uma forte variabilidade espacial de alguns ecossistemas para outros e dentro de cada um, tanto vertical quanto horizontalmente. Em solos naturais, concentra-se nos horizontes superficiais, ganhando-lhes uma cor escura ao longo dos horizontes mais profundos, que tendem a acumular-se pequenas quantidades de matéria orgânica. A variabilidade de todo o ecossistema está ligada às mudanças na distribuição das plantas.

A importância atribuída a ele a matéria orgânica resultante da sua participação nos processos de tamanha importância para o comportamento do solo e crescimento de plantas e organismos do solo, tais como: fornecimento à formação e estabilização de agregados, adsorção e troca iônica, energia e nutrientes, capacidade de retenção de umidade, edafogênicos vários processos e proteção contra a degradação do solo por erosão (PORTA et al., 2003).

Para a determinação do carbono orgânico do solo, existem vários métodos, neste caso, também tem sido o método de análise elementar baseado no calor de combustão do carbono orgânico do solo.

Em relação aos nutrientes vegetais, o pH do solo influencia as respectivas solubilidades, concentrações na solução e as formas iônicas. Consequentemente, também são influenciadas a absorção e a utilização deles. A grande maioria dos solos brasileiros apresenta sérias restrições ao

desenvolvimento das culturas agrícolas, decorrentes do efeito nocivo da acidez, impondo severas restrições à produtividade agrícola (MCBRIDE; BLASIAK, 1979).

Os solos, quando corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial para uma agricultura tecnificada e de elevada produtividade. O conhecimento da relação entre a acidez do solo e o crescimento e desenvolvimento das plantas é fundamental para o estabelecimento das práticas corretivas dessa acidez, que visem à maior eficiência, tanto dos sistemas de produção agrícola como do uso dos recursos naturais (SOUZA et al., 2007).

Ainda, o pH influencia a atividade de microrganismos do solo que estão ligados com a mineralização da matéria orgânica, nitrificação, fixação biológica de nitrogênio e infecção do sistema radicular com micorrizas, que aumentam a disponibilidade de nutrientes. Portanto, uma das propriedades químicas do solo mais importantes para a determinação da produção agrícola (FAGERIA; SANTOS, 2000).

Fageria (2001) obteve a produtividade máxima de feijão com o pH de 6,2 em solo do cerrado. Já o pH ideal para as culturas de soja, feijão, milho e trigo está em torno de 6,0 e o pH médio do solo de cerrado está em torno de 5,0 (LOPES, 1983). Para o pH em CaCl_2 adotam-se os seguintes limites de interpretação de classes segundo Raij (1991): a) muito alta: até 4,3, b) alta: 4,4 – 5,0, c) média: 5,1 – 5,5, d) baixa: 5,6 – 6,0 e e) muito baixa: > 6,0.

O pH é um número que define a concentração de íons de hidrogênio (logaritmo do inverso da concentração de íons de hidrogênio) e para a classificação da acidez ou alcalinidade das soluções em uma escala de 0 a 14, com 7 sendo soluções neutras. Soluções ácidas tem pH entre 0 e 7 e soluções básicas (ou alcalino), um pH entre 7 e 14. O conceito de pH foi introduzido em 1915 em ciência do solo e desde então tem sido utilizado internacionalmente em todos os laboratórios de análise de solo. O pH do solo tem grande influência sobre a natureza do desenvolvimento da vegetação e das culturas, bem como os nutrientes assimilados elementos maiores e traços.

Além disso, o pH pode determinar a mobilidade dos diferentes elementos no solo, seja natural ou adicionado por descargas poluentes. Desempenha um papel decisivo na especiação dos metais que aparecem no chão ou em geral apenas na forma de ânions. No caso dos metais pesados nos solos cuja espécie

só são cátions, o pH não vê a sua influência de forma decisiva em processos importantes, como a formação de hidroxicomplejos, adsorção em partículas sólidas ou precipitação de hidróxidos e carbonatos (PORTA et al., 2003). O pH de um solo pode ser alterado como resultado da adição de adubo e água para irrigação e pela decomposição da matéria orgânica.

O pH do solo é frequentemente medido em água e uma solução de cloreto de potássio. A medida de água, o chamado pH atual, expressa a quantidade de H⁺ na solução do solo, independentemente de íons de ácido existente, não conta como fixa no complexo de troca (íon H⁺ e Al⁺³). Estes são medidos em KCl, pH conhecido potencial para medir a acidez potencial do solo, onde K⁺ são trocados no complexo de troca pelo ácido. Por esta razão, existem diferenças entre o pH medido em água e medido em KCl (que foi medido em água é de 0,5 a 1,5 unidade superior ao medido em KCl). Na Tabela 2 são apresentados os valores de pH e suas respectivas faixas.

Tabela 2. Valores indicativos de pH e termos usuais para descrever seus intervalos.

pH	Avaliação
<4,5	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muito fortemente ácido
5,1 – 5,5	Fortemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Medianamente básico
7,9 – 8,4	Básico
8,5 – 9,0	Ligeramente alcalino
9,1 – 10,0	Alcalino
>10,0	Fortemente Alcalino

2.4 Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo

A variabilidade dos atributos do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo e pelas culturas. Áreas pedologicamente similares podem apresentar diferença na variabilidade quando submetidas a diferentes práticas

de manejo. E áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes (CORÁ; BERALDO, 2006).

Os atributos de fertilidade química, física e biológica do solo expressam uma grande variabilidade espacial e influenciam o potencial produtivo nos ambientes agrícolas (VIEIRA et al., 2010). Paralelamente, o manejo da fertilidade constitui um dos principais condicionantes da produtividade dos cultivos (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Uma boa caracterização da variabilidade espacial é o procedimento básico para orientar a tomada de decisões no gerenciamento agrônomo dos cultivos na agricultura moderna (RESENDE et al., 2006).

Nesse contexto, a ocorrência de variabilidade de produtividade dentro de uma área de cultivo é a suposição básica que justifica trabalhar com agricultura de precisão (RESENDE et al., 2006). A questão chave é delimitar a localização dessas variações e identificar suas causas, para então definir a melhor estratégia de manejo para cada local, com o intuito de realizar aplicações de insumos de forma variável, na tentativa de homogeneizar a produtividade e/ou reduzir custos para conseqüentemente aumentar a rentabilidade da área (MONTANARI et al., 2010; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Essas variações espaciais podem ser estudadas por meio de técnicas geoestatísticas, e a análise quantitativa do solo usando essas ferramentas tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas na lavoura (MOLIN et al., 2010), além de descrever e quantificar os fatores limitantes a obtenção de alta produtividade (VIEIRA et al., 2010).

Klepker e Anghinoni (1995) verificaram que a variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo aumenta com a adoção do Sistema Plantio Direto, quer no sentido horizontal, pela distribuição irregular de insumos na superfície do solo, quer ainda no sentido vertical, pelas diferenças nos valores encontrados em uma camada mais superficial em relação à outra mais abaixo. Neste sistema, os resíduos dos vegetais levam a alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, causando alterações no movimento e na redistribuição de compostos mais solúveis advindas da decomposição do material orgânico (AMARAL; ANGHINONI, 2001).

As frequentes adubações e calagens em superfície tendem a formar um gradiente de concentração superficial (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989),

causando variabilidade dos índices de pH do solo e das quantidades de nutrientes. A matéria orgânica do solo também tem sido amplamente citada como um indicador-chave da qualidade do solo em áreas agrícolas (ZECH, 1997), pois exerce um papel fundamental no solo, agindo em sua estrutura pelo fornecimento de substâncias agregantes, no suprimento de macro e de micronutrientes, na capacidade de troca catiônica e no tamponamento do pH (ZANÃO JÚNIOR; LANA; GUIMARÃES, 2007).

Souza (1992) estudando a variabilidade espacial do solo em Sistema Plantio Direto e convencional verificou que o Plantio Direto apresentou maior variabilidade na quantidade de matéria orgânica e de nutrientes no perfil do solo do que o sistema convencional. O autor conclui que esses resultados podem estar relacionados com o não revolvimento da camada superficial do solo. Resultado diferente foi encontrado por Schlindwein e Anghinoni (2000) que observaram baixa variabilidade horizontal nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica desde que a distribuição de calcário e da palhada das culturas sejam uniformes. Os autores também verificaram acumulação de nutrientes menos móveis na camada superficial no perfil do solo, o que criou uma estratificação e variabilidade vertical.

2.5 O Clima

A climatologia baseia-se no estudo das medições registradas dos parâmetros meteorológicos no maior número de locais e para cada local no maior número de anos possível. Graças a essas medições, a climatologia estuda o estado físico médio da atmosfera e sua variação no tempo e no espaço. Os parâmetros medidos são temperatura, umidade, precipitação, vento, insolação, etc. A climatologia classifica os diferentes tipos de clima existentes no planeta, sua localização geográfica e sua evolução ao longo do tempo.

Clima é a média dos valores diários de temperatura, precipitação, etc., coletados em um determinado local durante um longo período de tempo, normalmente 30 anos. É, portanto, o tempo médio gasto naquele local durante esse período. Informa-nos sobre as variações sazonais típicas desse local. Do estudo dessas variações, obtêm-se os diferentes tipos de climas: equatorial,

tropical, desértico, estepe, subtropical, mediterrâneo, marítimo, continental e polar.

Tempo e clima são dois conceitos que muitas vezes são confundidos. Ambos se referem a condições locais de temperatura, precipitação, etc. mas a principal diferença é a escala de tempo. O tempo refere-se ao momento atual, enquanto o clima se refere a um período de muitos anos.

Tempo é o estado da atmosfera em um determinado momento e lugar. É dado por uma combinação de elementos climáticos como pressão, temperatura, precipitação, umidade, vento e nebulosidade, podendo variar em dias, horas ou minutos. Os meteorologistas prevêm como estará o tempo nos próximos dias.

O clima e o tempo dependem não apenas dos elementos climáticos, mas também de fatores climáticos. São agentes como latitude, ventos predominantes, correntes marítimas, distância ao mar, altitude e relevo, que modificam, acentuam ou limitam os elementos do clima.

Dentre as classificações mais utilizadas, destacam-se as de Köppen e Papadakis.

O sistema Köppen data de 1884 e se baseia no fato de que a vegetação natural tem uma clara relação com o clima, por isso os limites entre um clima e outro foram estabelecidos levando em consideração a distribuição da vegetação. Os parâmetros para determinar o clima de uma área são as temperaturas e precipitações médias anuais e mensais, e a sazonalidade das chuvas. Köppen divide os climas do mundo em cinco grupos principais: tropical, seco, temperado, continental e polar, identificados pela primeira letra maiúscula. Cada grupo é dividido em subgrupos e cada subgrupo em tipos de clima. Os tipos de clima são identificados por um símbolo de 2 ou 3 letras. O procedimento para determinar cada grupo, subgrupo e tipo de clima é descrito em detalhes a seguir. Para cada grupo principal, são apresentados em tabela os tipos de clima em que se subdivide, com suas vegetações associadas e as regiões em que se encontram, citando alguns exemplos específicos de áreas representativas.

Papadakis em 1952 classifica os climas com base em áreas agrícolas. Leva em conta fatores de grande importância para a viabilidade das lavouras, como a severidade dos invernos e a duração e calor dos verões. Para definir o clima de uma área, é necessário conhecer as temperaturas médias máximas, médias, mínimas, mínimas absolutas, precipitação acumulada e

evapotranspiração potencial. A partir desses valores, são delimitados o tipo de inverno, o tipo de verão e o regime hídrico. A combinação desses três fatores determina o tipo de clima da região.

Atualmente, assistimos a um processo de mudança climática, visto que o planeta está se aquecendo. A temperatura média da superfície da Terra está aumentando e, embora isso tenha acontecido mais de uma vez em seus 4,54 bilhões de anos de história, esse aquecimento atual é muito mais rápido do que no passado. A principal causa desse aquecimento (com mais de 95% de probabilidade) é a enorme quantidade de gases de efeito estufa que o ser humano vem liberando na atmosfera desde a revolução industrial, resultado da queima de combustíveis fósseis como carvão e petróleo.

Os raios do sol atravessam a atmosfera e aquecem a Terra. Parte desse calor é irradiado de volta ao espaço, mas outra parte é retida pela atmosfera terrestre devido aos gases de efeito estufa que ela contém naturalmente, principalmente vapor d'água, além de dióxido de carbono, óxido nitroso e metano. Esses gases agem como uma manta que cobre a Terra e retém o calor, e graças a eles a temperatura da superfície do nosso planeta está dentro dos limites que tornam a vida possível.

No entanto, devido à enorme quantidade de combustíveis fósseis queimados na atividade humana, a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera só aumenta, no caso do dióxido de carbono (CO₂) aumentamos sua concentração natural em mais de um terço desde a criação industrial revolução, com a qual a temperatura média da superfície da Terra é cada vez mais alta.

Esse aquecimento global pode afetar os padrões climáticos terrestres, tornando muitas regiões mais quentes, algumas mais frias, outras mais secas ou úmidas, daí a conversa sobre mudança climática. O fato de essas mudanças ocorrerem tão rapidamente tornará mais difícil para os sistemas humanos e naturais se adaptarem a elas.

Algumas das consequências negativas do aquecimento global são:

- Ondas de calor mais longas e intensas e mais secas.
- Aumento do nível do mar devido ao derretimento do gelo continental e à expansão natural da água do mar à medida que sua temperatura aumenta;

- Aumento da frequência e intensidade de furacões e tufões, devido ao aumento da temperatura do mar;
- Redução ou desaparecimento da cobertura de neve nas montanhas, que é a fonte de água potável e de irrigação.

2.5.1 Características do clima de Galícia

Dois fatores influenciam principalmente o clima da Galícia: a circulação da atmosfera (centros de alta e baixa pressão, massas de ar e frentes) e as características geográficas do território galego (localização, altitude, disposição do relevo e distância ao mar). Esses fatores determinam uma notável variedade de tipos de clima.

A Galícia, com uma superfície de 29154 km², situa-se entre os 41° e 43° de latitude norte, na parte ocidental da Europa meridional, e no noroeste da Península Ibérica. Devido à sua posição geográfica, a Península Ibérica situa-se numa zona de contato entre massas de ar de natureza muito diversa cuja presença está relacionada com a disposição de centros atmosféricos positivos ou negativos ao longo do ano, em virtude das modificações sofridas pela circulação de a atmosfera em suas camadas superiores (FONT TULLOT, 2002; MIRÁS AVALOS, 2003). Essas massas de ar, ao buscarem o equilíbrio energético com a atmosfera, determinam diversos tipos de clima.

Neste contexto, a Galícia participa nas condições do chamado domínio oceânico ibérico e é influenciada pelos ventos de oeste. Estes tendem a estar mais próximos no inverno, mais afastados no verão e adotam posições intermediárias na primavera e no outono. Ao deslocarem-se sobre o oceano, fornecem humidade e são responsáveis pelas chuvas que atravessam o território galego. No entanto, este domínio oceânico, devido a fatores geográficos, em particular o relevo, adquire nuances do litoral ao interior, e de norte a sul, de modo que se configuram zonas climáticas diferenciadas (GARCÍA DE PEDRAZA, 1977; DE UÑA ALVAREZ, 2001)

Os centros de ação das principais massas de ar que atuam na Península Ibérica e na Galícia determinam o tempo e influenciam o clima de diversas formas. Os centros de alta pressão ou anticiclones dão origem a dias secos e claros. O anticiclone dos Açores, que faz parte da cintura subtropical de altas

pressões, é como uma barreira que impede a passagem das frentes de chuva. A sua posição varia, já que no verão atinge as posições do Norte e no inverno recua para domínios mais ao sul. É responsável pelo clima seco e ensolarado, mais ou menos quente dependendo das estações do ano. Durante o semestre frio surgem os anticiclones polares do Atlântico Este e da Europa Central continental, dando origem a dias frios, sobretudo no inverno, com presença de geada ou nevoeiro.

Os centros de baixa pressão são responsáveis pela precipitação na Galícia. As depressões atlânticas, quando substituem os anticiclones, atraem frentes polares de chuva para a Galícia e são mais fortes no inverno e na primavera.

Os referidos centros enviam diferentes massas de ar para a Galícia. As tropicais são quentes por sua origem, úmidas ou secas, conforme sejam marítimas ou continentais, e chegam principalmente no verão. As polares, originárias de altas latitudes, são frias, úmidas e instáveis porque seguem uma trajetória oceânica, e secas se cruzam os continentes. Mais raras são as árticas que dão origem às temidas ondas de frio. As massas de ar tropicais e polares, ou as polares frias e temperadas, entram em contato e formam as frentes de chuva, que chegam à Galícia principalmente de oeste e provocam chuvas intensas. As correntes de norte também costumam ser muito chuvosas, dando origem a aguaceiros com precipitação intensa. Estas diferentes massas de ar são, em grande parte, responsáveis pela grande variabilidade climática da zona e pelas bruscas mudanças meteorológicas à escala diária e sazonal.

Em síntese, o carácter oceânico natural da Galícia é determinado, sobretudo, pelas componentes temperadas e subtropicais, responsáveis pela sazonalidade das chuvas mais marcada na parte sul da região, enquanto os episódios árticos são pontuais (MARTÍNEZ CORTIZAS E PÉREZ ALBERTI, 1999).

Características geográficas

Os centros de ação, massas de ar e frentes acima descritos, em contato com o território da Galícia, adquirem características peculiares que se refletem nas suas próprias nuances climáticas. Não há dúvida de que fatores como

relevo, altitude e distância do mar são os que mais afetam o clima de um lugar. Estas feições geográficas da Galícia caracterizam-se pela sua variedade, o que se traduz numa importante variedade climática.

Cinco grandes unidades morfológicas foram listadas na Galícia: 1) o litoral, 2) as superfícies planas, 3) depressões tectônicas, 4) cumes e 5) vales fluviais, como ligação entre eles.

Junto à costa, o encaixe da rede fluvial gera um relevo ondulado, de vales e colinas encadeados. Por outro lado, os blocos mais altos da Galícia são constituídos pelas montanhas, situadas geralmente acima dos 700 metros, e cuja altura máxima atinge os 2.124 metros, na Peña Trevinca. Acima dos mil metros também estão Peña Rubia e Cufíña.

Existem pequenas serras abaixo dos 700 m, diferenciando-se a) as serras centro-oeste (desde A Faladoira até O Faro de Avión, passando pela Serra da Loba, Cova da Serpe, O Careón, O Farelo, O Faro, O Suído e Montes del Testeiro), b) os do norte (especialmente o maciço do Xistral) e c) os do leste ou sudeste (a Serra de los Ancares, O Courel, O Eixe, o maciço de Manzaneda e o maciço de Trevinca, a Serra de Queixa, a Serra de San Mamede, O Burgo, As Corzas e a serra de Invernadoiro), segundo Xunta de Galicia, (2016).

A configuração orográfica da Comunidade Autónoma da Galícia mostra que os sistemas montanhosos se estendem preferencialmente no sentido norte-sul. No entanto, o traçado do sistema cantábrico delimita o efeito das massas de ar vindas do Norte, constituindo um claro obstáculo à sua penetração no interior.

Os vales galegos, pela sua disposição em relação ao mar, representam um meio natural de penetração da influência oceânica no interior, são geralmente uma continuação dos estuários que aproximam os ventos atlânticos e cantábricos. Por outro lado, os vales do Sil e do Tâmega permitem a passagem de características mediterrânicas mesmo para regiões como o vale de Lemos ou de Verín, respetivamente. A influência oceânica é muito mais notória nos grandes vales com orientação W-E, como o Tambre, o Ulla e o Minho, de que é exemplo o clima ameno do baixo Deza ou Mandeo. Nos vales do Sudeste, a seca do verão é combinada com altas temperaturas, enquanto no inverno, primavera e outono, inversões térmicas e neblina persistente podem ser muito frequentes, de modo que são comuns os dias em que o vale está coberto, enquanto cerca de 300 metros acima brilha o sol (XUNTA DE GALICIA, 2016).

A altitude desempenha um papel importante no clima galego. A altitude média na Galícia ronda os 500 m e o intervalo mais frequente situa-se entre os 400 e os 600 m; os valores extremos oscilam entre 0 e 2124 m. as superfícies que com uma altura entre os 400 e os 600 m constituem o planalto do interior da Galícia (MIRÁS AVALOS, 2003), situado entre a costa e a serra. Este facto, somado à sua orografia complexa, desempenha um papel fundamental na caracterização da sua diversidade climática.

Dado que a maior parte do território se situa entre os 400 e os 600 m, as superfícies situadas a este nível e ou acima constituem uma montanha de média altura, que, embora afete a variedade climática, não é um obstáculo intransponível às massas de ar. que vêm das latitudes do Norte; Assim, as frentes polares não só afetam a costa cantábrica do norte da Galícia, mas também estendem o seu raio de ação a outras regiões localizadas a sul delas.

A presença do oceano, e, em particular, a sua maior ou menor proximidade a uma estação, intervém na regulação do regime térmico e pluviométrico (CARBALLEIRA et al., 1981 A, 1981b; MIRÁS AVALOS, 2003, MACHADO SIQUEIRA, 2017). Em primeiro lugar, devido ao seu lento processo de aquecimento e arrefecimento, a massa oceânica mantém-se mais fria que o continente durante o verão, enquanto é mais quente durante o inverno, o que provoca uma notável atenuação dos máximos estivais (retardando o seu aparecimento para o mês de agosto) e dos mínimos de inverno (retardando seu aparecimento para o mês de fevereiro); Ao mesmo tempo, a amplitude térmica anual torna-se maior à medida que nos afastamos da costa (CARBALLEIRA et al, 1983; MIRÁS AVALOS, 2003). Em segundo lugar, há um aumento da humidade do ar e do seu potencial de precipitação; particularmente no outono e no inverno, as massas de ar marítimo condensam-se facilmente ao entrarem em contato com a superfície fria do continente, produzindo chuvas abundantes.

O clima galego é também muito influenciado pelo fato de as águas do mar serem notavelmente mais quentes do que corresponde à sua latitude devido à Corrente do Golfo. No entanto, embora seja verdade que as temperaturas relativamente elevadas da superfície do mar desempenham um papel fundamental no clima da Comunidade Autónoma, as características climatéricas marítimas restringem-se a uma faixa costeira mais ou menos larga consoante as condições de relevo locais. A água do mar também desempenha um papel

importante no clima devido ao enriquecimento de calor e vapor d'água experimentado pelas massas de ar que a percorrem há muito tempo. Consequentemente, a proximidade à costa é um dos fatores que determina a “oceanidade” ou “continentalidade”, que por sua vez podem ser considerados como critérios orientadores para a caracterização do clima da Comunidade Autónoma da Galícia (CARBALLEIRA et al; 1981b; 1983; DE UÑA ÁLVAREZ, 2001, MIRÁS AVALOS, 2003).

Tipos de clima, segundo diversas classificações

Em síntese, a situação geográfica da Comunidade Autónoma da Galícia, no extremo noroeste da Península Ibérica, faz com que esteja sujeita à influência do Oceano Atlântico a oeste e do Mar Cantábrico a norte, dupla influência que condiciona significativamente o clima da região, tornando-a totalmente inserida no que se convencionou chamar de Espanha úmida (AEMET, 2011). Aos factores determinantes da localização, devemos acrescentar o efeito do relevo nas características climáticas da Galícia. Neste contexto, embora a Galícia se caracterize por participar nas condições do chamado domínio oceânico ibérico, os blocos montanhosos desempenham um papel importante como barreira climática. Como consequência de factores orográficos, o clima adquire inúmeras nuances desde o litoral até o interior, dando origem a áreas diferenciadas (DE UÑA ÁLVAREZ, 2001), ou seja, existe uma grande diversidade de climas de transição.

A diversidade do clima galego foi destacada por vários autores que utilizaram diferentes sistemas de classificação. Assim, seguindo a classificação de Papadakis, os tipos climáticos mais comuns vão do temperado ao mediterrâneo, embora o tipo pirenaico seja reconhecido em alguns enclaves (CARBALLEIRA et al., 1983). Mais detalhadamente, estes autores distinguem oito regimes termais, incluindo três do tipo Marítimo (supermarino, marítimo quente, marítimo frio), três do tipo temperado Quente (frio e frio) e dois pirenaicos (pirenaicos e pirenaicos frios).

De acordo com a classificação climática de Köppen, toda a Comunidade Autónoma da Galícia é caracterizada por um clima de tipo C (clima temperado-quente), onde predomina a variedade Cfb (clima temperado húmido com verão

quente e sem estação seca), embora alguns de menor áreas -maior nas províncias de Ourense e Pontevedra respondem à variedade Csb (clima temperado chuvoso com verão seco e quente).

De acordo com a divisão da Península Ibérica em regiões climáticas estabelecida por Font Tullot (2002), a Galícia pertence inteiramente à chamada zona verde (caracterizada por um clima de tipo europeu ocidental), sendo atravessada pela divisão entre as chamadas marítimo e semi-marítimo, que correspondem, respetivamente, à zona relativamente próxima da costa (tanto atlântica como cantábrica) e à zona interior da Comunidade Autónoma. Especificamente, a província da Corunha, a metade norte de Lugo e Pontevedra em sua maior parte, pertence à região marítima, enquanto o restante da comunidade galega já pertenceria à região semimarítima. A divisão climático-regional da Península Ibérica utilizada por Font Tullot (2002) baseia-se fundamentalmente nos índices hídricos anuais de Gorezynski e Thornthwaite, bem como no regime pluviométrico.

2.5.2 Variabilidade espacial da temperatura

Um dos elementos mais importantes do clima é a temperatura do ar. A temperatura é caracterizada com base em dados medidos ou registrados em estações meteorológicas, como a média, a média dos máximos, a média dos mínimos, os máximos, os mínimos, a oscilação ou a diferença entre máximos e mínimos, etc., e avaliados em diferentes escalas de tempo. Por outro lado, devido à distribuição espacial irregular das estações e ao reduzido número ou densidade das estações de medição, ainda existem dificuldades na obtenção da distribuição espacial das variáveis climáticas. Frequentemente, modelos matemáticos obtidos a partir de equações de regressão têm sido usados para estimar a temperatura média do ar em locais onde faltam medições de estações meteorológicas. Na Galícia, o mapeamento das temperaturas médias normalizadas foi estimado usando funções de regressão, usando altitude e latitude como variáveis independentes (MARTÍNEZ CORTIZAS et al., 1999). Mais recentemente, a geoestatística foi usada para avaliar a temperatura média em escala mensal ao longo de três anos.

Tendo como referência as características termométricas e a visualização dos dados que aparecem nos mapas disponíveis (Atlas Climático de Galícia, coordenado por Martínez Cortizas e Pérez Alberti, 1999; Atlas Climático Ibérico (AEMET 2011) elaborado a partir dos valores médios do período 1956/1985), na maior parte da Galícia a temperatura média anual apresenta valores entre os 10 °C e os 15 °C. No entanto, este último valor é ultrapassado numa faixa próxima da costa ocidental da região, enquanto nas zonas mais montanhosas das províncias de Lugo (Serras de Os Ancares e O Caurel) e Ourense (Serras de Queixa, San Mamede, O Eixe e Segundeira), os valores do referido parâmetro mantêm-se abaixo dos 10 °C, sendo que mesmo à volta de Cabeza de Manzaneda, no interior da Serra de Queixa, os referidos valores são inferiores a 7,5 °C (MARTÍNEZ CORTIZAS et al., 1999; AEMET, 2011).

O mês mais frio do ano é geralmente janeiro, cuja temperatura média - acusando os efeitos da relativa continentalidade e altitude - apresenta valores abaixo dos 7,5 °C em todo o interior da Galícia, valores que descem abaixo dos 5 °C nas suas zonas mais altas (já se aproximando dos 0 °C nas serras Queixa e Os Ancares). Por outro lado, nas zonas pré-litorais da Galícia, o referido mês de inverno apresenta temperaturas mais amenas, com valores médios superiores a 7,5 °C, sobretudo nas Rías Baixas, onde as correspondentes médias ultrapassam os 10 °C. Por sua vez, o mês mais quente costuma ser julho (embora em algumas estações e em certos anos possa ser agosto), cuja temperatura média apresenta seus valores mais altos, acima de 20 °C nas Rías Baixas, bacia baixa do Minho e Valle del Sil, enquanto nas terras altas do interior da região (planalto de Lugo e zonas montanhosas de Ourense) as médias termométricas do referido mês de verão se situam entre os 15 °C e os 17,5 °C.

Assim, e ao contrário do que acontece no resto da península, a região marítima, na Galícia, estende-se consideravelmente para o interior, devido à orientação das Rías Baixas na costa atlântica, que facilita a penetração dos ventos quentes e húmidos do sudoeste, que, ao mesmo tempo que contribuem com chuvas abundantes, contribuem para amortecer as oscilações térmicas. Pelo contrário, na região semi-marítima, a amplitude das oscilações térmicas anuais e diurnas é maior, com máxima continentalidade na meseta de Lugo e na serra ourense (FONT TULLOT, 2002).

Como consequência, a amplitude média anual da oscilação térmica diária apresenta valores que variam desde os inferiores a 8 °C que encontramos nas zonas costeiras das províncias de Lugo e A Coruña, até aos superiores a 12 °C que ocorrem na maior parte da província de Ourense (embora no seu terço oriental, ou seja, na parte mais montanhosa da mesma, os valores sejam um pouco inferiores aos últimos indicados) e no extremo sul da de Lugo.

Na Galícia, observa-se uma correlação negativa elevada dos valores térmicos com o aumento da altitude, manifestando-se uma clara diminuição das temperaturas com o aumento da altitude (CARBALLEIRA et al., 1983; DE UÑA ÁLVAREZ, 2001, MACHADO SIQUIERA, 2017). Assim, verificou-se a especial incidência que a altitude tem sobre a temperatura. Esta correlação pode ser usada para realizar análises geoestatísticas.

CAPITULO 3
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO
SOLO NA REGIÃO DE EL ORO, EQUADOR

3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO NA REGIÃO DE EL ORO, EQUADOR

RESUMO

A modelagem matemática ao semivariograma, moderado pela geoestatística, é uma ferramenta capaz de contribuir para pesquisas sustentáveis. A necessidade de estudos de solo na província de El Oro, Equador, possibilitou relizar esse estudo e gerar informações por meio da análise de variabilidade e estabelecimento da estrutura de dependência espacial e correlação linear de alguns atributos do solo, a fim de auxiliar no planejamento de atividades agrícolas em seis cidades. Em todas elas foram realizadas análise descritiva inicial, geoestatística e matriz de correlação linear simples com base em uma malha com 368 pontos amostrais. Apenas o pH e areia apresentaram coeficiente de variação alta (22,02% e 25,42%), todos os outros atributos apresentaram variação muito alta. A maioria dos semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico; o maior alcance foi indicado pelo magnésio (41.500 m) e o menor pelo cobre (7.740 m). O número de pares no primeiro LAG mostrou influência no alcance e no ADE para o teor de Zinco. O par Mg versus soma de bases foi a maior correlação linear dentre todos os atributos analisados. O pH se destacou como intermediador e influenciador de outros atributos do solo.

Palavras-chave: geoestatística; correlação linear; krigagem; semivariograma; fertilidade do solo

ABSTRACT

The mathematical modeling to semivariogram, moderated by geostatistics, is a tool capable of contributing to sustainable research. The need for soil studies in the province of El Oro, Ecuador, made it possible to carry out this study and generate information through analysis of variability and establishment of spatial dependence structure and linear correlation of some soil attributes, in order to assist in the planning of activities in six cities. In all of them, initial descriptive analysis, geostatistics and simple linear correlation matrix were performed based on a mesh with 368 sample points. Only pH and sand presented a high coefficient

of variation (22.02% and 25.42%), all other attributes presented very high variation. Most semivariograms were fitted to the spherical model; the highest range was indicated by magnesium (41,500 m) and the lowest by copper (7,740 m). The number of pairs in the first LAG showed influence on the range and on the ADE for Zinc content. The Mg pair versus base sum was the highest linear correlation among all attributes analyzed. The pH was highlighted as an intermediary and influencer of other attributes of the soil.

Keywords: geostatistics; linear correlation; kriging; semivariogram; soil fertility

3.1 Introdução

Os solos do Equador estão presentes 25 tipos de clima e diferentes ordens de solo, dos quais, 50% são superfícies afetadas por processos erosivos, 17% à deterioração causada por bacias hidrográficas, 15% pela desertificação e 9% pela perda de nutrientes do solo (GARDI et al., 2014). A província de El Oro está localizada mais ao sul da costa equatoriana, sendo composta por zonas montanhosas, bosques úmidos, bosques secos, costas e ilhas. Dentre os fatores que têm contribuído para a degradação da província, destaca-se a agricultura, tendo em vista o alto uso de agroquímicos e o preparo mecânico do solo, o que tem causado o aparecimento dos erosões do solo em alguns municípios, prejudicando o desenvolvimento econômico destes (GOBIERNO PROVINCIAL AUTÓNOMO DE EL ORO, 2014). O governo equatoriano estabeleceu a necessidade de incorporar um enfoque territorial com uma visão de desenvolvimento. Os estudos de solo, sobretudo geoestatístico, permitem determinar a distribuição geográfica das propriedades físico-químicas do mesmo, com objetivo de conservação e manejo do solo (CASTILHO, 2015).

Os atributos químicos do solo podem ser férteis ou se tornarem férteis por meio do manejo adequado. O manejo do solo pode influenciar na variabilidade espacial desses atributos e conseqüentemente na variação da produtividade em uma área (BURAK et al., 2016). Para tanto é necessário quantificar a variação desses atributos, uma vez que os mesmos, por serem sistemas dinâmicos e abertos, estão em constantes modificações (DALCHIAVON et al., 2011b; MONTANARI et al., 2015). Nesse sentido, modelos

matemáticos e de modelos estatísticos têm explicado o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza, como a variação dos atributos químicos e físicos do solo, bem como suas relações.

Dentre as técnicas estatísticas utilizadas na análise e interpretação de dados edafológicos, se destaca a geoestatística, que tem como característica principal a análise da distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinado por meio do semivariograma à distância ou período de tempo de dependência entre estas. Além disso, possibilita os respectivos mapeamentos da área estudada por meio da krigagem - que permite interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; DALCHIAVON et al., 2012; RESENDE et al., 2014).

A modelagem matemática ao semivariograma, moderado pela geoestatística, é uma ferramenta capaz de contribuir para pesquisas sustentáveis, por meio da identificação de metodologias que auxiliem na caracterização mais adequada da estrutura e da magnitude da dependência espacial das variáveis, tais como as relações existentes entre os atributos do solo, podendo assim contribuir com o planejamento agrícola, manejo do solo, conservação e seus impactos futuros.

Portanto, o objetivo deste estudo foi gerar informações por meio da análise de variabilidade e estabelecimento da estrutura de dependência espacial e correlação linear de alguns atributos do solo, a fim de auxiliar no planejamento de atividades agrícolas em seis cidades na província de El Oro, Equador.

3.2 Material e métodos

A província de El Oro é uma das 24 províncias que compõem a República do Equador, localizados ao sul do país, numa área conhecida como região litoral ou costa. Foram avaliados atributos químicos e físicos de seis municípios na província de El Oro: Huaquillas, Machala, Chilla, Atahualpa, Portovelo e Las Lajas (Tabela 3). A formação ecológica desses municípios corresponde a dez zonas de vida: floresta temperada úmida, floresta temperada muito úmida, floresta subtropical úmida, floresta subtropical muito úmida, floresta tropical seca, floresta subtropical seca, arbustos espinhosos tropicais, arbustos

espinhosos subtropicais; matagal desértico tropical, matagal desértico subtropical.

Tabela 3. Localização, média anual de temperatura e precipitação pluvial dos municípios estudados na Província de El Oro.

Município	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Temperatura (°C)	Precipitação pluvial (mm)
Huaquillas	3°28'53"	80°14'36"	24 a 30	40 a 96
Machala	3°16'00"	79°58'00"	22 a 28	48 a 830
Chilla	3°27'00"	79°35'24"	8 a 20	124 a 925
Atuhalpa	2°54'00"	78°56'00"	7 a 23	27 a 61
Portovelo	3°43'00"	79°37'00"	18 a 24	66 a 528
Las Lajas	3°47'06"	80°03'42"	18 a 23,5	40 a 425

Fonte: Adaptado de Holdridge (1967).

As coletas de amostras do solo foram realizadas a cada dois quilômetros em forma de grade ou grelha com pequenas mudanças no campo com trado tipo holandês e GPS para georreferenciamento, com uma profundidade de 0-0,20 m, totalizando assim 368 pontos na malha amostral (Figura 3). As amostras foram destinadas ao laboratório de solos da Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universide Técnica de Machala (UTMACH), Machala, Equador e foram analisados os atributos químicos: potencial hidrogeniônico (pH), Fósforo disponível (resina) (P), teor de zinco (Zn), teor de cobre (Cu), teor de Ferro (Fe), teor de Manganês (Mn), teor de Sódio (Na), teor de potássio (K), ter de cálcio (Ca), teor de magnésio (Mg), soma de bases (SB) e teor de matéria orgânica (MO) – e físicos: Textura do solo (teor de argila, areia e silte).

Para a análise granulométrica (textura do solo) foi utilizado o método do hidrômetro (BOUYOUCOS, 1927). A matéria orgânica (MO) foi quantificada de acordo com o método de oxidação úmida (WALKLEY e BLACK, 1934) e para o restante dos atributos químicos utilizando o método de espectrofotometria de absorção atômica (ALKEMADE e MILATZ, 1955; WALSH, 1953). As análises comporam seis teses (CÁRDEÑAS, 2007; JUMBO, 2007; MORENO, 2007; PINEDA, 2007; SEDAMANOS, 2007 e UZHO, 2007).

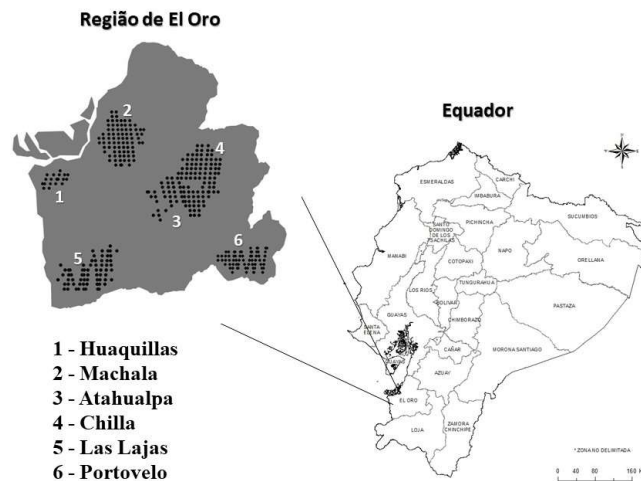


Figura 3. Malha amostral utilizada para a avaliação dos atributos do solo nos 6 municípios de El Oro, Equador.

Para cada atributo do solo estudado, foi realizada a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), sendo realizados os cálculos da média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência. Para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk a 5% de significância. A variabilidade de um atributo foi classificada, de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). Além disso, foi elaborada uma matriz de correlação com o objetivo de efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados.

O componente espacial foi caracterizado individualmente pela dependência espacial entre as amostras, que foram analisadas pelo método do semivariograma. Este se baseia na teoria de variáveis regionalizadas (WEBSTER, OLIVER, 1990) e descreve a continuidade espacial das variáveis como uma função da distância entre os dois locais, segundo a Equação

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \dots \dots \dots (1)$$

Onde $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação h ; $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h . A plotagem $\hat{\gamma}(h) \times h$ produz o semivariograma experimental, que apresenta um comportamento puramente aleatório ou algum comportamento sistemático por modelos teóricos (esférico, exponencial e gaussiano).

A escolha do modelo de semivariograma e seus parâmetros foram baseados pela soma do quadrado dos resíduos e o coeficiente de determinação (r^2) ajustando um modelo teórico para um semivariograma experimental. Posteriormente, foram obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas de krigagem para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos quantificados. Os semivariogramas, ajuste de modelos e interpolação pela krigagem ordinária foram realizadas pelo programa GS+ versão 9.0 - Geostatistics for the Environmental Sciences (ROBERTSON, 2004).

Para cada atributo, foram estimados o efeito pepita (C_0), o alcance (A_0) e o patamar ($C_0 + C$). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a seguinte Equação (2):

$$ADE = [C/(C+C_0)] \times 10 \dots \dots \dots (2)$$

Onde: ADE é o avaliador da dependência espacial; C é a variância estrutural; $C+C_0$ é o patamar. O ADE foi avaliado de acordo com Dalchiavon e Carvalho (2012), onde: a) $ADE < 20\%$ = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) $20\% \leq ADE < 40\%$ = baixa dependência (BA); c) $40\% \leq ADE < 60\%$ = média dependência (ME); d) $60\% \leq ADE < 80\%$ = alta dependência (AL) e e) $80\% \leq ADE < 100\%$ = muito alta.

3.3 Resultados e Discussão

De acordo com os coeficientes de variação dos atributos analisados (Quadro 4), à exceção do pH e areia, que apresentaram variação alta (22,02 e 25,42% respectivamente), os atributos obtiveram variação muito alta,

evidenciado pela discrepância entre os valores mínimos e máximos. O pH e areia tendem a ter variação menor com relação aos outros atributos químicos (CARVALHO et al., 2003). As variações dos atributos químicos do solo são influências de um conjunto de relações entre solo-planta-ambiente, desde os processos de formação do solo e seu manejo (CARNEIRO et al., 2016). Estas variações muito altas podem ter ocorrido pela variedade de zonas de vida nestes municípios, além da diversidade de manejos aplicados e irregularmente direcionados no uso da terra.

Em um estudo sobre a variabilidade espacial de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, Dalchiavon et al. (2011) constataram baixa variabilidade dos dados para o pH, com coeficiente de variação de 7,3% e alta variabilidade para os demais atributos (CV = 30,4-64,5%). Santos et al. (2014) conduzindo um experimento em um LATOSSOLO cultivado com café também encontrou variabilidade alta para a maioria dos atributos químicos do solo.

Analisando as variáveis em relação à tendência de concentração dos dados, notou-se que, maioria dos atributos apresentou médias altas destacadas por sua assimetria positiva, ou seja, as médias se mantiveram maiores que a mediana (Tabela 4). Verificou-se também que, com exceção da areia, todos os atributos apresentaram distribuição de frequência indeterminada, tendo em vista que pela probabilidade do teste de Shapiro-Wilk, os valores apresentaram-se não significativos a 5% de probabilidade, rejeitando-se a hipótese de nulidade H_0 de normalidade.

Segundo Lemos Filho et al. (2017) a normalidade dos dados é uma condição desejável para o ajuste dos semivariogramas pela metodologia da máxima verossimilhança, devido ao fato de o ajuste do modelo de semivariograma por essa metodologia não se basear nos pontos do semivariograma, mas sim, nas diferenças dos dados originais. Porém, neste estudo, os valores de mediana e média estão próximos, destacado pelo coeficiente de curtose que deve ser preferencialmente nulo, contudo é aceito valores entre -2 e +2 (NEGREIROS NETO et al., 2014).

Tabela 4. Análise descritiva inicial dos atributos químicos e físicos de solos na região de El Oro, Equador.

Atributo (a)	Medidas estatísticas descritivas										Probabilidade do teste ^(b)	
	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr < w		DF
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria			
pH	36 8	5,51	5,15	3,86	8,10	1,04	22,02	-1,07	0,51	0,0001	IN	
Argila (%)	36 8	15,96	14,88	0,88	46,00	10,56	66,16	0,15	0,82	0,0001	IN	
Areia (%)	36 8	53,97	55,00	17,00	96,00	13,72	25,42	0,05	-0,05	0,3190	NO	
Silte (%)	36 8	28,05	30,00	0,88	64,00	14,39	51,32	-0,26	-0,08	0,0001	IN	
P (mg.dm ⁻³)	36 8	20,82	43,53	3,00	132,35	30,65	64,32	-0,87	0,49	0,0001	IN	
Zn (mg.dm ⁻³)	36 8	3,43	3,30	0,50	8,67	1,82	52,96	0,14	0,76	0,0001	IN	
Cu (mg.dm ⁻³)	36 8	5,04	4,10	0,10	15,80	3,62	71,75	0,57	1,07	0,0001	IN	
Fe (mg.dm ⁻³)	36 8	121,7 9	105,20	8,20	335,80	85,27	70,02	-1,05	0,44	0,0001	IN	
Mn (mg.dm ⁻³)	36 8	70,78	56,50	3,20	229,80	56,61	79,98	-0,46	0,76	0,0001	IN	
Na (mmolc.dm ⁻³)	36 8	11,7	1,13	0,18	2,71	0,53	44,99	-0,09	0,37	0,0001	IN	
K (mmolc.dm ⁻³)	36 8	7,00	0,38	0,07	2,59	0,64	90,52	0,54	1,20	0,0001	IN	
Ca (mmolc.dm ⁻³)	36 8	94,8	9,52	2,24	18,35	3,22	33,98	0,20	0,24	0,0001	IN	
Mg (mmolc.dm ⁻³)	36 8	46,9	4,30	1,08	11,05	2,19	46,81	0,27	0,75	0,0001	IN	
SB (mmolc.dm ⁻³)	36 8	187,6	16,51	4,47	45,56	9,38	50,02	0,54	1,04	0,0001	IN	
MO (%)	36 8	1,83	1,52	0,00	6,14	1,46	79,65	0,17	0,91	0,0001	IN	

(a) pH, P, Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, SB e MO são, respectivamente, potencial hidrogeniônico, teores de fósforo disponível (resina), zinco, cobre, ferro, manganês, sódio, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases e matéria orgânica; (b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

Em estudo acerca dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO, Dalchiavon et al. (2017) também encontraram dados que não apresentaram distribuições simétricas, contudo, com coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero. Deste modo, possibilita ocorrer à avaliação da dependência espacial dos atributos.

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas estão na Tabela 5 e, bem como seus respectivos semivariogramas (Figura 4). A maioria dos semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico, corroborando

com Lima et al. (2010) e Neves Neto et al. (2013) que apontaram os modelos esféricos e exponenciais como os mais frequentes aos atributos do solo. O modelo esférico é um dos mais ajustados na prática e se caracteriza por alcançar o patamar a uma distância finita e é indicativo de fenômenos contínuos. O modelo exponencial é detentor de maior alcance entre os dois, nas mesmas circunstâncias (CALVETE e RAMIREZ, 1996).

Tabela 5. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para alguns atributos químicos e físicos de solos na região de El Oro, Equador.

Atributos ^(a)	Modelo (b)	Efeito pepita		Alcance (a)			ADE ^(d)		Validação cruzada ^(e)		
		(C ₀)	(C ₀ + C)	(m)	r ²	SQD ^(c)	%	Classe	a	b	r
Areia	esf. (1284)	6,790x10	2,003x10 ²	17200	0,923	1,092x10 ³	66,1	AL	2,28	0,959	0,628
Silte	esf. (4270)	4,260x10	2,186x10 ²	39900	0,905	2,510x10 ³	80,5	MA	- 0,06	1,000	0,785
Argila	esf. (1132)	4,570x10	1,322x10 ²	37000	0,891	1,206x10 ³	65,4	AL	0,12	0,992	0,684
pH	gau. (6212)	2,000x10 ⁻³	1,834	36026	0,839	5,880x10 ⁻¹	99,9	MA	0,13	0,975	0,875
P	gau. (3446)	4,108x10 ²	1,019x10 ³	35680	0,945	2,756x10 ⁴	60,0	AL	- 0,29	1,000	0,702
Zn	exp. (73)	5,910x10 ⁻¹	2,540	8850	0,959	7,710x10 ⁻²	76,7	AL	0,12	0,962	0,655
Cu	esf. (948)	4,360	1,340x10	7400	0,491	2,340x10	67,5	AL	0,80	0,838	0,501
Fe	esf. (2420)	2,800x10 ²	9,600x10 ³	32200	0,910	8,044x10 ⁶	97,1	MA	1,27	0,926	0,802
Mn	exp. (2437)	1,540x10 ²	3,056x10 ³	14100	0,731	6,630x10 ⁵	95,0	MA	5,29	0,929	0,741
Na	esf. (2437)	8,640x10 ⁻²	3,368x10 ⁻¹	38300	0,885	8,146x10 ⁻³	74,3	AL	0,01	0,987	0,727
K	esf. (111)	4,830x10 ⁻²	1,796x10 ⁻¹	7740	0,701	4,758x10 ⁻³	73,1	AL	0,02	0,974	0,840
Ca	esf. (1284)	3,340	1,127x10	23000	0,710	2,600x10	70,4	AL	0,27	0,970	0,704
Mg	esf. (4270)	1,210	5,847	41500	0,919	1,480	79,3	AL	0,18	0,962	0,729
SB	esf. (4970)	3,300	1,066x10 ²	39000	0,825	1,555x10 ³	96,9	MA	1,72	0,908	0,776
MO	esf. (959)	8,960x10	2,945	25680	0,848	8,120x10 ⁻¹	69,6	AL	0,16	0,911	0,565

^(a) pH, P, Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, SB e MO são, respectivamente, potencial hidrogeniônico, teores de fósforo disponível (resina), zinco, cobre, ferro, manganês, sódio, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases e matéria orgânica; ^(b)exp = exponencial, esf = esférico, epp = efeito pepita puro, com seus devidos pares no primeiro lag; ^(c)SQD = soma dos quadrados dos desvios; ^(d)ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta. ^(e) a b e r são interceptação por y, coeficiente de regressão e coeficiente de correlação.

O teor de Zinco se constatou o maior coeficiente de determinação espacial ($r^2 = 0,959$), com alcance de 8.850 m e ADE de 76.7%. A razão pela qual o Zn obteve um dos menores alcances e ADE em relação aos outros atributos pode ser explicada pelo número menor de pares no primeiro LAG (73). O LAG,

segundo Camargo (1998) se refere a uma distância pré-definida, a qual é utilizada no cálculo do semivariograma, ou seja, na menor distância entre os pontos amostrados (2.000 m), foi considerada equivalente apenas 73 pares de amostras, indicando menor alcance, porém com alto coeficiente de dependência espacial.

Em contrapartida, o maior alcance foi obtido pelo teor de Mg (41.500 m), logo, as determinações efetuadas a distâncias maiores que essa nos solos aqui estudados, não tem dependência espacial e, por esse motivo, deve ser adotado a estatística descritiva. O menor alcance foi do teor de Cu (7.740 m), deste modo, visando auxiliar projetos futuros, nas mesmas condições deste estudo, os valores dos alcances utilizados em análises geoestatísticas, em geral, não devem ultrapassar 7.740 m. Neste trabalho há uma grande variedade de uso dos solos, que possuem cultivo de banana, pastos, camarão, bosques, solo sem cultivo, café e fruticultura, porém vale ressaltar que o alcance dos atributos neste estudo geoestatístico é significativo quando analisamos a amplitude da malha amostrada (94.000 m x 74.000 m).

Os resultados obtidos nesse estudo diferiram dos trabalhos de Zonta et al. (2014) e Santos et al. (2014) que verificaram fraca dependência espacial para o Zn, mostrando ser um atributo muito variável espacialmente e dependente do tipo de uso do solo e de sua mobilidade. Em relação ao alcance, em estudo realizado no Equador, Valle et al. (2014) utilizando menor malha amostral, com distância entre amostras de 100 m, não constataram dependência espacial para o pH, que apresentou maior ADE nesta pesquisa. Carneiro et al. (2016) ressaltam que o alcance é influenciado pelas práticas agronômicas, principalmente pela aplicação de corretivos e fertilizantes que, formam as zonas específicas de manejo do solo.

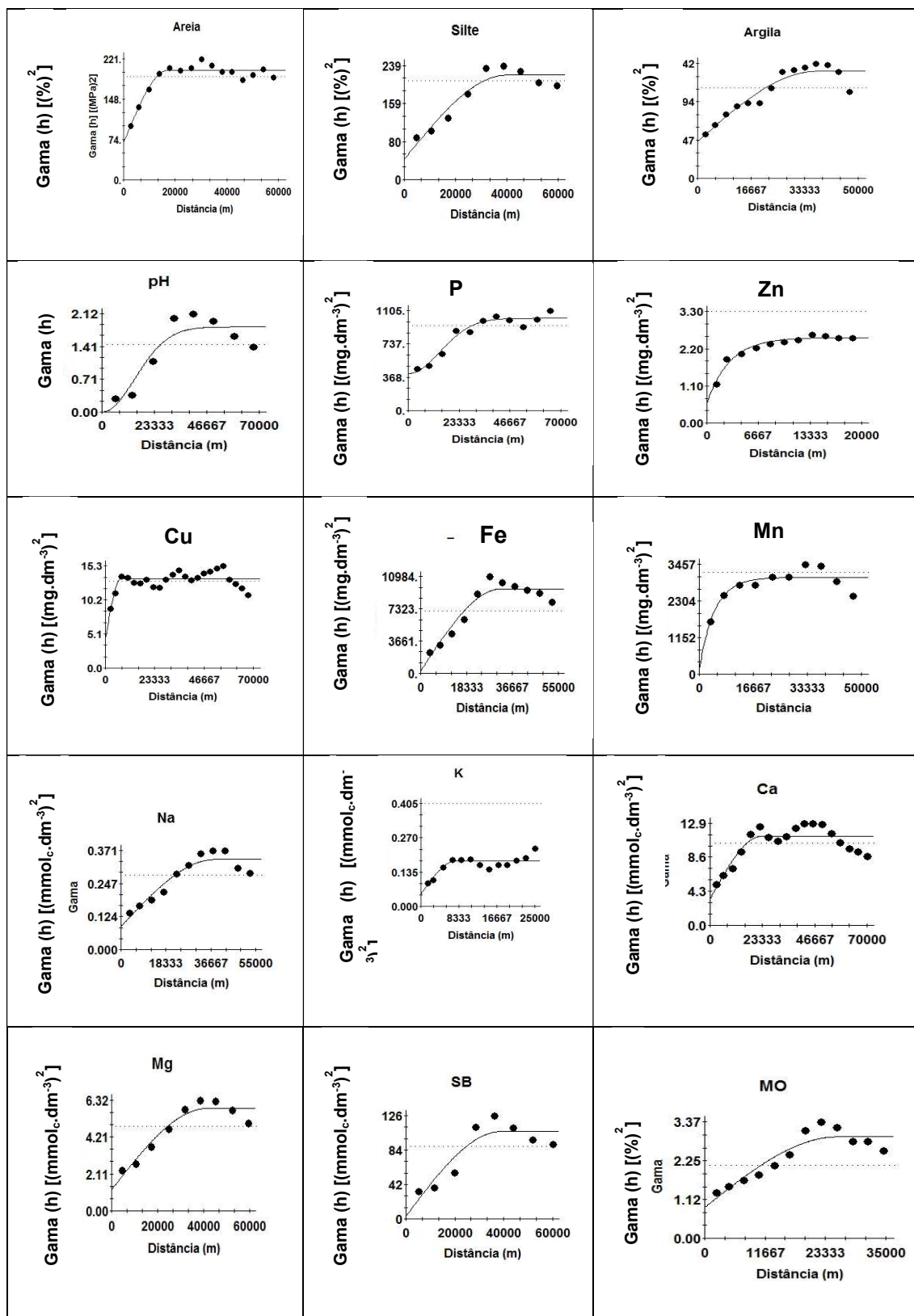


Figura 4. Semivariogramas simples dos atributos de solos na região de El Oro, Equador.

De acordo com mapas de krigagem (Figura 5 e 6) da distribuição dos atributos do solo foi possível verificar que houve grande variação dos atributos

avaliados na área, confirmando os resultados de coeficientes de variação averiguados na análise descritiva (Tabela 4). Os mapas de distribuição obtidos por meio da interpolação dos dados, pelo método da krigagem ordinária, são fundamentais na visualização zonas específicas de manejo, as quais são informações importantes para o aumento da precisão na agropecuária, e possibilita a aplicação de insumos com taxas variadas, visando à homogeneização da fertilidade do solo (CARNEIRO et al., 2016).

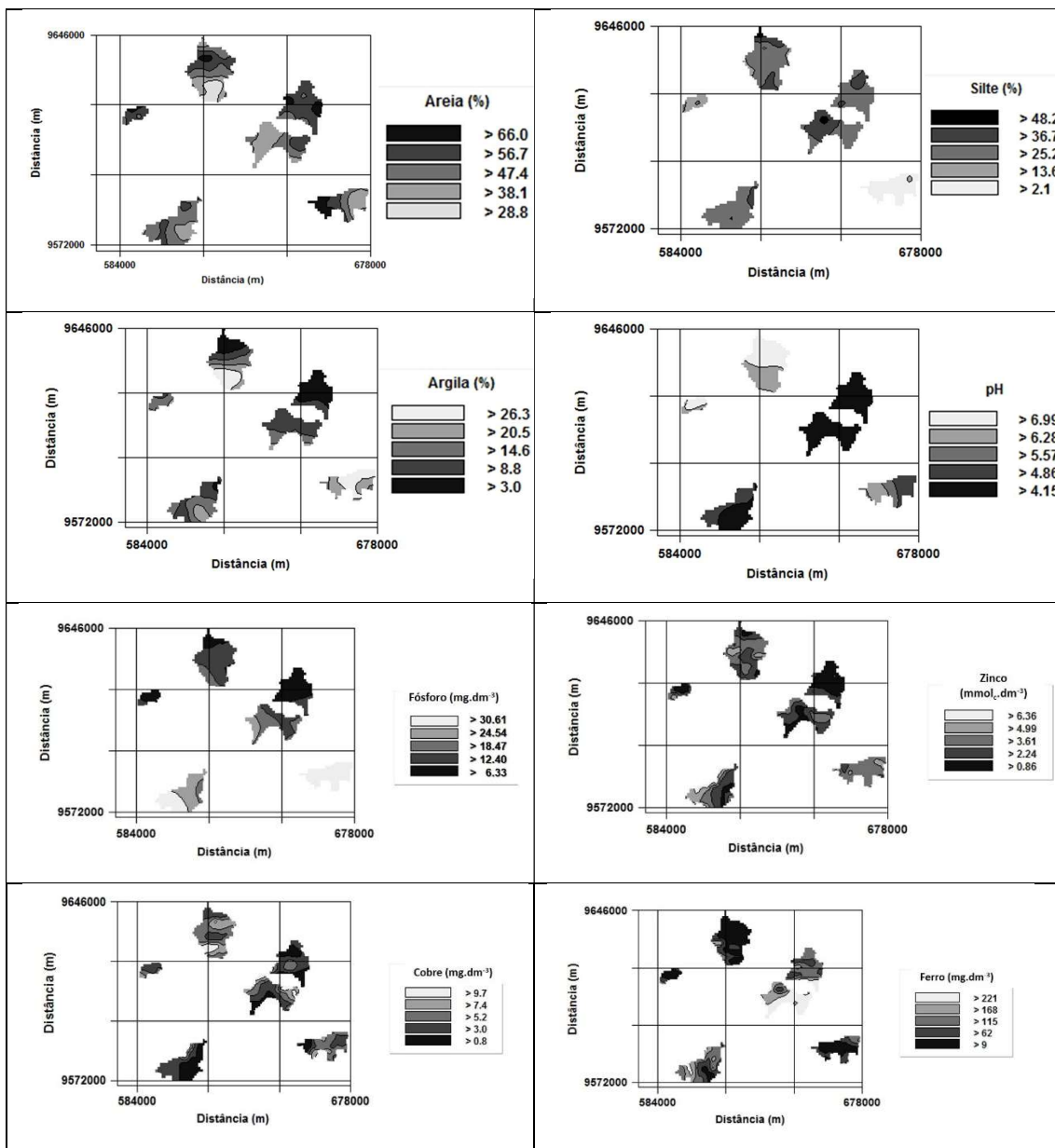


Figura 5. Mapas de krigagem dos atributos de solos (Areia, Silte, Argila, teores de fósforo disponível, zinco, cobre e ferro) na região de El Oro, Equador.

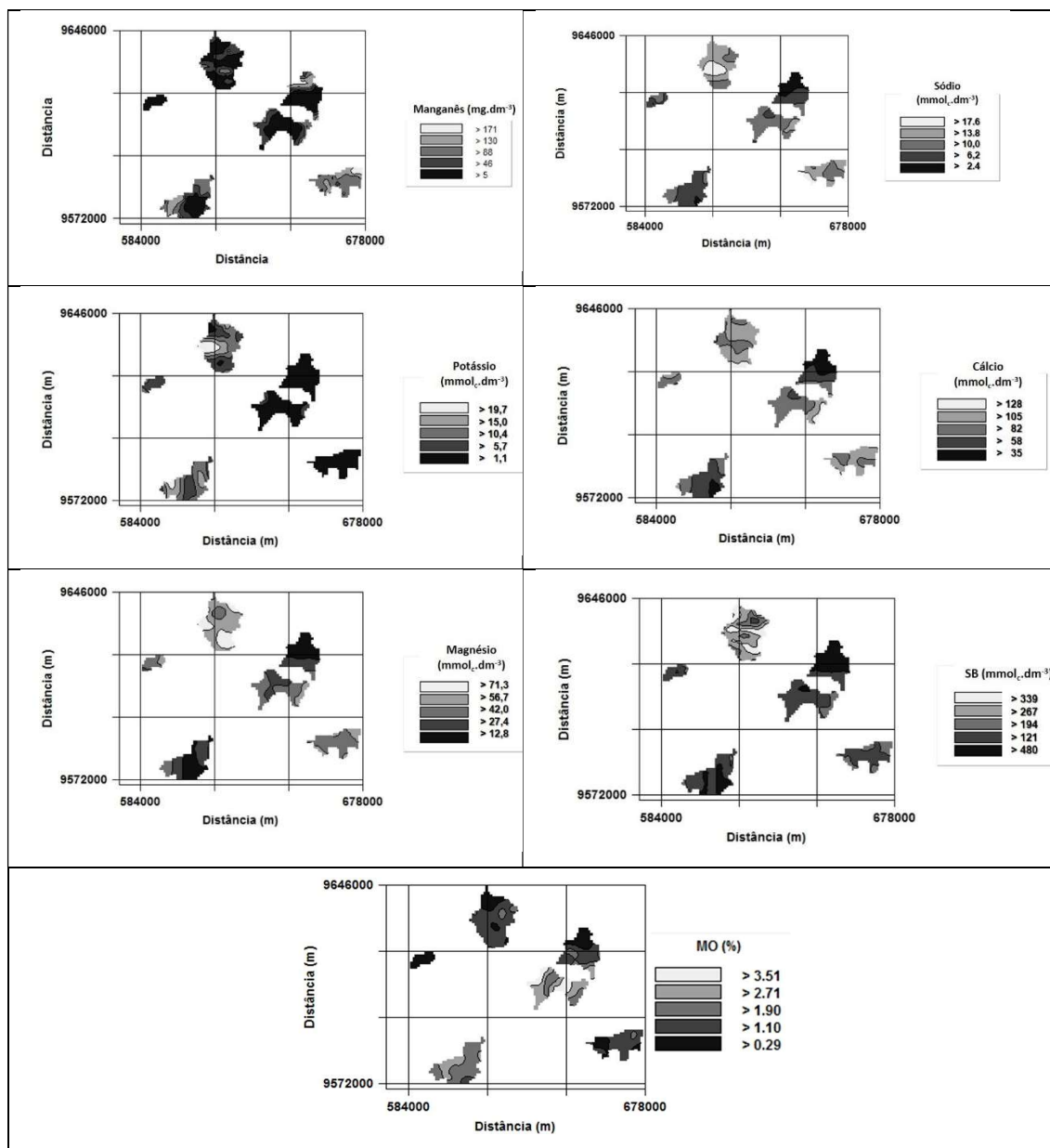


Figura 6. Mapas de krigagem dos atributos de solos (teores de manganês, sódio, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases e matéria orgânica) na região de El Oro, Equador.

Com relação aos mapas apresentados, Las Lajas, Atahualpa e Chilla apresentaram elevada semelhança espacial para efeito prático de manejo do solo entre o pH, SB, Mn, Mg e Ca. Ambientes com acidez alta (pH < 5,0) e SB baixa evidenciam a necessidade de calagem, a fim de homogeneizar a fertilidade do solo e proporcionar melhor condição às atividades agrícolas, uma vez que a maior parte dos solos analisados nesses municípios estão sob pastagem e provavelmente degradadas, resultando em um ambiente muito heterogêneo.

Os mapas de krigagem foram importantes para determinar essas zonas específicas de manejo do solo, principalmente com relação ao pH e SB. Dalchiavon et al. (2017) também verificaram grande semelhança entre teores de Ca, Mg, SB e acidez potencial, deixando claro que essas relações são amplamente discutidas na literatura, sendo de fato o comportamento esperado para a dinâmica dos solos tropicais.

A análise de correlação linear de Pearson simples entre os atributos químicos dos solos estudados consta na Tabela 6. O pH e o teor de Zn foram os atributos que mais apresentaram significância, enquanto que, a Areia e o teor de Mn foram aqueles com menor significância.

O pH é um dos principais fatores que influencia na disponibilidade de nutrientes no solo e talvez por esse fato, obteve correlação com a maioria dos atributos estudados. O destaque configura na correlação positiva e significativa entre pH *versus* SB ($r = 0,648$; $p < 0,01$). Já o teor de Zinco trata-se de um micronutriente metálico e influenciável por diversos fatores, como: pH, temperatura, capacidade de troca catiônica, competição com outros micronutrientes metálicos, ligação com ânions, forma iônica da solução do solo, textura, densidade do solo, matéria orgânica e tipo de minerais de argila. (OLIVEIRA et al., 1998).

O par Mg *versus* SB obteve a maior correlação linear significativa ($r = 0,729$; $p < 0,01$) dentre todos os atributos analisados. Esta correlação positiva indica que os resultados exercem uma posição proporcional, ou seja, neste estudo quando o teor de Mg aumenta, a soma de bases tende a aumentar também. Esse resultado é perfeitamente normal uma vez que a SB representa a soma das bases trocáveis (Ca + Mg + K e Na) nos colóides do solo, com exceção de H⁺ e alumínio. A correlação positiva e significativa entre SB e as outras bases e as bases entre si (Quadro 6), ou seja, entre os pares SB *versus* Na ($r = 0,614$; $p < 0,01$), SB *versus* Ca ($r = 0,634$; $p < 0,01$), SB *versus* K ($r = 0,353$; $p < 0,01$), Mg *versus* Na ($r = 0,560$; $p < 0,01$), Mg *versus* K ($r = 0,260$; $p < 0,01$), Mg *versus* Ca ($r = 0,607$; $p < 0,01$), Ca *versus* Na ($r = 0,623$; $p < 0,01$) confirmam a naturalidade desse resultado.

Em outro estudo, Lima et al. (2016) realizaram testes no horizonte A e B, em 93 trincheiras individuais compreendendo 5 ordens de solo: ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, LATOSSOLOS, NEOSSOLOS E NITOSSOLOS. Esses

autores obtiveram correlações lineares significativas e positivas acima de 0,657 ($p < 0,01$) nos dois horizontes entre os atributos pH (em cloreto de cálcio, cloreto de potássio e água), teor de Ca e SB, corroborando com o presente estudo. A relação positiva entre a soma das bases trocáveis do solo e o pH são altamente comprovadas na literatura (MONTEZANO et al., 2006; DALCHIAVON et al., 2011; SANA et al., 2014). O pH correlaciona-se positivamente com os valores de P, Ca, Mg, K, soma de bases e saturação por bases e capacidade de troca catiônica e negativamente com a saturação por alumínio. Com a neutralização de parte da acidez, as cargas negativas são liberadas no complexo de troca e ocupadas por Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , aumentando a fertilidade do solo e a produção agrícola (ABREU JUNIOR et al., 2003).

Tabela 6. Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos químicos e físicos de solos na região de El Oro, Equador.

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação (b)														
	Areia	Silte	Argila	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg	SB
Silte	-0,492**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila	-0,369**	-0,390**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	0,093	-0,112*	0,121*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	0,083	-0,426**	0,324**	-0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-0,053	0,139**	0,043	0,253**	-0,037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-0,063	-0,176**	0,253**	0,205**	0,321**	0,277**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-0,016	-0,101	0,133*	0,244**	0,067	0,246**	0,324**	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-0,032	0,151**	-0,080	-0,586**	0,074	-0,014	-0,003	0,022	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,049	-0,183**	0,038	-0,153**	0,218**	-0,027	0,307**	0,103*	0,083	-	-	-	-	-	-
Na	-0,024	-0,201*	0,256**	0,444**	0,180**	0,111*	0,256**	0,143**	-0,194**	0,050	-	-	-	-	-
K	-0,130*	0,210**	0,021	0,353**	-0,004	0,390**	0,290**	0,030	-0,126*	-0,048	0,210**	-	-	-	-
Ca	-0,194**	-0,120*	0,354**	0,407**	0,178**	0,078	0,267**	0,242**	-0,086	0,074	0,623**	0,083	-	-	-
Mg	-0,214**	-0,053	0,308**	0,513**	-0,027	0,148**	0,194**	0,243**	-0,161**	0,017	0,560**	0,260**	0,607**	-	-
SB	-0,226**	0,064	0,223**	0,648**	-0,065	0,247**	0,226**	0,211**	-0,340**	-0,101	0,614**	0,353**	0,634**	0,729**	-
MO	-0,109*	0,184**	0,015	-0,282**	0,114*	0,093	0,159*	0,077	0,499**	-0,023	-0,012	0,006	0,096	-0,029	-0,074

^(a) pH, P, Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, SB e MO são, respectivamente, potencial hidrogeniônico, teores de fósforo disponível (resina), zinco, cobre, ferro, manganês, sódio, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases e matéria orgânica; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1% .

3.4 Conclusões

Os atributos do solo apresentaram variação alta ou muito alta, porém com coeficientes de curtose e assimetria próximos de zero e dados sustentados na normalidade, indicando malha amostral estruturada para a análise de dependência espacial viável.

O teor de Zinco obteve o maior coeficiente de determinação espacial e alcance influenciado pelo baixo número de pares no primeiro LAG.

O pH se destacou como o maior influenciador dos outros atributos químicos do solo e suas zonas específicas de manejo.

Apesar da grande malha amostral e variabilidade dos atributos pelo uso do solo, o alcance e dependência espacial que os atributos atingiram neste estudo geoestatístico foi significativo e pode ser utilizado como fonte de planejamento no manejo futuro dos solos na região de El Oro, Equador.

CAPITULO 4
ADDITION OF AMENDMENTS TO RECOVER
COMPACTED SOIL UNDER NO TILLAGE SYSTEM

4. ADDITION OF AMENDMENTS TO RECOVER COMPACTED SOIL UNDER NO TILLAGE SYSTEM

Abstract

The addition of organic and inorganic amendments can positively influence the structure of the soil, as well as improvements in the penetration resistance (PR). In this context, the current study aimed to evaluate if the application of amendments improves PR in the short term and describes the spatial variability of PR in the surface horizon of an Aquic Argiudoll under no-tillage. The four treatments tested consisted of surface applications with: poultry litter (PL) as organic amendment, gypsum (G) as inorganic amendment, a combination of both (PL+G), reapplication of PL over half of plots PL+G and PL, and control (T). For each treatment, a descriptive analysis was performed and spatial variability is quantified from semivariograms, predominantly determining the spatial dependence between sample units. The highest PR was found in the T treatment (1.96 MPa) and the lowest in the PL+G+PL (0.21 MPa). The PL+G+PL treatment indicated that this attribute was the one with the best semivariographic adjustment and all treatments showed very high spatial dependence, explained by the well-formed sample mesh. The treatments with reapplication of poultry litter (PL+PL and PL+G+PL) showed profiles with lower PR and more homogeneous kriging maps. The reapplication over PL did not present effects on PR values. However, the reapplication over PL+G caused effects in all PR ranges. The surface represented by the range 1.2 - 1.8 MPa decreased from 54.17 to 6.65%. For some reason, the application of gypsum followed by the application of poultry litter caused hardening, particularly in the layer 0.05-0.20 m.

Keywords: Penetration resistance; Mollisol; poultry litter; gypsum

4.1 Introduction

There are physical soil properties that directly affect the growth of plants and others do so indirectly (Letey 1985). Among the most important are the availability of water, oxygen, temperature and soil penetration resistance (PR), and among those factors that indirectly affect root development are texture, structure, bulk density (Bd), characteristics intrinsic characteristics of the soil profile, among others. The correlation between PR and root growth and plant production is proven, and many works in the literature approach their spatial variability.

According to Reicosky and Saxton (2007), the implementation of conservation agriculture has three principles or pillars: minimum disturbance of the soil by tillage, diversity of rotations and crop coverage, and the continuous production of crop residues. Thus, the main benefit of conservation agriculture, and in particular no-tillage (NT) system, is the increase in soil organic matter and its positive impacts on many processes that determine soil quality.

Currently, the silty soils of the Pampas region of Argentina are predominantly cultivated under no-tillage. This practice is adequate to mitigate erosion processes associated with tillage. However, combined with the simplification of the sequences of crops or soy monoculture, this system can generate degradation of the surface structure of the soil, compaction, reduction in the infiltration rate and affect the stability of the structure, causing an increase in loss of water by runoff (Sasal *et al.*, 2017a and Sasal *et al.*, 2017b). This problem is accentuated by the uncontrolled transit and the repeated passing of machinery during the harvest of the main summer crops (soybean and corn), in conditions of soil moisture above the optimum for the passage of wheels. In addition, the low capacity of natural regeneration of the soil structure is reduced due to the absence of freeze-thaw processes and the illite clay, which has low shrinkage-swelling capacity (Senigagliesi and Ferrari, 1993; Taboada *et al.*, 1998; Hussein and Adey, 1998). In this sense, the natural recovery of porosity is much slower in reduced tillage systems (Boizard *et al.*, 2013).

In general, the addition of organic amendments can positively influence the structure of the soil, increasing the formation and stability of aggregates (Tisdall and Oades, 1982; Piccolo and Mbagwu, 1990; Sasal *et al.*, 2000),

decreasing the Bd (Khaleel *et al.*, 1981; Clapp *et al.*, 1986; Tester, 1990), improving the rates of water infiltration, hydraulic conductivity (Unc and Goss, 2006) and soil water retention capacity (Stevenson, 1982; Roldán *et al.*, 2003). The use of inorganic amendments to improve the physical properties of the soil was generally oriented to the formation and stabilization of aggregates that are the primary characteristics of soil structure (Norton *et al.*, 1998), as well as improvements in the resistance to penetration and macroporosity (Orellana and Pilatti, 1990). The application of gypsum allows us to reduce dispersion and promote flocculation of soils. Flocculation is a necessary condition for the formation and stabilization of soil structure and leads to an increase in infiltration and water percolation (Dontsova *et al.*, 2004, Norton, 2008).

In this context, the current study aimed to evaluate if the application of amendments improves PR in the short term and describes the spatial variability of PR in the surface horizon of an Aquic Argiudoll under NT after addition of "poultry litter" (PL) as organic amendment and gypsum (G) as inorganic amendment.

4.2 Materials and methods

4.2.1 Description of the experimental site

The field experiment was conducted at an agricultural research site located in the Oro Verde municipality, Paraná state, northeast Argentina (latitude 31° 50' 57.20'' S, longitude 60° 31' 54.11'' W and altitude 110 m asl). In June 2014, a field experiment was initiated in a production plot with a Soybean-Corn (*Zea mays* L.) rotation under NT for at least 15 years. The experimental design was randomized complete blocks with three replicates. The four treatments tested consisted of surface applications with: poultry litter (PL) as organic amendment, gypsum (G) as inorganic amendment, a combination of both (PL+G), and control (T) (Figure 7).

Treatments were manually added in August 2014 in order to achieve a uniform dose distribution and for accurate dose reporting.

The amendment doses consisted of:

7.5 Mg ha⁻¹ of dry PL (corresponding to approximately 3.5 Mg ha⁻¹ of Carbon). Poultry litter (PL) is a mixture of feces, wasted feeds, feathers and rice

husks use as bedding material. Entre Rios province has the main production of chicken (*Gallus gallus domesticus*) of Argentina and the PL constitutes a residue. In this case, the material was stabilized in a pile with temperature control for 5 months before application on soil surface.

3.0 Mg ha⁻¹ of G. The product used was agricultural gypsum YESOER85 granulated from 1-5 mm, from Piedras Blancas S.A Company (<http://www.yesoer.com.ar/caracteristicas-del-producto/>). The dose used was describe by Wilson & Cerana (2004) who observed significant changes in physical conditions of rice soils with doses between 1.5 to 3.0 Mg ha⁻¹ of G, without causing phytotoxicity effects in crops.

The control treatment (T) was fertilized by inorganic fertilizers of traditional use in the region (triple calcium phosphate and granulated urea), adjusting the dose to the content basis of nitrogen and phosphorus present in the poultry litter.

At 12 months after the experiment started the same dose of PL was reapplied (PL+G+PL and PL+PL, respectively) over half of plots PL+G and PL in order to verify effects of the reapplication of this organic amendment on the soil.

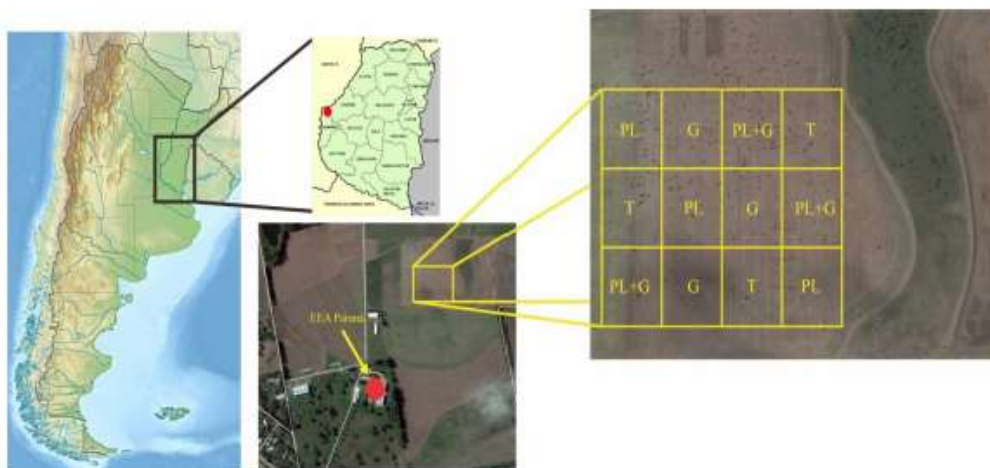


Figure 7. Location of the study site in Entre Rios province, Argentina.

4.2.2 Field determinations

At 20 months after the experiment started, with soil water content in field capacity (30.5% v.v⁻¹), PR was measured with a Eijkelkamp penetrolger 2000 (Giesbeck, The Netherlands), (Wilson *et al.*, 2016). This meant the vertical stress of a steel cone with an angle of 30° and basal surface of 2 cm² to 0.2 m depth was manually determined. Penetration speed was 2 cm s⁻¹. At each point, PR data sets were obtained at 1-cm intervals and expressed in MPa units. PR data were collected, following a perpendicular line to the sowing direction, of 2 m long, at 10 different points, each 0.2 m (Figure 8).

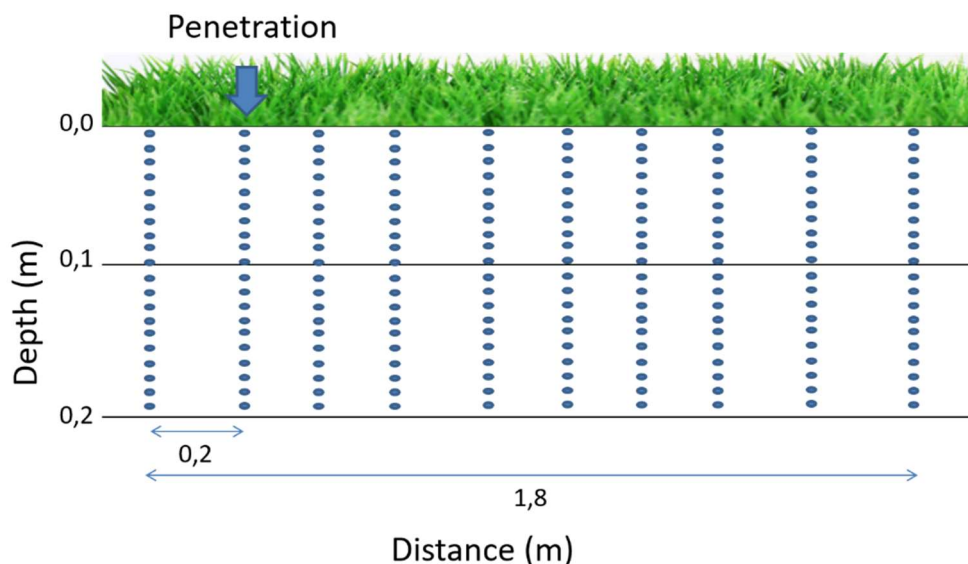


Figure 8. Regular soil samples of PR in plot.

For each treatment, a descriptive analysis was performed using the statistical software SAS (Schlotzhaver and Littell, 1997). To test the normality or lognormality hypothesis, the Shapiro and Wilk test at 5% of significance was used.

In geostatistics, spatial variability is quantified from correlograms and semivariograms, predominantly determining the spatial dependence between sample units as well as the extent of influence of each sampling point (Vieira *et al.*, 1981). The semivariogram tells us the type and form of spatial dependence, and according to Vieira *et al.* (1983), it is the first stage of the geostatistical analysis, providing data for the interpolator to make maps. The experimental

semivariogram is a graph of semivariance as a function of the distance that characterizes the spatial dependence structure of the study variable, that is, the semivariogram is a function that relates the semivariance to the distance vector and can be represented as analytical and / or graphically. Semivariance is defined as:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

where $\gamma(h)$ is the experimental semivariance for a separation distance h ; $z(x_i)$ is the property value at point i and $N(h)$ is the number of pairs of points separated by distance h . The plot $\gamma(h) \times h$ produces the experimental semivariogram, which presents a purely random behavior or some systematic behavior by theoretical models (spherical, exponential and Gaussian).

The choice of the adjusted semivariogram model and its parameters was based on the sum of the square of the residues and on the coefficient of determination (r^2) obtained by adjusting a theoretical model for an experimental semivariogram. To verify the reliability of the mathematical model, a cross-validation technique was used. After adjusting the model for the semivariogram, values were estimated at sites not sampled by the kriging technique because it is a non-biased linear estimator (Webster and Oliver, 1990). Semivariograms, cross validation, model adjustment, interpolation by ordinary kriging and mapping were performed by the GS + version 9.0 Geostatistics for the Environmental Sciences (Robertson, 2004) and Surfer programs.

For each attribute, the nugget effect (C_0), the range (A_0) and the plateau ($C_0 + C$) were estimated. The analysis of the spatial dependence estimator (SDE) was performed according to the following equation (GDS, 2004):

$$SDE = [C/(C+C_0)] \times 10$$

where: SDE is the estimator of spatial dependence; C is the structural variance; $C + C_0$ is the landing.

4.3 Results and discussion

Descriptive analysis of soil penetration resistance it shown in Table 7. The highest PR was found in the T treatment (1.96 MPa) and the lowest in the PL+G+PL (0.21 MPa). All the treatments containing gypsum (G, PL+G) and the control, for the most part, maintained values higher than the other treatments throughout the soil profile (Table 8, Figure 9).

Table 7. Descriptive analysis of penetration resistance (MPa) of a Molisoll in Entre Rios province, Argentina.

Treatment ⁽¹⁾	N	Mean	Median	Value		SD ⁽²⁾	Coefficient			Probability test ⁽³⁾		
				Minimum	Maximum		Variation (%)	Kurtosis	Asymmetry	Pr<w	FD	
T	20	1.24	1.21	0.53	1.96	0.29	23.28	0.200	0.121	0.004	5	IN
PL	20	0.90	0.90	0.41	1.33	0.20	22.61	-0.097	-0.486	0.000	2	IN
G	20	1.00	0.99	0.34	1.73	0.26	26.41	0.345	0.221	0.058	9	N
PL+G	20	1.18	1.22	0.40	1.71	0.31	26.17	-0.412	-0.502	0.000	1	IN
PL+PL	20	1.02	1.02	0.42	1.49	0.19	18.60	0.492	-0.194	0.250	1	N
PL+G+PL	20	1.00	1.03	0.21	1.75	0.29	28.91	0.439	-0.360	0.000	1	IN

⁽¹⁾ T, PL and G are control, poultry litter and gypsum, respectively; ⁽²⁾ SD: standard deviation; ⁽³⁾ frequency distribution, IN: indeterminate type and NO: normal type.

At the superficial level (0.01m) no significant differences were observed between treatments (Table 8); at 0.05 m, the PR values can be differentiated significantly, for this depth the PL effect stands out, which had the lowest PR value (0.78 MPa), and differed significantly from the rest, while T presented the higher PR value; treatments with G (applied alone or combined with PL) presented intermediate values. At 0.10 m it can be observed that the treatments with applications of PL and G without combining were those that presented the lowest values of PR differing from the combined application of both and T.

Table 8. Penetration resistance (MPa) at fixed depths, for four treatments of amendments of a Mollisol under NT in Entre Rios province, Argentina

Depth	T		G		PL		PL+G	
1	0.67	ns	0.57	ns	0.52	ns	0.63	ns
5	1.22	a	0.97	b	0.78	c	0.97	b
10	1.26	a	1.07	ab	0.93	b	1.22	a
15	1.15	a	0.92	b	0.84	b	1.22	a
20	1.04	a	0.90	b	0.88	b	1.07	a

T, PL and G are control, poultry litter and gypsum, respectively. Different letters within a column indicate significant difference (LSD Fisher $p < 0.05$).

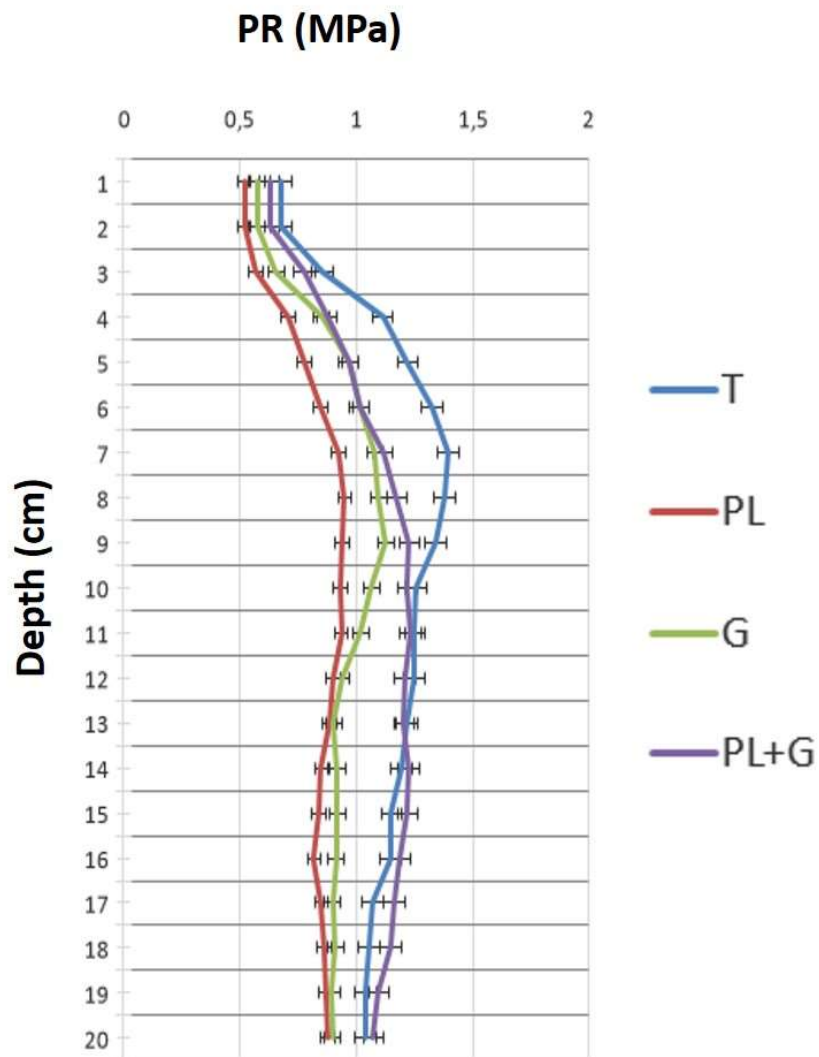


Figure 9. Penetration resistance (PR) average plotted against depth of the treatments.

Although the treatments did not reach 2.00 MPa, considered critical value for the development of the root of the plant (Arshad *et al.*, 1996; Taylor and Gardner, 1963), the poultry litter was important in this study because it provided lower PR means, throughout the soil profile, in the treatments in which it was used. In a study on the use of different types of organic and inorganic fertilizers, Silva *et al.* (2012), working with sugarcane, one of the crops that most alter soil physical conditions, since, as a result of mechanical harvesting, compaction can promote reductions of more than 50% in soil macropore volume (Severiano *et al.*, 2010), reached favorable results for organic amendments, in line with this study. The application of organic amendment provided statistically significantly better values in all analyzed soil profiles (0-0.05 m). Rauber *et al.* (2012) emphasizes favorable physical conditions in soil structure with the application of poultry litter or other organic amendments.

Regarding the effect of reapplication with PL (PL+PL vs. PL) two significant effects were found on the top soil (0.01 and 0.05 m), where PL+PL showed the highest PR values (Table 9). When PL is reapplied on PL+G (PL+G+PL vs PL+G), differences were observed (0.01 and 0.05 m) and also at 0.15 m. In all cases, the lowest values of PR corresponded to the reapplication of PL.

Table 9. Effect of re-application with PL on the penetration resistance (MPa) at fixed depths, for four treatments of amendments of a Mollisol under NT in Entre Rios province, Argentina.

PL and PL+G are poultry litter and pultry litter+gypsum, and PL+PL and PL+G+PL are treatments with re-

Depth	PL	PL+PL		PL+G	PL+G+PL	
1	0.57	0.83	*	0.69	0.48	*
5	0.85	1.15	*	1.06	0.88	*
10	1.03	1.11		1.34	1.14	
15	0.92	0.95		1.34	1.12	*
20	0.96	0.99		1.18	1.08	

application of PL, at 12 months after the experiment started. * Indicate significant difference ($p < 0.05$).

The variability of an attribute was classified, according to Pimentel-Gomes and García (2002), according to the magnitude of its coefficient of variation (CV). Their classes were determined as low ($CV \leq 10\%$), medium ($10\% < CV \leq 20\%$), high ($20\% < CV \leq 30\%$) and very high ($CV > 30\%$). The variation of the data obtained average classification for the PL+PL treatment (18.60%) and high for the rest of the treatments. Many papers in the literature present a high or very high coefficient of variation when PR is analyzed (Alves *et al.*, 2018; Campos *et al.*, 2012; Corado Neto *et al.*, 2015; Miola *et al.*, 2015) mainly in the 0-0.20 m layer, a more anthropic environment (Bertol *et al.*, 2001).

Regarding the normality test of the data, the treatments G and PL+PL were not significant, accepting the hypothesis of data normality. The other treatments (T, PL, PL+G and PL+G+PL) presented indeterminate frequency distribution. In spite of the rejection of normality, the attributes presented kurtosis and asymmetry near to zero (-0.41 to 0.44 and -0.50 to 0.22, respectively), and maximum and minimum values within normal limits, indicating that the data are well modeled around the average.

Fit parameters of the semivariograms and cross-validation for PR are shown in Table 10. The semivariograms adjusted to the mathematical models and their cross-validations are shown in Figure 10. Regarding the performance of semivariograms, analyzed by the magnitude of the spatial determination coefficient (r^2), the PL+G+PL treatment indicated that this attribute was the one with the best semivariographic adjustment ($r^2 = 0.99$) and the worst fit was due to the PL+PL treatment ($r^2 = 0.97$). However, all treatments studied showed very high spatial dependence according to Dalchiavon and Carvalho (2012). Nagahama *et al.*, (2016) studying PR in the soil profile (0-0.50 m) obtained similar results. Their adjustments presented high percentages of significance that can be observed through the determination coefficients (R^2) ranging from 0.85 to 0.99.

The range was 0.06 m (Treatment T and G) at 0.18 m (Treatment PL+G and PL+PL). Therefore, in the conditions of the present research, as well as, in order to support future research, in which PR is involved, the values of the scopes to be used in the geostatistical packages, which will feed the computational packages used in precision agriculture, in general, should not be less than 0.06 m. The second application of poultry litter provided a greater range (0.18 m, 0.18

m and 0.16 m for the treatments PL+PL, PL+G and PL+G+PL, respectively), that is, the attribute is spatially dependent at greater distances, leaving the profile of the soil more homogeneous. The extent of spatial dependence is the main parameter provided by geostatistics, representing the distance within which the values of a given attribute are equal to each other. Thus, values of an attribute, located within the area whose radius is equal to its value, are extremely similar in magnitude to each other and should be handled in a similar way. (Vieira *et al.*, 1981; McBratney and Webster, 1985).

The level of spatial dependence can be measured according to the degrees defined by Dalchiavon *et al.*, (2012): $SDE \leq 20\%$ - very low dependence, $20\% < SDE \leq 40\%$ - low dependence, $40\% < SDE \leq 60\%$ - medium dependence, $60\% < SDE \leq 80\%$ - high dependence, and $80\% < SDE \leq 100\%$ - very high dependence. In all treatments, very high special dependence was observed (94.9%-99.9%). According to Neves Neto *et al.* (2013), the spatial structure is best when its spatial dependence (SDE) is greater. Consequently, greater accuracy can be obtained in the estimation of non-sampled points.

The high spatial dependence in this study is explained by the well-formed sample mesh (Figure 8). Sampling is very important for the study of spatial variability of soil attributes, and the amount of samples and the distance between them directly influence the SDE. Nagahama *et al.* (2016), also performed the study of spatial variability in the profile of an Argisol and like this work, obtained very high SDE. The study of the penetrometry in the profile of the soil with near penetrations provides what the geostatistical one requires for a good study of spatial variability.

Table 10. Fit parameters of the semivariograms and cross-validation for penetration resistance (MPa) of a Molisoll in Entre Rios province, Argentina.

Treatments ⁽¹⁾	Model	Nugget Effect (C ₀)	Sill (C ₀ + C)	Range (m)	R ²	SSR ⁽²⁾	SDE ⁽³⁾		Cross-validation ⁽⁴⁾			
							%	Classes	a	b	r	
T	Gaussian	1.9x10 ⁻³	1.06x10	0.06	0.98	2,28x10	98.	VH	0.96	0.04	6	0
			-1									
PL	Gaussian	2.4x10 ⁻³	4.68x10	0.08	0.98	2,81x10	94.	VH	1.00	0.01	0	6
			-2									
G	Gaussian	9.0x10 ⁻⁴	7.01x10	0.06	0.97	1,20x10	98.	VH	0.97	0.03	4	5
			-2									
PL+G	Spherical	1.0x10 ⁻⁴	1.38x10	0.18	0.97	6,55x10	99.	VH	-	0.03	2	7
			-2									
PL+PL	Exponential	3.0x10 ⁻⁴	5.38x10	0.18	0.96	8,24x10	99.	VH	-	0.08	0	5
			-2									
PL+G+PL	Spherical	1.0x10 ⁻⁴	1.14x10	0.16	0.99	1,99x10	99.	VH	-	0.03	8	4
			-1									

⁽¹⁾ T, PL and G are control, poultry litter and gypsum, respectively; ⁽²⁾ SSR: sum of squared residue; ⁽³⁾ SDE: spatial dependence evaluator, where VH: very high. ⁽⁴⁾ a, b and r are y intercept, regression coefficient and correlation coefficient, respectively.

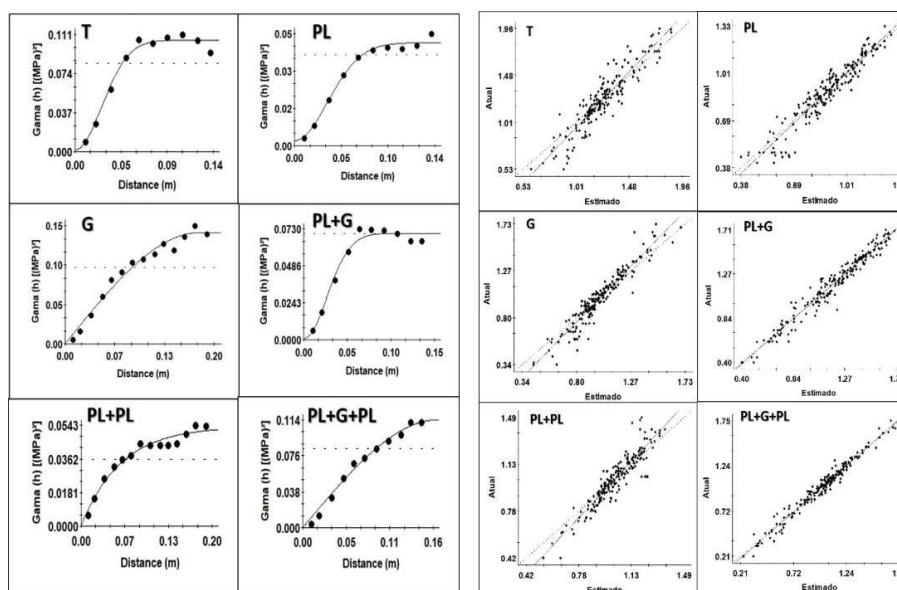


Figure 10. Semivariograms and cross-validation of penetration resistance of a Molisoll in Entre Rios province, Argentina.

The maps of ordinary universal kriging performed in the soil profile are shown in Figure 11. The nugget effect (C₀) ranged from 0.0001 to 0.0024 (Table 10). As the values of the nugget effect are close to zero, the accuracy of estimates is increased by kriging. Vieira (2000) explains that the smaller the random

variation, the more accurate is the estimate. In addition, cross-validation showed regression coefficients (r) close to 1 (0.93-0.98). Cross-validation is a tool to assess alternative models of simple semivariograms for kriging. In this analysis, each point within the space is removed individually, and its value is estimated as if it did not exist. The correlation coefficient of such values shows the efficiency of fit, which is calculated by the sum of squared deviations, representing the linear regression equation in question. A regression coefficient of 1 represents a perfect fit, and the line of best fit would match the perfect model, i.e., with the linear coefficient equal to zero and the slope equal to 1 (GDS, 2004).

The values of PR when PL, G and PL+G were applied did not reach 1.8 MPa; only T did this; which represented 0.16% of the surface of the profile. Figure 11 shows that the highest soil compaction was for T and PL+G. The control treatment presented a PR range of 1.2 - 1.8 MPa represented 76.17% of the surface of the profile while the range 0.6 - 1.2 MPa represented 23.68%. This range (0.6 - 1.2 MPa) represented 99.26% and 97.35% of the surface for PL and G. For some reason, the application of gypsum followed by the application of poultry litter caused hardening, particularly in the layer 0.05-0.20 m. Penetration resistance range 1.2 - 1.6 MPa represented 54.17% of the surface of the profile. The treatments with reapplication of poultry litter (PL+PL and PL+G+PL) showed profiles with lower PR and more homogeneous maps. The reapplication over PL did not present effects on PR values. However, the reapplication over PL+G caused effects in all PR ranges. The surface represented by the range 1.2 - 1.8 MPa decreased from 54.17 to 6.65%. Moreover the surface of the profile increased from 1.08 to 3.71% in the lowest range (0-0.6MPa), in an area located on topsoil.

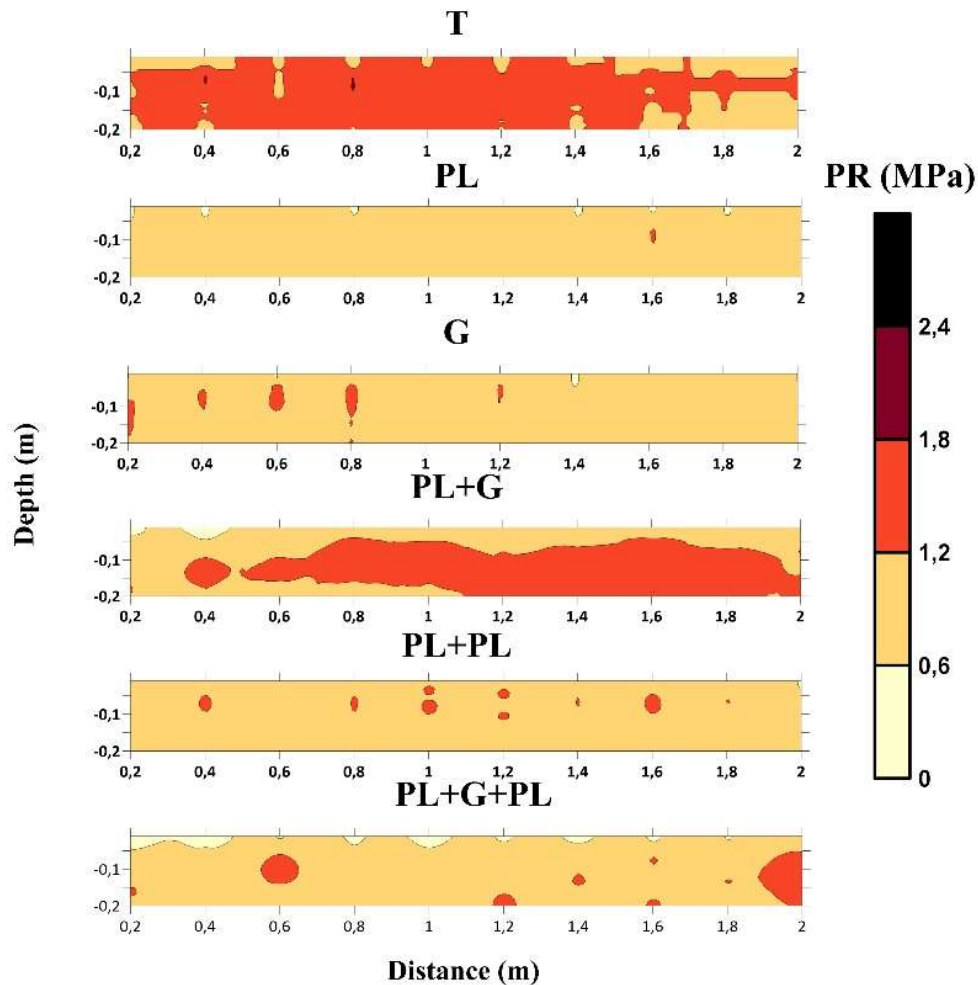


Figure 11. Kriging maps of penetration resistance at the 0-0.2 m depth of a Mollisol in Entre Rios province, Argentina.

4.4 Conclusions

This study has hitherto shown good results highlighting the organic fertilization, giving the soil profile a lower penetration resistance and less compacted specific areas.

The second application of poultry litter provided spatial dependence at greater distances, leaving the profile of the soil more homogeneous. The reapplication over PL+G caused effects in all PR ranges.

All treatments studied showed very high spatial dependence

For some reason, the application of gypsum followed by the application of poultry litter caused hardening, particularly in the layer 0.05-0.20 m.

CAPITULO 5
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS TEMPERATURAS
MENSAIS, MEDIAS, MEDIAS DAS MÁXIMAS E
MEDIAS DAS MÍNIMAS EM GALICIA

5. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS TEMPERATURAS MENSAIS MEDIAS, MEDIAS DAS MÁXIMAS E MEDIAS DAS MÍNIMAS EM GALICIA

5.1 Introdução

A climatologia baseia-se no estudo das medições registradas dos parâmetros meteorológicos no maior número de locais e para cada local no maior número de anos possível. Os parâmetros medidos são temperatura, umidade, precipitação, vento, insolação, etc. A climatologia classifica os diferentes tipos de clima existentes no planeta, sua localização geográfica e sua evolução ao longo do tempo.

Tempo é o estado da atmosfera em um determinado momento e lugar. É dado por uma combinação de elementos climáticos como pressão, temperatura, precipitação, umidade, vento e nebulosidade, podendo variar em dias, horas ou minutos.

O clima e o tempo dependem não apenas dos elementos climáticos, mas também de fatores climáticos. São agentes como latitude, ventos predominantes, correntes marítimas, distância ao mar, altitude e relevo, que modificam, acentuam ou limitam os elementos do clima.

Dois fatores influenciam principalmente o clima da Galícia: a circulação da atmosfera (centros de alta e baixa pressão, massas de ar e frentes) e as características geográficas do território galego (localização, altitude, disposição do relevo e distância ao mar). Esses fatores determinam uma notável variedade de tipos de clima.

A diversidade do clima galego foi destacada por vários autores que utilizaram diferentes sistemas de classificação. Assim, seguindo a classificação de Papadakis, os tipos climáticos mais comuns vão do temperado ao mediterrâneo, embora o tipo pirenaico seja reconhecido em alguns enclaves (CARBALLEIRA et al., 1983). De acordo com a classificação climática de Köppen, toda a Comunidade Autónoma da Galícia é caracterizada por um clima de tipo C (clima temperado-quente), onde predomina a variedade Cfb (clima temperado húmido com verão quente e sem estação seca), embora alguns de menor áreas -maior nas províncias de Ourense e Pontevedra respondem à variedade Csb (clima temperado chuvoso com verão seco e quente).

Um dos elementos mais importantes do clima é a temperatura do ar. A temperatura é caracterizada com base em dados medidos ou registrados em estações meteorológicas, como a média, a média dos máximos, a média dos mínimos, os máximos, os mínimos, a oscilação ou a diferença entre máximos e mínimos, etc., e avaliados em diferentes escalas de tempo. Por outro lado, devido à distribuição espacial irregular das estações e ao reduzido número ou densidade das estações de medição, ainda existem dificuldades na obtenção da distribuição espacial das variáveis climáticas.

Como consequência, a amplitude média anual da oscilação térmica diária apresenta valores que variam desde os inferiores a 8 °C que encontramos nas zonas costeiras das províncias de Lugo e A Coruña, até aos superiores a 12 °C que ocorrem na maior parte da província de Ourense

Na Galícia, observa-se uma correlação negativa elevada dos valores térmicos com o aumento da altitude, manifestando-se uma clara diminuição das temperaturas com o aumento da altitude (CARBALLEIRA et al., 1983; DE UÑA ÁLVAREZ, 2001, MACHADO SIQUIERA, 2017). Assim, verificou-se a especial incidência que a altitude tem sobre a temperatura. Esta correlação pode ser usada para realizar análises geoestatísticas.

Portanto, o objetivo desse capítulo foi analisar a distribuição espacial das temperaturas médias, máximas e mínimas na região de Galícia, Espanha.

5.2 Material e métodos

Neste trabalho, foram utilizados dados de temperatura média do ar medidos em escala mensal, durante os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. Esses dados foram fornecidos pelas redes de estações meteorológicas dos dois órgãos oficiais que realizam medições na Comunidade Autónoma da Galícia

- 1) Rede de estações meteorológicas da AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) do Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, do Governo da Espanha (disponível em <http://www.aemet.es/es/portada>).

- 2) Rede de estações meteorológicas da METEOGALICIA da Consejería del Medio Ambiente y Ordenación do Territorio, da Xunta de Galicia (disponível em <http://www.meteogalicia.gal/web/index.action>).

Foram utilizados apenas os dados das estações que estavam disponíveis durante um registro contínuo durante os quatro anos estudados, de forma que aquelas estações que apresentaram alguma lacuna na medição de temperatura não foram consideradas, mesmo que o período sem medição fosse um ou um dia ou dois.

A maioria das estações meteorológicas selecionadas estão localizadas na Comunidade Autónoma da Galícia, com exceção de algumas estações localizadas nas Astúrias ou na Comunidade Autónoma de Castilla e León, mas muito perto da fronteira com a Galícia. A distribuição espacial da rede de estações meteorológicas que foram utilizadas em cada um dos anos estudados pode ser observada na Figura 12.

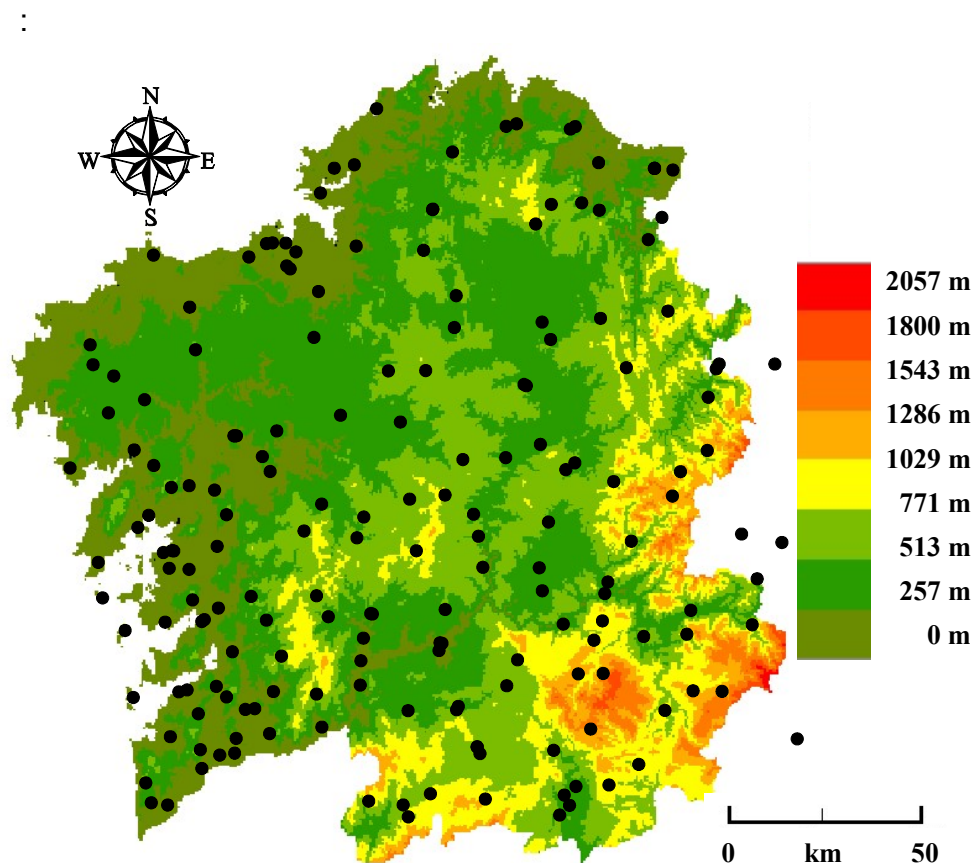


Figura 12. Modelo de elevación digital (MDE) de Galicia e localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas.

O número total de estações disponíveis durante os quatro anos estudados foi de 167. A Tabela 11 mostra a lista de estações, suas coordenadas e sua altitude.

Tabela 11. Dados das estações meteorológicas analisadas na região de Galicia, Espanha

Estação	ID	Latitude	Longitude	Altitude (m)
A Gándara	1	477304,3	495486	405
Aldea Nova	2	482386,8	570154	278
*Camariñas	3	477487	485614	5
Cariño	4	484317,7	591656	5
Cespón	5	472491,7	512035	59
CIS Ferrol	6	481588,5	560578	37
Corrubedo	7	471163,8	497771	30
Coruña Dique	8	480176,5	550783	5
*Costa	9	473828,9	523801	163
*Coto Muiño	10	476425,1	502146	490
Fontecada	11	475755,7	510859	369
*Guísamo	12	479564,5	558515	176
*Lesende	13	473899,4	513457	157
Lira	14	473828,1	489814	170
Mabegondo	15	478810,3	560019	94
Malpica	16	479836,1	513379	161
Marco da Curra	17	479972,8	589733	651
Melide	18	475125,1	583167	477
Muralla	19	473280,6	518427	661
*O Val	20	482290,5	564469	69
Olas	21	477514,7	558736	401
Ordes	22	476883,4	547981	266
*Paramos	23	476129	524636	369
*Pazo de Galegos	24	473728,9	546355	225
Punta Candieira	25	483968,3	576464	254
Punta Langosteira	26	479970,2	538116	5
Río do Sol	27	477165,2	525267	540
Rus	28	477842,4	525700	134
Sálvora	29	470161	498997	24
Santiago-EOAS	30	474735,4	536101	255
Sergude	31	474150	544158	231
Serra da Faladoira	32	482746,7	597892	576
A Pontenova	33	480032,8	648619	490
Abradelo	34	473444,2	643449	826
Alto de Ceredo	35	477212,9	652379	958
*Alto do Faro	36	472498,7	591244	842
*Alto do Poio	37	473078,9	653608	1330
Ancares	38	474322,4	669916	1364
*Borreiros	39	483200,8	610567	59

Bóveda	40	472302,8	625025	432
Burela	41	483393,2	631194	421
Campus Lugo	42	476124,2	618579	400
Castro R, de Lea	43	477929,3	622902	416
Conchada	44	470610,8	641809	697
Corno do Boi	45	476578,2	590324	731
Courel	46	471760,9	648423	777
*Fontaneira	47	476660	647041	917
Foz	48	482447	639190	73
Fragavella	49	481269,1	625827	595
Guitiriz	50	478691,7	598945	684
*Labrada	51	480715	621411	662
*Lanzós	52	480353,1	609917	470
*Lourenzá	53	481103,3	639376	103
Marroxo	54	470362,3	623277	645
*Míllara	55	471025,2	606475	340
*Morelle	56	473972,6	632472	416
O Cebreiro	57	473035,8	660057	1310
O Xipro	58	478255,4	658781	789
*Olveda	59	473064,6	595785	647
Pedro Murias	60	482286,8	654995	51
Penedo do Galo	61	483541,9	615988	545
Pol	62	478052,3	639736	647
Portomarín	63	474120,4	612930	447
Sambreixo	64	477792,3	598421	496
*San Clodio	65	470283,7	640942	257
*San Fiz	66	471901,5	605239	391
Ventosa	67	475825,6	670165	910
*Vilamor	68	481311,5	634409	115
A Mezquita	69	465377,4	661665	1025
*A Trabe	70	464027,9	650427	778
Alto do Rodicio	71	468412,6	616292	981
Amiudal	72	469630,9	562796	553
As Petarelas	73	470349,3	670351	577
Baltar	74	464483	607180	807
Cabeza de Manzaneda	75	468028,2	640477	1758
*Calvos	76	464632,7	591657	890
Casaio	77	469023	684214	1280
*Corzos	78	467538,8	665889	1217
Entrimo	79	464425,5	574209	763
*EVEGA Leiro	80	469025,5	572716	105
Gandarela	81	466978,7	585343	623
*Larouco	82	469073,2	651939	524
*Laza	83	465858,7	626493	575
Monte Medo	84	467681,1	613230	608
O Invernadeiro	85	466459,5	636959	1026

Ourense	86	468877,5	594942	143
*Pazo de Fontefiz	87	469834,3	595830	403
*Ponte Boga	88	469421,8	629191	469
*Prado	89	468509,7	577030	122
Remuíño	90	467699,2	571829	120
*Riós	91	464880,7	642127	830
San Xoán de Río	92	469513,2	640275	1026
Serra do Eixe	93	469137,6	664123	1229
Verín-Vilamaior	94	464838,4	632785	546
Verín-Vilela	95	464595,5	629480	392
Viana do Bolo	96	466986,3	657933	851
Xares	97	467521,8	674089	1762
*Xinzo	98	465955,1	604861	615
Xurés	99	463980,3	585393	1059
*A Armenteira	100	470200,5	521328	256
*A Granxa	101	467013,4	539352	41
A Lanzada	102	470078,7	510314	9
*Areas	103	465347,1	527050	74
*Areiro	104	469494,5	527029	100
*As Eiras	105	464315,5	517400	52
Caldas de Reis	106	471616,5	531377	268
*Camanzo	107	473673	555850	211
Castro Vicaludo	108	464938,9	511201	473
Castrove	109	470103	524431	424
*Cequeliños	110	466514,5	560980	187
Corón	111	471442,2	516145	3
*Entenza	112	465778,5	536320	92
Fornelos de Montes	113	468517,7	549546	705
Illas Cíes	114	467351,4	507678	25
*Louredo	115	467365,8	534039	220
Lourizán	116	469548,9	527749	57
*Meder	117	466330,6	546192	150
Monte Aloia	118	465877,1	526634	484
Mouriscade	119	471857,4	570876	500
O Viso	120	468567,9	532925	260
Ons	121	469242,1	505372	121
Pereira	122	472049	555930	717
Queimadelos	123	467517	547280	371
Rebordelo	124	470202,7	540986	367
Sanxenxo	125	469477	516677	34
Serra do Faro	126	471492	587674	991
*Soutomaior	127	468640,9	535683	169
*Torrequintáns	128	470967,4	523431	52
*Tremoedo	129	470996,7	517820	72
Vigo	130	467512,1	523762	100
Vigo-Campus	131	466890,9	526050	460

A Telva	132	431751	821412	20
Cangas	133	421512	847312	30
Vilagarcia de Arousa	134	423456	846112	36
Cecebre	135	422434	838322	40
O Rosal	136	415638	850512	55
A Coruña	137	432157	825172	58
Santa Cruz (Vivero)	138	432026	820272	60
Cañas	139	431336	819172	65
Pegullal-Salceda de Caselas	140	420618	833292	80
A Coruña/Alvedro	141	431825	822192	98
Carballo	142	431213	842392	98
Pontevedra	143	422618	836572	108
Ribadavia	144	421800	807452	112
A Coruña-Parque de Bens	145	432144	826362	120
Noia	146	424801	852342	128
Ourense	147	421931	751352	143
Sergude	148	424931	827472	220
Santiago de Compostela	149	425227	833062	240
Vigo/Peinador	150	421419	837262	261
Vilarmador-Armada	151	432114	807502	274
Vimianzo-Castrelo	152	430327	902492	287
Monforte de Lemos	153	423154	730392	291
Mazaricos-a Picota	154	425607	859372	340
Lavacolla	155	425317	824382	370
Mesiego	156	422506	805172	400
O Páramo	157	425043	729582	403
Lugo/Rozas	158	430641	727272	445
Allariz	159	421021	748122	450
Sobrado dos Monxes	160	430216	801202	500
A Cañiza	161	421305	816522	560
Beariz	162	422805	816412	610
Muiños-Prado	163	415603	759202	730
Pobra de Trives, San Mamede	164	422022	716572	840
Chandrexa de Queixa	165	421537	723012	990
Cervantes-Bazal	166	424607	701032	1020
A Veiga do Bolo (Vilanova)	167	421559	653442	1210

Além da coleta de dados mensais de temperatura, foi dada atenção especial à obtenção de dados geográficos correspondentes às estações estudadas. Para localizar as estações meteorológicas no espaço, o sistema de referência geográfica utilizado foram as coordenadas UTM Zona 29, Datum europeu de 1950. As coordenadas são expressas em unidades sexagesimais, foi utilizado um software fornecido pelo National Geographic Institute que permite

a passagem das referidas coordenadas geográficas para a projeção UTM (MIRÁS AVALOS, 2003).

As coordenadas geográficas permitem o cálculo do semivariograma experimental e a avaliação da variabilidade espacial da temperatura com base em técnicas geoestatísticas. A altitude foi utilizada como variável auxiliar para realizar interpolações usando krigagem com deriva externa L.

5.3 Resultados e discussão

A análise geoestatística dos dados mensais de temperatura média mínima, média e média máxima para os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016 constam nas Tabelas 12, 13, 14 e 15, respectivamente. Os semivariogramas revelaram que o modelo esférico foi ajustado à série de dados de temperatura média mensal com total frequência. Outros autores também constataram que esse modelo é o que mais frequentemente se encaixa dados de variáveis climáticas e ambientais (Siqueira et al., 2012; Vieira, 2000).

A temperatura média e média mínima do mês de junho de 2014 apresentou maior alcance (4464735,39 metros). Já o menor Alcance foi encontrado na temperatura média máxima do mês de novembro de 2015 (9720,73 m). Esses valores médios de alcance são importantes para distribuir as estações condições meteorológicas de forma mais representativa na região de Galícia, com o objetivo de para gerar dados climáticos e meteorológicos, previsões e estimativas que correspondam a realidades locais dos diferentes ambientes.

Com relação ao desempenho dos semivariogramas, analisados pela magnitude do coeficiente de determinação espacial (R), as validações dos meses de março/2013, janeiro/2014 e fevereiro/2014 apresentaram melhor ajuste ($R = 0,98$) para a variável de temperatura média. Com relação à variável de temperatura média mínima os meses de janeiro/2014 e fevereiro/2014 também apresentaram melhor ajuste ($R = 0,98$). Por fim, o mês de janeiro/2014 mostrou melhor ajuste entre todos para a variável de temperatura média máxima ($R = 0,99$).

A validação cruzada é uma ferramenta para avaliar modelos alternativos de semivariogramas simples para krigagem. Nessa análise, cada ponto dentro do espaço é removido individualmente, e seu valor é estimado como se não existisse. O coeficiente de correlação desses valores mostra a eficiência do ajuste, que é calculada pela soma dos desvios ao quadrado, representando a equação de regressão linear em questão. Um coeficiente de regressão de 1 representa um ajuste perfeito, e a linha de melhor ajuste corresponderia ao modelo perfeito, ou seja, com o coeficiente linear igual a zero e a inclinação igual a 1 (GDS, 2004).

Tabela 12. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2013.

Temperatura (T°C)	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance	Validação				
					R	SSE	SE	Z ²	
Janeiro	Mínima	Esférico	0,88	1,41	19632,42	0,85	1,3	0,0	1,00
	Média	Esférico	0,25	0,60	39069,90	0,95	0,35	0,00	0,79
	Máxima	Esférico	0,00	0,87	13514,52	0,87	1,06	-0,01	1,37
Fevereiro	Mínima	Esférico	0,58	1,34	14111,90	0,90	1,2	0,01	1,01
	Média	Esférico	0,28	0,33	14905,65	0,97	0,34	0,05	1,03
	Máxima	Esférico	0,00	1,25	13224,49	0,87	1,64	-0,03	1,46
Março	Mínima	Esférico	0,00	0,74	14111,90	0,89	0,99	-0,02	1,72
	Média	Esférico	0,00	0,74	14111,90	0,89	0,99	-0,02	1,72
	Máxima	Esférico	0,58	2,52	147345,98	0,96	0,43	-0,01	0,49
Abril	Mínima	Esférico	0,00	0,70	13610,60	0,87	1,00	-0,02	1,88
	Média	Esférico	0,00	0,70	13610,60	0,87	1,00	-0,02	1,88
	Máxima	Esférico	0,75	4,64	171917,29	0,95	0,67	-0,01	0,54
Maio	Mínima	Esférico	0,37	0,94	113332,63	0,93	0,55	0,00	1,06
	Média	Esférico	0,37	0,94	113332,63	0,93	0,55	0,00	1,06
	Máxima	Esférico	1,33	7,87	157485,59	0,94	0,89	-0,02	0,40
Junho	Mínima	Esférico	0,35	6,36	975548,90	0,96	0,28	0,00	0,58
	Média	Esférico	0,35	6,36	975548,90	0,96	0,28	0,00	0,58
	Máxima	Esférico	1,39	8,74	74451,40	0,90	1,93	-0,04	0,59
Julho	Mínima	Esférico	0,46	2,01	81461,07	0,88	0,66	-0,01	0,78
	Média	Esférico	0,46	2,01	81461,07	0,88	0,66	-0,01	0,78
	Máxima	Esférico	1,40	10,07	131485,90	0,93	1,50	-0,02	0,56
Agosto	Mínima	Esférico	0,40	38,86	3248333,13	0,93	0,47	-0,01	0,73
	Média	Esférico	0,40	38,86	3248333,13	0,93	0,47	-0,01	0,73
	Máxima	Esférico	1,28	4,79	105915,36	0,90	1,22	-0,02	0,60
Setembro	Mínima	Esférico	0,43	2,40	664275,08	0,91	0,49	0,00	0,94
	Média	Esférico	0,43	2,40	664275,08	0,91	0,49	0,00	0,94
	Máxima	Esférico	0,58	10,23	2261206,79	0,95	0,41	0,00	0,57
Outubro	Mínima	Esférico	0,00	0,67	13615,70	0,87	0,86	-0,02	1,53
	Média	Esférico	0,00	0,67	13615,70	0,87	0,86	-0,02	1,53
	Máxima	Esférico	0,40	0,92	472531,11	0,97	0,36	0,00	0,81
Novembro	Mínima	Esférico	0,32	0,67	34546,60	0,96	0,48	0,01	0,91
	Média	Esférico	0,32	0,67	34546,60	0,96	0,48	0,01	0,91
	Máxima	Esférico	0,40	0,58	62263,06	0,95	0,43	0,00	0,88
Dezembro	Mínima	Esférico	0,16	1,49	32895,79	0,92	0,78	0,02	0,97
	Média	Esférico	0,16	1,49	32895,79	0,92	0,78	0,02	0,97
	Máxima	Esférico	0,17	1,14	1003036,04	0,99	0,16	0,00	0,76

(a) R, SSE, SE e Z² são, respectivamente, Coeficiente de correlação calculado versus observado, soma do quadrado dos erros, soma dos erros e erro quadrático médio adimensional

Tabela 13. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2014.

Temperatura (T°C)	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance	Validação				
					R	SSE	SE	Z ²	
Janeiro	Mínima	Esférico	0,13	0,23	35984,01	0,98	0,19	0,00	0,99
	Média	Esférico	0,13	0,23	35984,01	0,98	0,19	0,00	0,99
	Máxima	Esférico	0,48	0,48	20000,00	0,96	0,53	0,00	1,10
Fevereiro	Mínima	Esférico	0,19	0,36	42796,83	0,98	0,30	0,00	1,05
	Média	Esférico	0,19	0,36	42796,83	0,98	0,30	0,00	1,05
	Máxima	Esférico	0,46	1,84	96660,39	0,93	0,58	-0,01	0,75
Março	Mínima	Esférico	0,33	2,82	23458,79	0,94	0,37	0,00	0,98
	Média	Esférico	0,33	2,82	23458,79	0,94	0,37	0,00	0,98
	Máxima	Esférico	0,70	2,80	12801,28	0,93	0,60	-0,01	0,56
Abril	Mínima	Esférico	0,27	1,15	67115,87	0,97	0,23	0,00	0,71
	Média	Esférico	0,27	1,15	67115,87	0,97	0,23	0,00	0,71
	Máxima	Esférico	1,02	5,25	15797,38	0,93	0,84	-0,01	0,52
Maio	Mínima	Esférico	0,30	2,34	67111,72	0,96	0,26	0,00	0,67
	Média	Esférico	0,30	2,34	67111,72	0,96	0,26	0,00	0,67
	Máxima	Esférico	0,92	4,20	77701,27	0,91	0,97	-0,03	0,54
Junho	Mínima	Esférico	0,35	20,10	4464735,39	0,96	0,28	0,00	0,62
	Média	Esférico	0,35	20,10	4464735,39	0,96	0,28	0,00	0,62
	Máxima	Esférico	1,07	6,17	99810,48	0,94	0,92	-0,02	0,44
Julho	Mínima	Esférico	0,35	1,68	13634,14	0,95	0,36	-0,01	0,65
	Média	Esférico	0,35	1,68	13634,14	0,95	0,36	-0,01	0,65
	Máxima	Esférico	1,01	5,19	82953,92	0,93	0,92	-0,02	0,45
Agosto	Mínima	Esférico	0,33	1,44	15581,05	0,94	0,33	0,00	0,68
	Média	Esférico	0,33	1,44	15581,05	0,94	0,33	0,00	0,68
	Máxima	Esférico	0,69	2,29	66990,94	0,90	0,87	-0,02	0,72
Setembro	Mínima	Esférico	0,47	0,47	20000,00	0,91	0,55	0,00	1,15
	Média	Esférico	0,47	0,47	20000,00	0,91	0,55	0,00	1,15
	Máxima	Esférico	0,52	52,78	10891,63	0,94	0,44	-0,01	0,66
Outubro	Mínima	Esférico	0,39	0,67	34345,70	0,88	0,65	0,00	1,11
	Média	Esférico	0,39	0,67	34345,70	0,88	0,65	0,00	1,11
	Máxima	Esférico	0,27	0,27	20000,00	0,97	0,34	0,00	1,24
Novembro	Mínima	Esférico	0,11	0,37	31764,26	0,97	0,31	0,00	1,15
	Média	Esférico	0,11	0,37	31764,26	0,97	0,31	0,00	1,15
	Máxima	Esférico	0,36	0,37	88483,12	0,95	0,46	0,00	1,23
Dezembro	Mínima	Esférico	0,18	0,77	25755,56	0,94	0,60	0,00	1,03
	Média	Esférico	0,18	0,77	25755,56	0,94	0,60	0,00	1,03
	Máxima	Esférico	0,85	0,85	20000,00	0,92	0,58	0,00	0,68

(a) R, SSE, SE e Z² são, respectivamente, Coeficiente de correlação calculado versus observado, soma do quadrado dos erros, soma dos erros e erro quadrático médio adimensional

Tabela 14. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2015.

Temperatura (T°C)	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance	Validação				
					R	SSE	SE	Z ²	
Janeiro	Mínima	Esférico	0,60	1,37	72002,20	0,93	0,66	0,00	0,76
	Média	Esférico	0,60	1,37	72002,20	0,93	0,66	0,00	0,76
	Máxima	Esférico	0,40	0,40	20000,00	0,96	0,61	0,00	1,51
Fevereiro	Mínima	Esférico	0,23	0,36	26252,56	0,97	0,34	0,00	1,02
	Média	Esférico	0,23	0,36	26252,56	0,97	0,34	0,00	1,02
	Máxima	Esférico	0,69	3,60	15141,22	0,95	0,55	-0,01	0,50
Março	Mínima	Esférico	0,30	1,40	66489,89	0,94	0,34	0,00	0,97
	Média	Esférico	0,30	1,40	66489,89	0,94	0,34	0,00	0,97
	Máxima	Esférico	0,55	2,10	83134,96	0,94	0,66	-0,02	0,68
Abril	Mínima	Esférico	0,27	2,87	1222889,57	0,95	0,34	0,00	1,01
	Média	Esférico	0,27	2,87	1222889,57	0,95	0,34	0,00	1,01
	Máxima	Esférico	1,01	5,82	137651,24	0,95	0,75	-0,02	0,44
Maio	Mínima	Esférico	0,26	9,13	1529821,72	0,97	0,23	0,00	0,58
	Média	Esférico	0,26	9,13	1529821,72	0,97	0,23	0,00	0,58
	Máxima	Esférico	1,25	7,85	97731,90	0,94	1,25	-0,02	0,48
Junho	Mínima	Esférico	0,67	9,40	1031181,98	0,88	0,75	-0,01	0,84
	Média	Esférico	0,67	9,40	1031181,98	0,88	0,75	-0,01	0,84
	Máxima	Esférico	1,48	7,68	75923,86	0,93	1,34	-0,02	0,43
Julho	Mínima	Esférico	0,70	2,21	99665,14	0,88	0,68	-0,01	0,66
	Média	Esférico	0,70	2,21	99665,14	0,88	0,68	-0,01	0,66
	Máxima	Esférico	0,98	6,15	75929,04	0,94	0,92	-0,02	0,41
Agosto	Mínima	Esférico	0,68	1,55	98920,96	0,86	0,68	-0,01	0,75
	Média	Esférico	0,68	1,55	98920,96	0,86	0,68	-0,01	0,75
	Máxima	Esférico	0,71	4,53	97797,92	0,95	0,71	-0,02	0,49
Setembro	Mínima	Esférico	0,51	1,78	29424,14	0,89	0,64	0,00	0,99
	Média	Esférico	0,51	1,78	29424,14	0,89	0,64	0,00	0,99
	Máxima	Esférico	0,49	11,45	27478,04	0,96	0,37	-0,01	0,60
Outubro	Mínima	Esférico	0,22	0,70	22067,20	0,93	0,56	-0,01	0,98
	Média	Esférico	0,22	0,70	22067,20	0,93	0,56	-0,01	0,98
	Máxima	Esférico	0,14	0,40	9710,70	0,92	0,47	0,00	1,22
Novembro	Mínima	Esférico	0,07	0,95	17164,70	0,88	0,85	0,00	1,19
	Média	Esférico	0,07	0,95	17164,70	0,88	0,85	0,00	1,19
	Máxima	Esférico	0,26	0,43	9720,73	0,95	0,49	0,00	1,12
Dezembro	Mínima	Esférico	0,06	1,47	25902,60	0,90	1,01	0,03	1,28
	Média	Esférico	0,06	1,47	25902,60	0,90	1,01	0,03	1,28
	Máxima	Esférico	0,27	0,27	20000,00	0,98	0,21	0,00	0,77

(a) R, SSE, SE e Z² são, respectivamente, Coeficiente de correlação calculado versus observado, soma do quadrado dos erros, soma dos erros e erro quadrático médio adimensional

Tabela 15. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para dados de Temperatura média da região de Galícia em 2016.

Temperatura (T°C)	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance	Validação				
					R	SSE	SE	Z ²	
Janeiro	Mínima	Esférico	0,15	0,92	18998,66	0,94	0,70	0,01	1,01
	Média	Esférico	0,15	0,92	18998,66	0,94	0,70	0,01	1,01
	Máxima	Esférico	0,41	0,41	20000,00	0,95	0,54	0,00	1,30
Fevereiro	Mínima	Esférico	0,19	0,82	17884,26	0,94	0,65	0,01	0,96
	Média	Esférico	0,19	0,82	17884,26	0,94	0,65	0,01	0,96
	Máxima	Esférico	0,49	11,27	1560911,44	0,97	0,37	0,00	0,57
Março	Mínima	Esférico	0,28	0,73	20010,88	0,94	0,64	0,00	1,00
	Média	Esférico	0,28	0,73	20010,88	0,94	0,64	0,00	1,00
	Máxima	Esférico	0,60	3,65	314284,23	0,96	0,39	-0,01	0,47
Abril	Mínima	Esférico	0,30	0,71	21470,46	0,93	0,70	-0,01	1,11
	Média	Esférico	0,30	0,71	21470,46	0,93	0,70	-0,01	1,11
	Máxima	Esférico	0,63	1,91	79079,14	0,93	0,60	-0,01	0,59
Maio	Mínima	Esférico	0,34	0,53	30374,76	0,93	0,51	0,00	1,05
	Média	Esférico	0,34	0,53	30374,76	0,93	0,51	0,00	1,05
	Máxima	Esférico	1,25	4,83	94682,88	0,93	0,91	-0,02	0,44
Junho	Mínima	Esférico	0,46	4,93	1013569,90	0,93	0,39	0,00	0,67
	Média	Esférico	0,46	4,93	1013569,90	0,93	0,39	0,00	0,67
	Máxima	Esférico	1,38	9,69	115688,92	0,95	1,29	-0,02	0,46
Julho	Mínima	Esférico	0,57	5,54	655479,43	0,91	0,67	0,00	0,88
	Média	Esférico	0,57	5,54	655479,43	0,91	0,67	0,00	0,88
	Máxima	Esférico	2,17	8,12	75689,23	0,91	1,99	-0,02	0,53
Agosto	Mínima	Esférico	0,57	2,33	173039,37	0,87	0,61	0,00	0,75
	Média	Esférico	0,57	2,33	173039,37	0,87	0,61	0,00	0,75
	Máxima	Esférico	1,07	1,97	267427,24	0,84	2,08	0,00	1,74
Setembro	Mínima	Esférico	0,44	0,91	98489,21	0,85	0,52	0,00	0,91
	Média	Esférico	0,44	0,91	98489,21	0,85	0,52	0,00	0,91
	Máxima	Esférico	0,64	0,65	38891,96	0,64	2,67	0,00	4,06
Outubro	Mínima	Esférico	0,40	0,69	26243,85	0,86	0,69	-0,01	1,10
	Média	Esférico	0,40	0,69	26243,85	0,86	0,69	-0,01	1,10
	Máxima	Esférico	2,360	2,940	259081,600	0,84	1,57	-0,005	0,62
Novembro	Mínima	Esférico	0,00	1,12	19856,77	0,89	0,94	0,01	1,31
	Média	Esférico	0,00	1,12	19856,77	0,89	0,94	0,01	1,31
	Máxima	Esférico	0,170	1,340	19582,430	0,89	1,17	-0,005	1,11
Dezembro	Mínima	Esférico	0,02	2,36	25327,09	0,83	1,59	0,01	1,20
	Média	Esférico	0,02	2,36	25327,09	0,83	1,59	0,01	1,20
	Máxima	Esférico	0,630	1,920	33336,530	0,85	1,36	0,005	0,99

(a) R, SSE, SE e Z² são, respectivamente, Coeficiente de correlação calculado versus observado, soma do quadrado dos erros, soma dos erros e erro quadrático médio adimensional

Na Figura 13 e Figura 14 se presentan os mapas de variabilidade espacial, mediante krigagem universal para os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016.

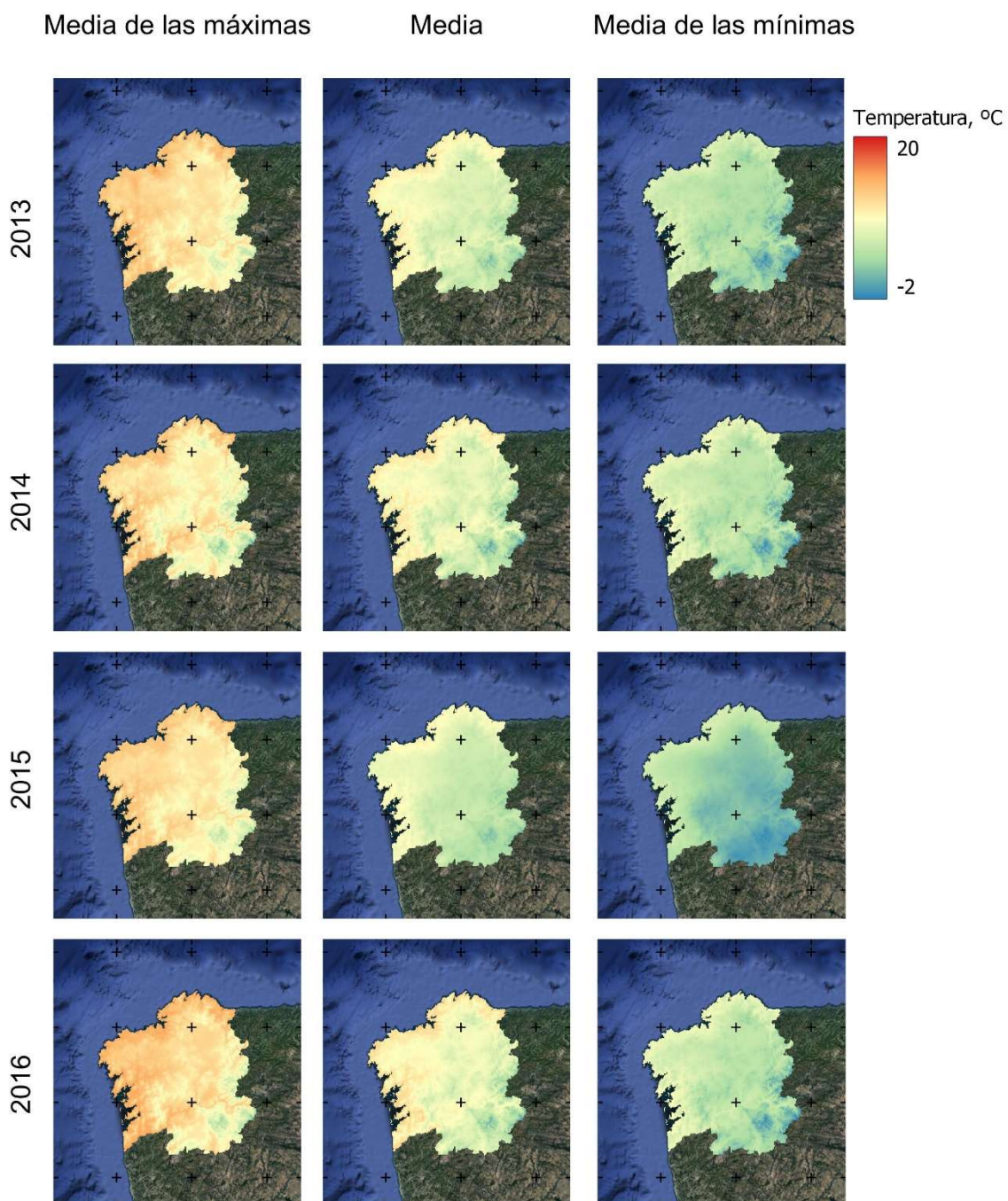


Figura 13. Interpolación de la temperatura media en Galicia mediante el método de krigado universal para enero de 2013, 2014, 2015 y 2016.

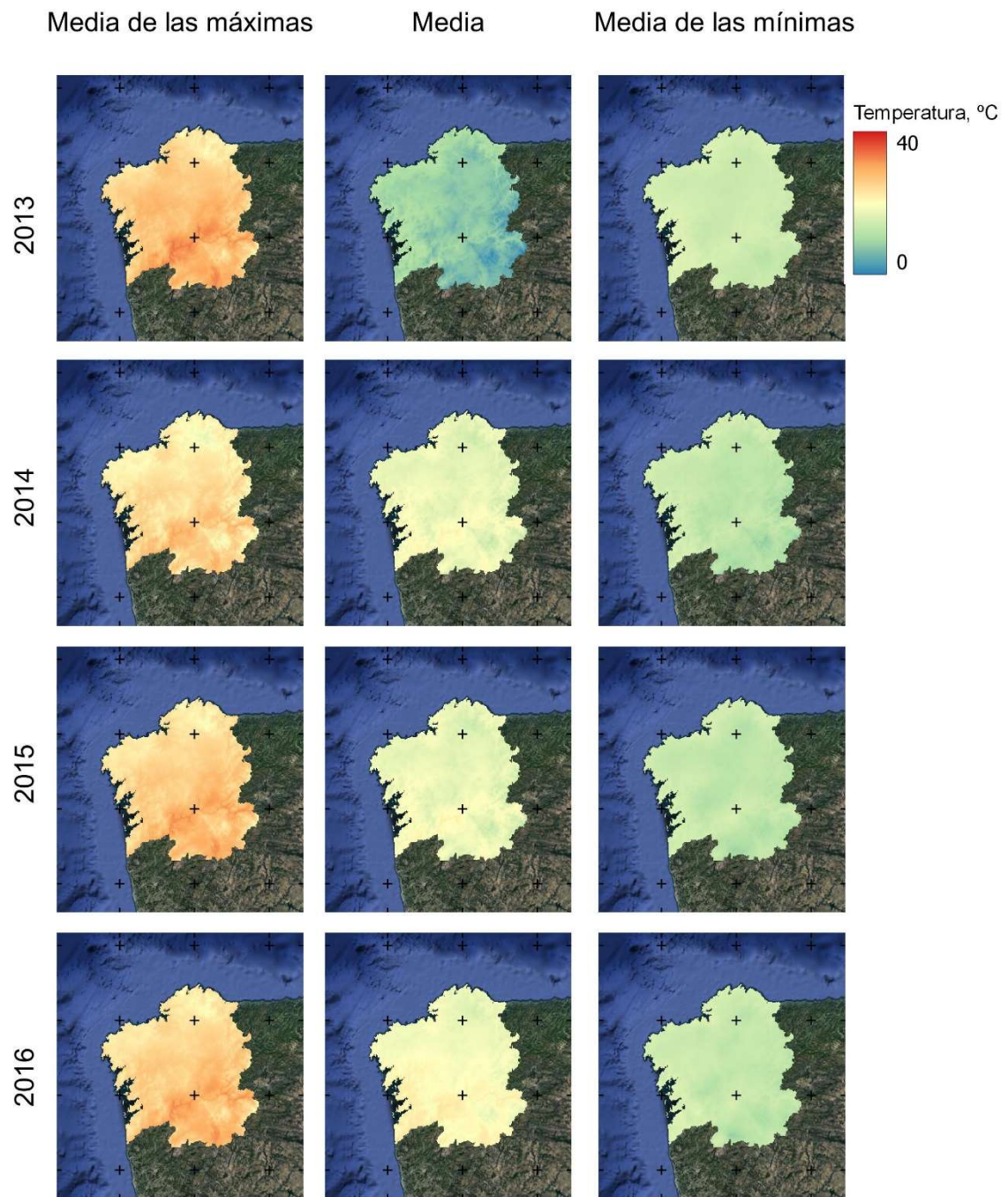


Figura 14. Interpolación de la temperatura media en Galicia mediante el método de krigado universal para julio de 2013, 2014, 2015 y 2016.

5.4 Conclusão

A distribuição espacial das temperaturas médias, máximas e mínimas na região de Galícia, Espanha, foi possível a partir da técnica geoestatística.

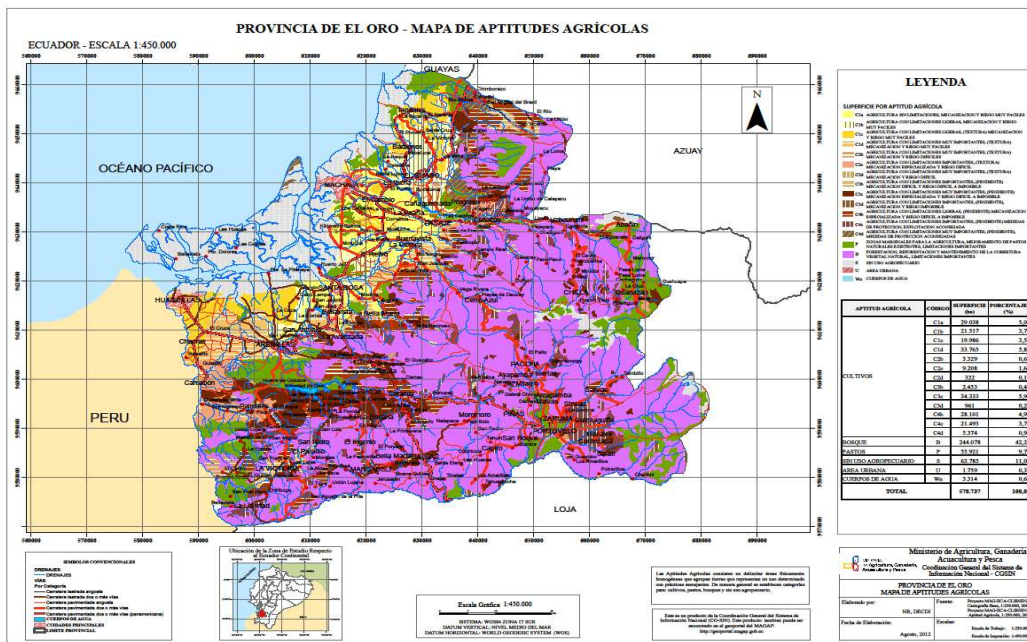
O maior alcance foi verificado no mês de junho de 2014 e o menor, no mês de novembro de 2014. Os dados de temperatura média mensal são independentes para estações situadas a distâncias superiores ao alcance.

O mês de janeiro/2014 mostrou melhor ajuste entre todos para a variável de temperatura.

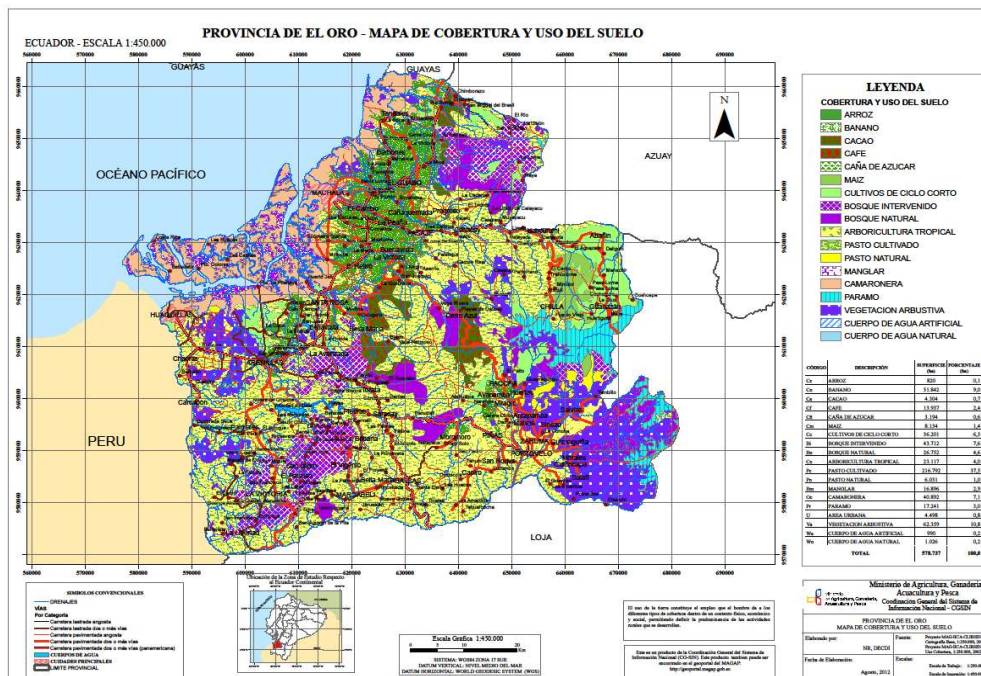
ANEXOS

6. ANEXOS

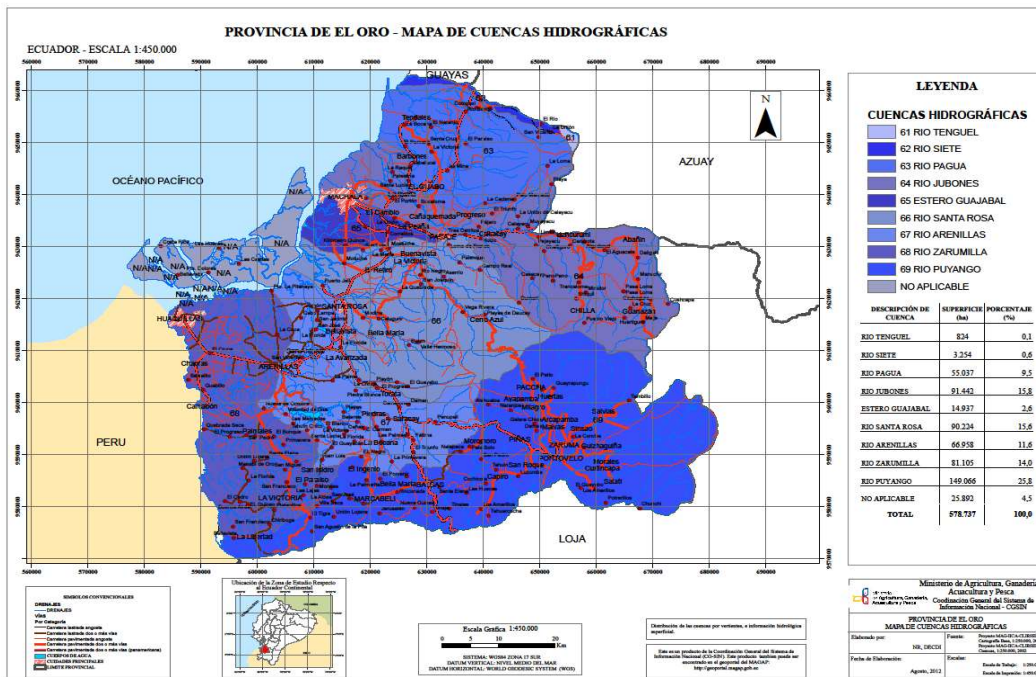
6.1 Superfície por aptidão agrícola na província de El Oro, Equador.



6.2 Cobertura e uso do solo na província de El Oro, Equador.

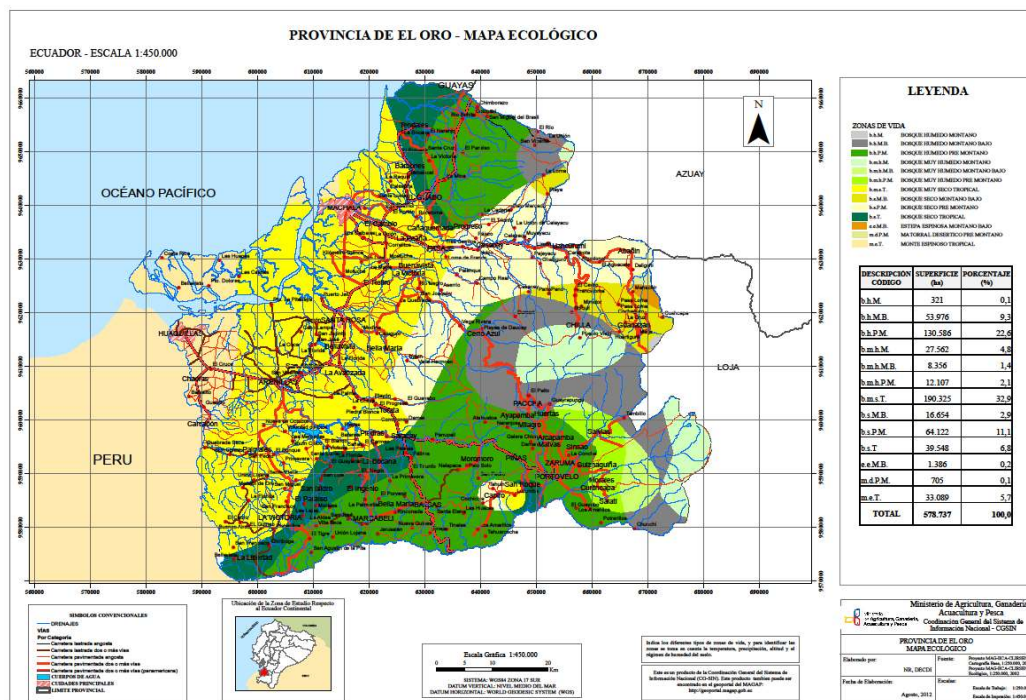


6.3 Bacias hidrográficas na província de El Oro, Equador.



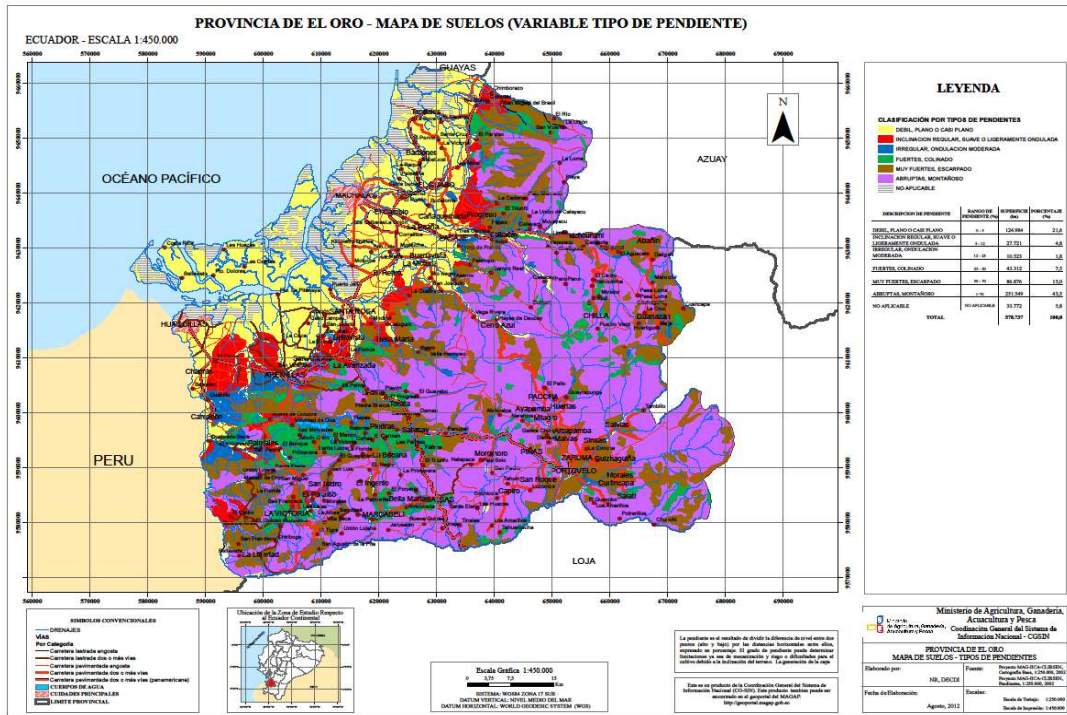
Fonte: MAG, 2002.

6.4 Mapa ecológico na província de El Oro, Ecuador

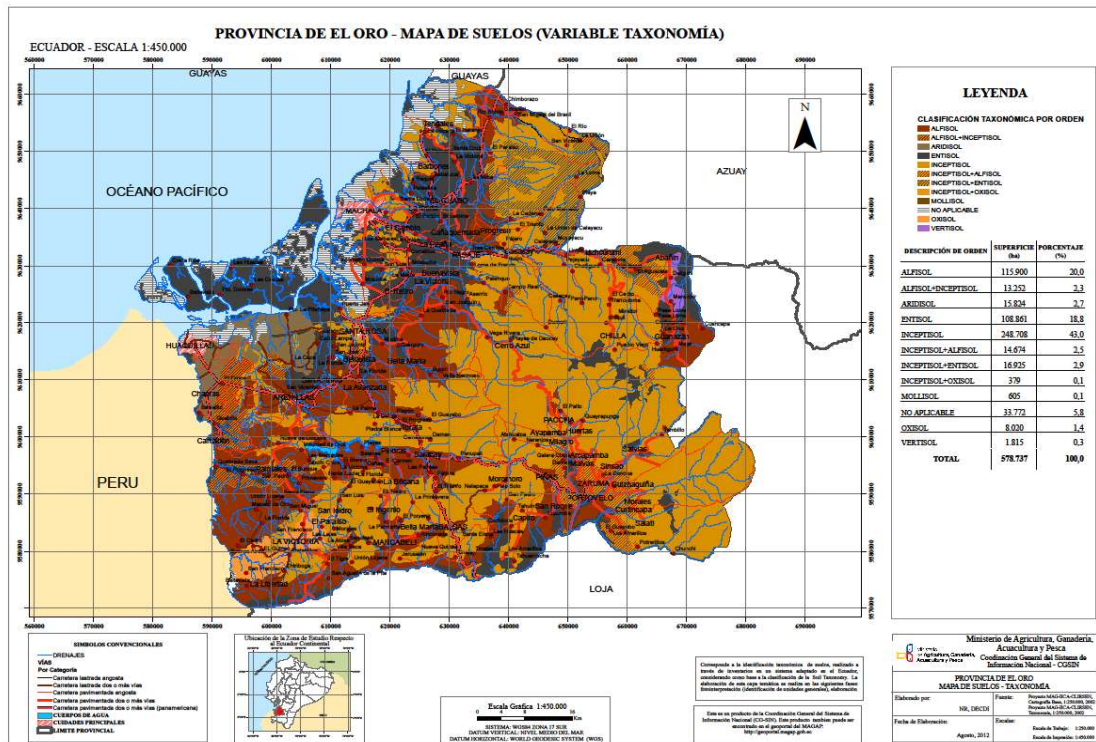


Fonte: MAG, 2002.

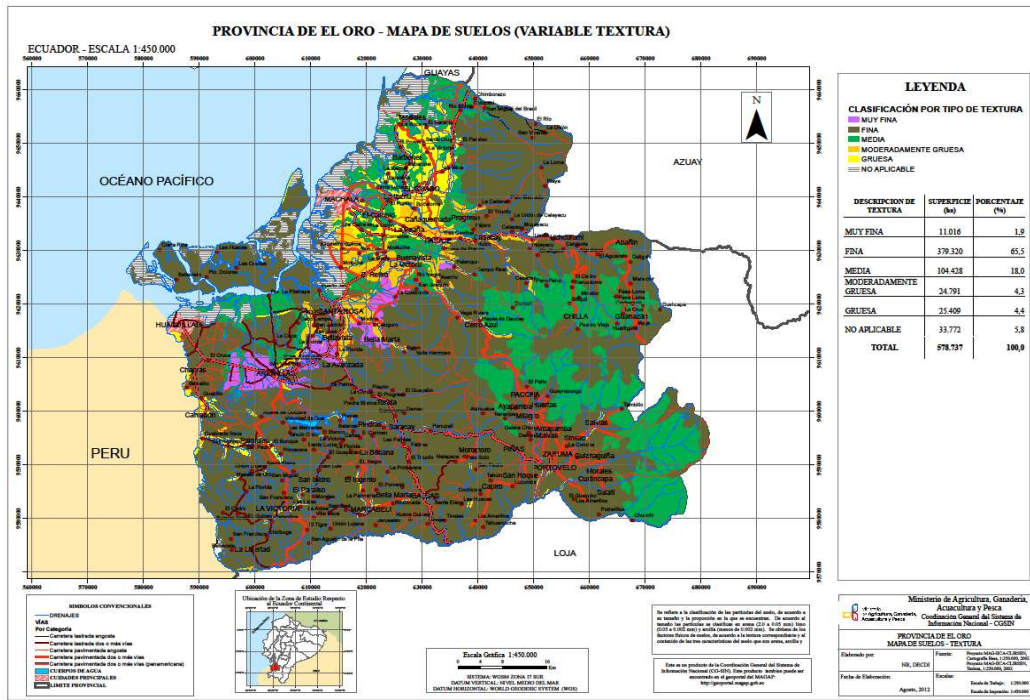
6.5 Classificação do solo por tipo de pendentes na província de El Oro, Equador.



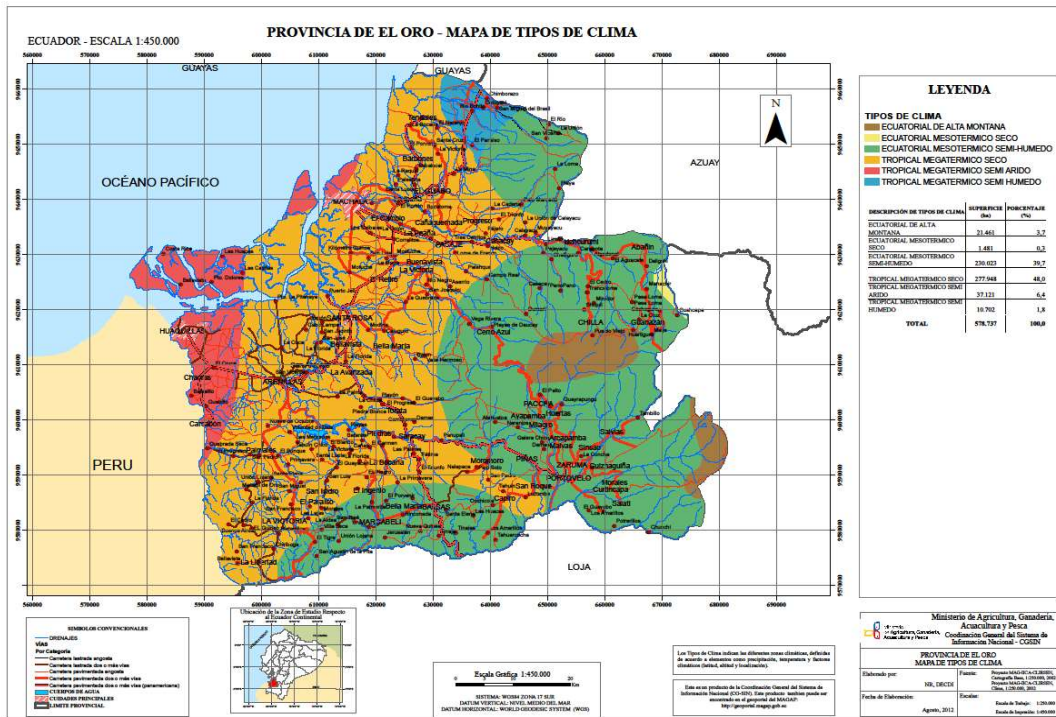
6.6 Classificação taxonômica do solo na província de El Oro, Equador



6.7 Classificação textural do solo na província de El Oro, Equador.



6.8 Tipos de clima na província de El Oro, Equador.



6.9 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2013 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	4,78	4,80	-1,50	10,10	2,22	46,38	-0,184	-0,023	>0,1500	NO
Fevereiro	167	3,46	3,50	-4,50	8,90	2,55	73,78	0,190	-0,287	>0,1500	NO
Março	167	5,59	5,50	-0,10	10,30	2,12	38,02	-0,136	-0,338	>0,1500	NO
Abril	167	5,93	5,90	-0,80	11,10	2,29	38,59	-0,046	-0,259	>0,1500	NO
Mai	167	6,10	6,10	0,70	11,20	2,18	35,75	-0,451	-0,057	>0,1500	NO
Junho	167	10,11	9,90	5,00	14,10	1,96	19,39	-0,639	-0,044	0,0136	NO
Julho	167	14,77	14,90	10,30	17,60	1,51	10,21	-0,220	-0,523	0,0201	NO
Agosto	167	13,51	13,40	6,50	17,50	2,03	15,03	-0,072	-0,328	0,0399	NO
Setembro	167	12,96	12,90	7,30	16,50	1,93	14,89	-0,498	-0,212	0,0766	NO
Outubro	167	11,00	11,00	4,80	15,80	2,16	19,59	-0,193	-0,270	0,1287	NO
Novembro	167	6,94	6,50	-1,20	15,50	3,92	56,54	-0,835	0,208	0,0494	NO
Dezembro	167	3,60	3,50	-1,60	9,40	2,54	70,69	-0,609	0,184	>0,1500	NO
Média anual	167	8,22	8,10	2,60	12,90	2,14	26,45	-0,463	-0,146	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.10 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2013 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Variação (%)	Coeficiente		Probabilidade do teste ^(a)	
				Mínimo	Máximo			Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	7,76	7,70	1,10	12,00	2,18	28,15	-0,045	-0,369	>0,1500	NO
Fevereiro	167	6,82	7,10	0,20	11,00	2,39	35,04	-0,223	-0,530	0,0262	NO
Março	167	8,72	9,10	2,30	12,20	2,20	25,23	-0,009	-0,716	<0,0100	**
Abril	167	10,34	10,70	4,50	13,70	2,00	19,31	-0,282	-0,589	<0,0100	**
Mai	167	10,99	11,40	4,60	14,30	2,03	18,46	-0,150	-0,576	<0,0100	**
Junho	167	15,23	15,40	10,00	18,90	1,86	12,20	-0,496	-0,311	<0,0100	**
Julho	167	20,35	20,50	15,50	25,00	1,71	8,37	0,228	-0,062	>0,1500	NO
Agosto	167	19,36	19,60	14,60	23,80	1,92	9,89	-0,551	-0,202	0,0850	NO
Setembro	167	18,20	18,30	12,60	21,90	1,66	9,13	0,139	-0,431	>0,1500	NO
Outubro	167	14,66	14,80	9,40	17,70	1,87	12,77	-0,487	-0,436	0,0232	NO
Novembro	167	9,23	9,40	1,70	14,00	2,56	27,78	-0,310	-0,422	<0,0100	**
Dezembro	167	7,38	7,20	1,50	11,80	2,25	30,55	-0,574	-0,090	>0,1500	NO
Média anual	167	12,47	12,70	7,50	15,40	1,75	14,03	-0,493	-0,507	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.11 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2013 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	11,28	11,30	5,60	15,30	2,11	18,69	-0,253	-0,540	0,0320	NO
Fevereiro	167	10,61	10,90	2,80	14,70	2,60	24,54	0,129	-0,836	<0,0100	**
Março	167	12,39	12,90	5,10	16,60	2,37	19,17	0,228	-0,785	<0,0100	**
Abril	167	15,08	15,40	5,70	20,70	2,51	16,65	1,087	-0,646	0,0140	NO
Mai	167	16,29	16,40	7,20	23,00	2,72	16,70	0,312	-0,246	>0,1500	NO
Junho	167	20,83	20,80	13,60	27,70	2,94	14,12	-0,390	0,091	>0,1500	NO
Julho	167	26,84	26,70	19,30	35,60	3,29	12,25	-0,075	0,109	>0,1500	NO
Agosto	167	26,20	26,40	18,60	34,80	3,40	12,96	-0,303	0,063	>0,1500	NO
Setembro	167	24,51	24,70	16,30	31,20	2,68	10,95	-0,007	-0,082	>0,1500	NO
Outubro	167	18,94	19,30	13,60	23,90	2,04	10,78	-0,184	-0,447	0,0135	NO
Novembro	167	12,97	13,30	5,60	17,60	2,52	19,45	-0,168	-0,678	<0,0100	**
Dezembro	167	11,85	11,61	5,90	16,40	2,03	17,14	-0,440	-0,354	<0,0100	**
Média anual	167	17,27	17,60	8,70	22,20	2,30	13,30	0,935	-0,665	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.12 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2014 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	5,63	5,85	-2,70	10,50	2,35	41,70	0,718	-0,646	>0,1500	NO
Fevereiro	167	4,01	4,15	-4,80	9,60	2,58	64,28	0,401	-0,543	<0,0100	**
Março	167	5,19	5,00	-0,30	10,50	2,18	42,05	-0,405	-0,010	>0,1500	NO
Abril	167	8,18	8,25	2,00	12,70	1,98	24,23	0,147	-0,346	>0,1500	NO
Mai	167	7,84	7,75	2,40	12,80	2,15	27,46	-0,318	-0,079	>0,1500	NO
Junho	167	11,35	11,30	5,40	15,90	2,08	18,29	-0,116	-0,351	0,1283	NO
Julho	167	13,30	13,40	7,00	16,90	1,94	14,61	-0,274	-0,399	0,0907	NO
Agosto	167	12,67	12,65	7,00	16,80	1,94	15,28	-0,360	-0,279	<0,0100	**
Setembro	167	13,57	13,70	6,50	17,90	2,07	15,22	0,333	-0,484	0,0575	NO
Outubro	167	11,95	11,90	6,00	16,80	2,02	16,88	-0,200	-0,143	>0,1500	NO
Novembro	167	7,31	7,45	0,50	13,00	2,22	30,42	0,294	-0,281	>0,1500	NO
Dezembro	167	4,30	4,20	-1,40	9,80	2,56	59,56	-0,556	-0,020	0,0838	NO
Média anual	167	8,78	8,70	3,00	13,60	2,10	23,95	-0,203	-0,241	>0,1500	NO

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.13 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2014 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	8,07	8,40	-0,60	12,30	2,42	30,00	0,743	-0,810	<0,0100	**
Fevereiro	167	7,19	7,50	-2,30	11,90	2,73	37,89	0,557	-0,793	<0,0100	**
Março	167	9,88	10,30	2,60	13,00	1,85	18,75	1,343	-0,918	<0,0100	**
Abril	167	12,39	12,80	5,20	15,50	1,85	14,97	1,153	-0,932	<0,0100	**
Mai	167	13,05	13,30	6,10	16,60	1,91	14,67	0,417	-0,696	<0,0100	**
Junho	167	16,47	16,80	9,60	20,30	1,83	11,13	0,614	-0,698	<0,0100	**
Julho	167	18,29	18,60	12,50	22,90	1,88	10,30	-0,144	-0,361	0,0216	NO
Agosto	167	17,66	18,00	11,80	21,90	1,75	9,91	0,253	-0,516	<0,0100	**
Setembro	167	17,87	18,30	10,80	21,30	1,79	9,99	1,514	-0,975	<0,0100	**
Outubro	167	16,06	16,20	9,70	19,10	1,68	10,45	1,200	-0,752	0,0488	NO
Novembro	167	10,25	10,50	2,40	15,10	2,31	22,51	0,672	-0,676	0,1171	NO
Dezembro	167	7,38	7,20	1,20	11,80	2,28	30,93	-0,497	-0,253	>0,1500	NO
Média anual	167	12,89	13,30	5,90	15,70	1,90	14,77	0,800	-0,874	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.14 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2014 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	10,61	11,00	1,60	15,30	2,55	24,08	0,747	-0,914	<0,0100	**
Fevereiro	167	10,58	11,00	0,10	16,50	2,79	26,40	1,400	-1,070	<0,0100	**
Março	167	15,20	15,60	5,80	20,00	2,34	15,40	2,096	-0,906	<0,0100	**
Abril	167	17,22	17,40	8,20	22,40	2,29	13,29	1,184	-0,506	0,0893	NO
Mai	167	19,72	19,00	9,70	25,00	2,62	14,00	0,392	-0,130	>0,1500	NO
Junho	167	22,16	22,40	13,40	28,90	2,56	11,56	0,519	-0,053	>0,1500	NO
Julho	167	23,93	23,90	16,10	31,10	2,93	12,26	-0,223	-0,070	>0,1500	NO
Agosto	167	23,35	23,40	15,20	30,00	2,71	11,62	0,084	0,075	>0,1500	NO
Setembro	167	23,34	23,50	13,90	28,70	2,33	9,98	1,684	0,702	<0,0100	**
Outubro	167	21,28	21,70	12,30	25,00	2,12	9,95	2,290	-1,090	<0,0100	**
Novembro	167	13,40	13,70	4,30	17,50	2,61	19,45	0,738	-0,908	<0,0100	**
Dezembro	167	10,99	11,10	3,70	15,70	2,36	21,49	-0,078	-0,620	<0,0100	**
Média anual	167	17,57	17,90	8,70	22,30	2,27	12,91	1,270	-0,751	0,0231	NO

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.15 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2015 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	3,30	3,10	-2,30	8,90	2,54	76,92	-0,683	0,185	>0,1500	NO
Fevereiro	167	2,92	2,90	-4,80	8,30	2,45	83,88	0,364	-0,291	>0,1500	NO
Março	167	4,90	4,80	-1,50	9,60	2,30	46,93	-0,394	-0,141	>0,1500	NO
Abril	167	7,61	7,50	1,70	12,20	1,19	28,72	-0,306	-0,185	>0,1500	NO
Mai	167	9,24	9,20	4,20	13,50	2,13	23,09	-0,546	-0,145	>0,1500	NO
Junho	167	12,17	12,30	5,50	15,50	1,73	14,25	0,313	-0,440	0,0724	NO
Julho	167	13,62	13,70	7,50	16,70	1,66	12,21	0,214	-0,436	<0,0100	**
Agosto	167	13,18	13,40	7,40	16,60	1,79	13,57	-0,043	-0,529	0,0399	NO
Setembro	167	10,63	10,50	3,60	15,30	2,07	19,44	-0,003	-0,283	0,0467	NO
Outubro	167	9,83	9,80	4,20	14,40	2,13	21,71	-0,400	-0,091	>0,1500	NO
Novembro	167	8,38	8,50	1,90	13,50	2,34	27,96	-0,448	-0,070	>0,1500	NO
Dezembro	167	7,32	7,30	1,20	12,90	2,50	34,17	-0,466	-0,067	>0,1500	NO
Média anual	167	8,60	8,50	3,00	13,00	2,06	24,01	-0,386	-0,135	>0,1500	NO

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.16 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2015 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	6,76	6,70	1,40	11,60	2,17	32,09	-0,655	-0,036	0,0175	NO
Fevereiro	167	6,13	6,60	-2,70	10,30	2,54	41,42	0,839	-0,853	<0,0100	**
Março	167	9,47	9,90	3,00	12,70	1,79	18,89	0,510	-0,743	<0,0100	**
Abril	167	12,53	12,80	5,30	15,70	1,92	15,34	1,016	-0,871	<0,0100	**
Mai	167	14,49	14,80	8,40	18,10	1,84	12,73	-0,073	-0,470	<0,0100	**
Junho	167	18,06	18,20	13,40	22,50	1,85	10,27	-0,379	-0,293	0,0295	NO
Julho	167	19,38	19,50	15,00	24,50	1,72	8,86	0,146	0,098	>0,1500	NO
Agosto	167	18,28	18,50	12,70	22,80	1,64	8,99	0,572	-0,266	0,1113	NO
Setembro	167	15,59	16,00	9,70	19,40	1,76	11,27	0,240	-0,708	<0,0100	**
Outubro	167	13,72	14,00	6,70	17,10	1,99	14,50	0,606	-0,753	0,0421	NO
Novembro	167	11,83	11,80	6,30	15,50	1,97	16,67	-0,296	-0,364	0,0739	NO
Dezembro	167	10,63	10,60	3,30	14,60	2,33	21,96	0,143	-0,513	>0,1500	NO
Média anual	167	13,11	13,50	6,90	16,40	1,76	13,40	0,479	-0,742	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.17 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2015 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	10,91	11,00	4,10	17,10	2,05	18,78	0,813	-0,648	0,0114	NO
Fevereiro	167	9,71	10,30	-0,60	15,40	2,91	29,95	0,913	-1,012	<0,0100	**
Março	167	14,79	15,00	7,10	20,50	2,37	16,04	0,071	-0,192	>0,1500	NO
Abril	167	18,09	18,40	9,40	23,80	2,45	13,55	0,645	-0,516	0,0352	NO
Mai	167	20,15	20,20	12,20	26,80	2,75	13,65	-0,251	-0,005	>0,1500	NO
Junho	167	24,62	25,00	16,40	32,60	3,28	13,31	-0,223	-0,219	0,0745	NO
Julho	167	25,76	25,50	19,00	33,50	3,13	12,16	-0,387	0,238	0,1215	NO
Agosto	167	24,10	24,00	16,60	31,10	2,79	11,60	-0,173	0,238	>0,1500	NO
Setembro	167	21,55	21,80	13,20	28,10	2,71	12,58	0,132	-0,181	>0,1500	NO
Outubro	167	18,16	18,60	9,30	22,30	2,36	13,01	0,979	-0,826	<0,0100	**
Novembro	167	16,12	16,30	9,20	19,40	1,93	11,97	0,907	-0,925	<0,0100	**
Dezembro	167	14,28	14,60	5,70	19,20	2,38	16,68	1,002	-0,881	<0,0100	**
Média anual	167	18,19	18,40	10,30	23,30	2,20	12,11	0,641	-0,511	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.18 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média mínima (°C) no ano de 2016 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	5,60	5,65	-1,60	10,80	2,35	42,00	0,165	-0,290	>0,1500	NO
Fevereiro	167	4,47	4,60	-2,70	9,70	2,46	54,88	-0,057	-0,337	0,1325	NO
Março	167	4,05	4,10	-2,70	9,10	2,42	59,87	-0,301	-0,184	>0,1500	NO
Abril	167	5,45	5,45	-1,20	10,40	2,41	41,12	-0,128	-0,286	>0,1500	NO
Mai	167	8,75	8,70	2,60	13,00	1,98	22,64	0,112	-0,362	>0,1500	NO
Junho	167	11,57	11,70	6,00	15,30	1,81	15,61	-0,206	-0,275	>0,1500	NO
Julho	167	13,96	13,80	7,10	17,20	1,75	12,57	0,297	-0,370	0,0418	NO
Agosto	167	13,59	13,80	6,50	16,90	1,79	13,19	0,703	-0,580	>0,1500	NO
Setembro	167	12,07	12,20	4,40	15,30	1,81	15,03	1,180	-0,707	>0,1500	NO
Outubro	167	9,92	9,80	3,80	14,10	2,04	20,56	-0,389	-0,140	>0,1500	NO
Novembro	167	5,94	5,80	0,20	11,40	2,28	38,40	-0,380	0,059	>0,1500	NO
Dezembro	167	5,29	5,20	-1,50	11,00	2,70	51,14	-0,632	0,100	>0,1500	NO
Média anual	167	8,40	8,40	3,00	12,70	2,01	23,98	-0,397	-0,136	>0,1500	NO

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.19 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média (°C) no ano de 2016 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	8,65	8,90	0,70	12,90	2,42	28,01	0,424	-0,689	0,0591	NO
Fevereiro	167	7,66	8,00	0,10	11,70	2,41	31,43	0,196	0,700	<0,0100	**
Março	167	8,08	8,60	-0,10	11,50	2,36	29,23	0,689	-0,889	<0,0100	**
Abril	167	9,68	10,10	1,40	13,00	2,26	23,30	0,943	-0,924	<0,0100	**
Mai	167	13,14	13,50	5,70	16,30	1,88	14,31	1,523	-1,054	<0,0100	**
Junho	167	16,67	16,80	10,70	20,80	1,74	10,42	0,319	-0,464	<0,0100	**
Julho	167	19,98	20,10	15,60	24,50	1,98	9,90	-0,653	-0,103	>0,1500	NO
Agosto	167	20,03	20,10	16,00	24,50	1,60	7,69	-0,371	0,033	0,1143	NO
Setembro	167	17,47	17,70	12,40	21,40	1,37	7,88	1,161	-0,549	<0,0100	**
Outubro	167	14,26	14,50	8,30	17,30	1,65	11,55	0,728	-0,759	0,0707	NO
Novembro	167	9,42	9,40	2,20	13,50	2,17	23,06	0,350	0,521	>0,1500	NO
Dezembro	167	8,98	9,00	3,60	13,10	2,24	24,96	-0,854	-0,125	0,0569	NO
Média anual	167	12,84	13,20	6,40	15,70	1,75	13,65	0,839	-0,888	<0,0100	**

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

6.20 Análise descritiva inicial para dados de temperatura média máxima (°C) no ano de 2016 na região de Galícia, Espanha.

Medidas estatísticas descritivas											
Meses	N	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coefficiente			Probabilidade do teste^(a)	
				Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr>D	DF
Janeiro	167	11,76	12,15	3,10	16,10	2,56	21,78	0,607	-0,883	<0,0100	**
Fevereiro	167	11,07	11,55	2,80	16,20	2,57	23,19	0,515	-0,882	<0,0100	**
Março	167	12,63	13,30	2,70	17,90	2,67	21,16	1,531	-0,985	<0,0100	**
Abril	167	14,41	14,75	3,90	19,70	2,59	17,96	1,542	-0,803	<0,0100	**
Mai	167	18,04	18,20	8,70	23,90	2,31	12,80	1,698	-0,662	0,1259	NO
Junho	167	22,05	22,25	14,10	29,10	2,69	12,20	0,006	0,042	>0,1500	NO
Julho	167	26,63	27,05	18,60	34,90	3,59	13,48	-0,452	-0,082	0,1333	NO
Agosto	167	27,32	28,90	19,80	35,50	3,33	12,20	-0,324	-0,014	>0,1500	NO
Setembro	167	23,88	23,80	13,50	30,60	2,73	11,44	0,890	-0,192	>0,1500	NO
Outubro	167	19,72	20,10	11,00	24,50	2,29	11,64	1,311	-0,811	0,0335	NO
Novembro	167	13,63	13,98	4,76	18,60	2,44	17,88	1,269	-0,999	<0,0100	**
Dezembro	167	13,86	13,97	5,94	18,76	2,21	15,97	0,463	-0,589	<0,0100	**
Média anual	167	17,94	18,20	9,40	22,80	2,23	12,44	1,221	-0,708	0,0232	NO

(a) Teste Kolmogorov-Smirnov, DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

REFERÊNCIAS

7. REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relações entre acidez e propriedades químicas de solos brasileiros. *Scientia Agrícola*, v.60, p.337-343, 2003.
- ACOCK, B.; PACHEPSKY, Y. Holes in precision farming: mechanistic crop models. In: STAFFORD, J. V. (Ed.). *Precision agriculture: spacial variability in soil and crop*. Oxford: Bios Scientific Publishers, 1997. V. 1, p. 397-404.
- ACOSTA, M. Los recursos naturales del Ecuador y su conservación. 1ª Parte. México D.F., MX. p. 55–68, 1965.
- AEMET. 2011. Atlas climático Ibérico. Agencia Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente.
- AGUIAR, M. I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Viçosa: UFV, 2008. 91p. Dissertação Mestrado
- ALKEMADE, C.T.; MILATZ, J.M.W.; *Journal of the Optical Society of America*, v. 45, p.583- 584, 1955.
- ALVES, G. M. S., FIGUEIREDO, G. S., OLIVEIRA, T. C., GREGO, C. R., SILVA, P. C. L. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração de um solo cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agraria*, v.17, n.1, p. 59-66, 2018.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; GODOY, S.G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 932-937, 2013.
- ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; BASSO, F.C.; PARIZ, C. M.; AZENHA, M. V.; VERCESE, F. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 520-526, 2010.
- ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). *Methods for assessing soil*

- quality. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (Special Publication, 49).
- ASSUMPÇÃO, R.A.B.; URIBE-OPAZO, M. A.; GODOY, E.; JOHANN, J.A. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade da produtividade de soja segundo os padrões regional, estadual e nacional. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, vol. 29, n.2, p. 165-171, 2007.
- BALDOCK, J. W. Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa geológico de la República del Ecuador. Dirección General de Geología y Minas, Quito, 70. 1982.
- BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 2, p. 1-636.
- BELLÉ, G. L. Agricultura de precisão: manejo da fertilidade com aplicação a taxa variada e fertilizantes e sua relação com a produtividade de culturas. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- BERTOL, I., BEUTLER, J. F., LEITE, D., BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, v.58, p. 555-560, 2001.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.843-849, 2005.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 2 v.
- BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; FABRICIO NETA, A. B.; RIBEIRO, M. R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p.1-14, 2011.
- BISSANI, C. A.; MEURER, E. J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. Cap. 6, p. 1-290.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de

- resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.975-983, 2008.
- BORGELT, S.C.; SEARCY, S.W.; STOUT, B.A.; MULLA, D.J. Spatially-variable liming rates - a method for determination. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.5, p.1499- 1507, 1994.
- BOIZARD, H., YOON, S.W., LEONARD, J., LHEUREUX, S., COUSIN, I., ROGER-ESTRADE, J., RICHARD, G. Using a morphological approach to evaluate the effect of traffic and weather conditions on the structure of a loamy soil in reduced tillage. *Soil Tillage Research*, v. 127, p. 34–44, 2013.
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science*, v.23, p.343-353, 1927.
- BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G. F.; TAYLOR, H. M. (Comp.). *Modifying the root environment to reduce crop stress*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 21-57.
- BRAGA, L.; DRUCK, S. Analysis of soil properties by geostatistical methods. *Geoestatistical for next century*. In: AN INTERNATIONAL FORUM IN HONOR OF MICHEL DAVID'S CONTRIBUTION TO GEOESTATISTICS, 1993, Montreal, Quebec, Canada. *Proceedings...* Montreal: s.n., 1993.
- BURAK, D. L.; SANTOS, D. A.; PASSOS, R. R. Variabilidade espacial de atributos físicos: relação com relevo, matéria orgânica e produtividade em café conilon. *Coffee Science*, v. 4, n. 11, p.455-466, 2016.
- BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science, Oxford*, v. 31, n. 3, p. 315-331, 1980.
- BURGESS, T.M.; WEBSTER, R.; McBRATNEY, A.B. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties. IV. Sampling strategy. *Journal of Soil Science, Oxford*, v.32, n.4, p.643-659, 1981.
- BUSSAB, W.; MORETTIN, P. A. *Estatística básica*. 4. ed. São Paulo: Atual, 1987.
- CALVETE, F. J. S.; RAMIREZ, J. C. *Geoestadística: Aplicaciones a la hidrogeología subterránea*. A Coruña: Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria, 1996.

- CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 1998.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.
- CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistema tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 27-40.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C., AQUINO, R.E. DE, OLIVEIRA, I. A. DE, BERGAMIN, A.C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de humaitá, amazonas, Brasil. Agraria, v. 8, n.2, p. 305-310, 2013.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; SANTOS, L. A. C.; MANTOVANELLI, B. C. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agrofloresta na região de Humaitá, AM. Comunicata Scientiae (Online), v. 5, n. 4, p. 509-517, 2014.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.
- CARBALLEIRA, A., DEVESA, C., RETUERTO, R., SANTILLÁN, E., UCIEDA, F. 1983. Bioclimatología de Galicia. Ed. Fundación P. Barrié de la Maza. A Coruña.
- CÁRDENAS, D. F. O. Monitoreo y mapificación del estado actual de los suelos por su reacción, mediante el uso de los SIG del cantón Atahualpa, provincia de El Oro. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2007

- CARNEIRO, J. S. S.; SANTOS, A. C. M.; FIDELIS, R. R.; SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. *Revista de Ciências Agroambientais*, v.14, n. 2, p. 10-21, 2016.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.695-703, 2003.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob videira (*Vitis vinifera* – L) de Vitória do Brasil (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E COPNSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. Anais... Ilhéus: [s.n.], 2000. 1 CD-ROM.
- CASTILLO, B. Caracterización de las propiedades y fertilidad de los suelos del canto Marcabelí, Provincia de El Oro (tesis de pregrado). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. 4 – 5 p. 2015.
- CLAPP, C. E., STARK, S. A., CLAY, D. E. & LARSON, W. E. Sewage sludge organic matter and soil properties. In: Chen, Y., Avnimelech, Y. (Eds.). *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, pp. 88–97, 1986.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e da cultura. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.;
- LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.249-290, 2003.
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, vol.26, n.2, p.374-387, 2006.
- CORADO NETO, F. C., SAMPAIO, F. M. T., VELOSO, M. E. C., MATIAS, S. S. R., ANDRADE, F. R., LOBATO, M.G.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração em neossolo litólico degradado. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v.39, p. 1353-1361, 2015.
- CRISTÓBAL, A.; PALACIOS, V.; RUIZ, F. Comparación de métodos de interpolación en variables hídricas del suelo. *Agrociência*, Havana, v.30, n.2, p.329-343, 1996.

- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n. 3, p. 453-461, 2012
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina - Ciências Agrárias*, v.33, p.541-552, 2012.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 4, p.908-916, 2011.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n. 1, p. 8-19, 2011b.
- DALCHIAVON, F. C.; RODRIGUES, A. R.; LIMA, E. S.; LOVERA, L. H.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, [s.l.], v. 16, n. 2, p.144-154, 20 jun. 2017. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711622017144>.
- DE UÑA ÁLVAREZ, E. 2001. El Clima. En: *Atlas de Galicia*. Tomo 1: Medio Natural. Dirigido por Precedo Ledo, A. y Sancho Comíns, J. Sociedade para o Desenvolvimento Comarcal de Galicia. Xunta de Galicia. pp.: 137-156.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory. Effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.
- DONTSOVA, K. M., DARRELL NORTON, L., JOHNSTON, C. T. & BIGHAM, J. M. Influence of exchnageable cations on water adsorption by soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 68, p. 1218 -1227, 2004.

- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSAJ, 1994. p. 3-22. (Publication Number, 35).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Análise especial de dados geográficos. Planaltina: Embrapa-Cerrado, 209p, 2004.
- ELTZ, F. L.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, R. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo brunoálico. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, v. 13, p. 259-267, 1989.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Yield of common bean in no-tillage system with application of lime and zinc. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, v. 39, p.73–78, 2004.
- FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.
- FERREIRA, G. B. Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais. 2003. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Solo e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. Soil & Tillage Research, v.48, p.21-35, 1998.
- FONT TULLOT, I. 2002. Climatología de España y Portugal. Ediciones de la Universidad de Salamanca. 422 pp.
- FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; CARVALHO, G. J. VERONESE JUNIOR, V. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. 1977. Variedad climática de Galicia. Calendario meteorofeno- lógico. Servicio Meteorológico Nacional, pp: 173-183.
- GARDI, C., ANGELINI, M., BARCELÓ, S., COMERMA, J., CRUZ, C., ENCINA, A., JONES, A., KRASILNIKOV, P., MENDONCA, M., MONTANARELLA, L., MUÑIZ, O., SCHAD, P., VARA, M., & VARGAS, R. (eds), 41 (2014). Atlas

de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea – Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. L – 2995 Luxembourg. 176 pp.

GIMÉNEZ, L. M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica de amostragem em grade. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute Brazil, 2012. p. 19-25. (Informações Agronômicas, 138).

GOBIERNO PROVINCIAL AUTÓNOMO DE EL ORO. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de el oro 2014- 2025. [s.i]: [s.i], 2014. 479 p.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows version 8.0. Colorado: Golden, 2002.

GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M. da.; MENDONÇA, E. S. Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, p. 543-551, 1997.

GUARIZ, H. R. et al. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009, p. 7709-7716.

GUIMARÃES, E. C.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, M. S. A variabilidade espacial do pH e da argila dispersa em água em um Latossolo roxo no município de Lavras, MG. Ciência e Prática, Lavras, v. 16, n. 1, p. 12-17, 1992.

GUIMARÃES, E. C. Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 78 p.

GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. 2000. 89 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

- GS+: Geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.
- GREENLAND, D. J. Soil management and soil degradation. *Journal of Soil Science*, London, v. 31, p. 301-322, 1981.
- GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIMI, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão resultados de um novo olhar. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. 596 p.
- HAMLETT, J. M.; HORTON, R.; CRESSIE, N. A. C. Resistance and exploraty techniques for use in semivariogram analysis. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 50, p. 868-75, 1986.
- HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. *Life zone ecology*, 1967.
- HUSSEIN, J. & ADEY, M. A. Changes in microstructure, voids and b-fabric of surface samples of a Vertisol caused by wet/dry cycles. *Geoderma*, v. 85, p. 63–82, 1998.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geoestatistics. New York: Oxford University, 1989. 561p.
- JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. Mining geostatistics. London: Academic Press, 1991. 600p.
- JUMBO, R. E. J. Monitoreo y mapificación del estado actual de los suelos por su reacción, mediante el uso de los SIG del cantón Portovelo, província de El Oro. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Inginería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2007
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; CHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of American Journal*, v.61, p.4-10, 1997.
- KHALEEL, R., REDDY, K. R. & OVERCASH, M. R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *J. Environ. Qual*, v. 10, p. 133-141., 1981.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia: Relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 263 p.

- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 395-401, 1995.
- LAGO, A. LAGE, A. CRUZ, R. PÉREZ-MUÑUZURI, V. Estudo das variações de temperatura e precipitação em galicia nos últimos trinta anos no contexto do cambio climático global. *Revista Real Academia Galega de Ciencias*, Galicia, v. 25, p.27-57, 2006.
- LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Editora da Unesp, 1998. 226p.
- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-51, 1994. (Special Publication Number, 35).
- LEÃO, T. P. Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 58p. Dissertação Mestrado.
- LEMOES FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. de. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. *Revista Agro@ambiente*, v. 11, n. 1, p.11-20, 2017.
- LETEY, J. (1985). Relationship between soil properties and crop production. *Advances in Soil Science* 1, p. 273-294, 1985.
- LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 20, p. 1-12, 1996.
- LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; SOUZA, A.; COSTA, N. R.; MONTANARI, R. Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do baixo são José dos dourados. *Geociências*, v. 35, n. 1, p.63-76, 2016.
- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. *Revista Árvore*, v. 34, n. 1, p. 127-136, 2010.
- LOPES, A. S. Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Potafós, 1983. 162 p.

- LÓPEZ, C.L. Estudio preliminar de las zonas Agrícolas del Ecuador, 1961.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., CASTILLO RODRIGUEZ, F., BLANCO CAHO, R. 1999. En: Martínez Cortizas, A. y Pérez Alberti, A. (coords). Atlas Climático de Galicia. Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente. Santiago de Compostela (A Coruña), pp.75-91.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., Y PÉREZ ALBERTI, A. (coords.) 1999. Atlas Climático de Galicia. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 207 pp.
- MACHADO SIQUEIRA, G. 2017. Variabilidade espacial de la temperatura en Galicia a escala mensual.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA - MAPA - Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Agricultura de precisão. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agricultura-Precisao/Conceitos%20relacionados%20%C3%A0%20Agricultura%20de%20Precis%C3%A3o\(1\).pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agricultura-Precisao/Conceitos%20relacionados%20%C3%A0%20Agricultura%20de%20Precis%C3%A3o(1).pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. E. A. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja In: MACHADO, P. L. O. A. SILVA, C. A. et al. (Ed.). Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. p. 115-129.
- MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

- MARCHINI, T.C. LING, M.C. ALVES, S. CRESTANA, S.N. SOUTO
FILHO, O.G. ARRUDA. Organic matter, water infiltration and tomographic images of Latosol in reclamation under different managements. *Rev. Bras. Eng. Agr.*, v. 19, n.6, p. 574-580, 2015.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science, Oxford*, v.37, n.4, p.617-639, 1985.
- McBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 43, p. 866-870, 1979.
- MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Gênese, 2000. 174 p.
- MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, E. J. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 117-162.
- MILLER, V. EIFIL. Ecuadorian soils and some of their fertility properties. Itaca, New York. 1945.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA MAG-Programa Nacional de Regionalización Agraria-PRONAREG-ORSTOM (Ecuador). Mapa Morfo-Pedológico de Machala [Material cartográfico]. Escala 1:200.000. Quito: Instituto Geográfico Militar, 1983.
- MIOLO, E. C. C., PAULETTO, E. A., LIMA, C. L. R., PINTO, L. F. S., TIMM, L.C. Intervalo hídrico ótimo em solo construído após mineração de carvão em diferentes limites críticos de resistência à penetração e umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 563-572, 2015.
- MIRÁS AVALOS, J.M. 2003. Estimación y simulación de la precipitación en Galicia a escala mensual. Tese de doutorado. UDC, 271p.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.
- MOLIN, J. P.; VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO-NETO, A.; FAULIN, G. D. C.; MASCARIN, L. Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v. 6, n. 3, p. 309-324, 2010.

- MONTANARI, R. Atributos do solo e componentes produtivos da cultura da pupunha: uma abordagem linear, geoestatística e multivariada. 2016. 106 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.
- MONTANARI, R. Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistemas de manejo de elevado nível tecnológico. 2009. 172 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DLACHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.
- MONTANARI, R.; NAGEL, P. L.; LUZ, A. P.; SILVA, E. N. S.; REZENDE, I. S.; SILVA, L. V.; MACHADO, F. C.; ROQUE, R. C. Correlação espacial e temporal de atributos físicos do solo com a produtividade do feijão em Chapadão do Sul – MS. Revista Agrarian, Dourados, v. 6, n. 21, p. 289-302, 2013a.
- MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, n. 2, p. 385-396, 2015.
- MONTANARI, R.; PELLIN, D.M.P.; SILVA JUNIOR, C.A.; CARVALHO, M.P.; GIOIA, M.T.; DALCHIAVON, F.C.; GONZÁLEZ, A. P. Correlação entre produção de feijão e atributos físicos de um Latossolo em Mato Grosso do Sul. Revista Ceres, Viçosa, v.60, n.6, p.772-784, 2013b.
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p. 839-847, 2006.
- MORENO, L. E. T. Monitoreo y mapificación del estado actual de los suelos por su reacción, mediante el uso de los SIG del cantón Las Lajas, provincia de El Oro. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniería Agronómica, Facultad

de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2007

- NAGAHAMA, H.J., CORTEZ, J.W., PIMENTA, W. A., PATROCÍNIO FILHO, A. P.; SOUZA, E.B. Resistência do solo à penetração em sistemas de preparo e velocidades de deslocamento do trator. *Comunicata Scientiae*, v. 7, n.1, p. 56-65, 2016.
- NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. A. T.; DARONCH, D. J.; DOTTO, M. A.; ARAÚJO, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. *Semina*, v.35, n. 1, p. 193-204, 2014.
- NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C. dos; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n. 9, p. 995-1004, 2013.
- NORTON, L. D. Gypsum soil amendment as a management practice in conservation tillage to improve water quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 63, n.2, p. 46-48, 2008.
- NORTON, L. D. & DONTSOVA, K .M. Use of soil amendments to prevent soil surface sealing and control erosion. *Adv. Geoecol*, v. 31, p. 581–587, 1998.
- OADES, J. M.; GILLMAN, G. P.; UEHARA, G.; HUE, N. V.; van NOORDWIJK, M.; ROBERTSON, G. P.; WADA, K. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C. et al. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Hawaii: University of Hawaii, 1989. p. 69-95.
- ORELLANA, DE J. & PILATTI M. Aplicación de enmiendas cálcicas en un horizonte B2t. *Ciencia del Suelo*, v. 8, n. 2, p. 127-139, 1990.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J. S. C. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant and Soil*, v. 123, p. 27-37, 1990.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais*. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- PINEDA, D. F. C. Monitoreo y mapificación del estado actual de los suelos por su reacción, mediante el uso de los SIG del cantón Huaquillas, provincia de El Oro. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniería Agronómica, Facultad

de Ciências Agropecuárias, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2007

- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. E ROQUERO, C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2003. 929 p.
- PORTELA, J. C.; COGO, N. P.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J. P.; PORTZ, G. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1353-1364, 2010.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.
- RAUBER, L. P., PICCOLLA, C. D., ANDRADE, A. P., FRIEDERICHS, A., MAFRA, A. L., CORRÊA, J. C., ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties and organic carbon content of a rhodic kandiodox fertilized with pig slurry and poultry litter. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 36, p. 1323-1332, 2012.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J., BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 2, p. 49-135.
- REICOSKY, C. & K.E. SAXTON. The benefits of no-tillage. In No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd edition (BAKER C.J., SAXTON K.E., RITCHIE W.R., CHAMEN D., REICOSKY C., RIBEIRO M.F., JUSTICE S.E. and P.R. HOBBS, eds.). FAO and CAB International, p. 11-20, 2007.
- RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORRÊA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. Anais... Piracicaba: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.
- RESENDE, J. M. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n. 4, p. 1077-1090, 2014.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade especial de parâmetros do solo. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- ROBAINA, F.G.; SEIJAS, T.L. Distribución espacial de la conductividad hidráulica de saturación en un área cañera de la llanura Habana-Matanzas. *Revista Ciência Técnica Agropecuaria*, Havana, v.11, n.1, p.71-76, 2002.
- ROBERTSON, G. P. GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ user’s guide. Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 152 p.
- ROLDÁN, A., CARAVACA, F., HERNÁNDEZ, M. T., GARCÍA, C., SÁNCHEZ-BRITO, VELÁSQUEZ, C. & TISCAREÑO, M. No-Tillage, Crop Residue Additions, and Legume Cover Cropping Effects on Soil Quality Characteristics Under Maize in Patzcuaro Watershed (Mexico). *Soil Tillage Research*, v. 72, p. 65-73, 2003.
- ROSA FILHO, G. Produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto. 2008. 89 f. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.
- ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.821-828, 1999.
- RUSSO, D.; BRESLER, E. Soil hydraulic properties as stochastic processes: I Na analysis of field spacial variability. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 45, p.6 87, 1981.
- SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na

- produtividade do algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 10, p.994-1002, 2014.
- SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; SILVA, M. B. Planejamento amostral dos teores de Cu, Fe, Mn, Zn e Na em Latossolo cultivado com café conilon. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 13, n. 3, p.318-326, 2014.
- SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1339-1348, 2011.
- SANTOS, V. B. Atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do Piauí. 2010. 120 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.
- SASAL, M. C., BOIZARD, H., ANDRIULO, A., WILSON, M. & LÉONARD, J. Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff. *Soil Tillage Research*, v.173, p. 33-41, 2017a.
- SASAL, M. C., LÉONARD J., ANDRIULO, A. & BOIZARD, H. A contribution to understanding the origin of platy structure in silty soils under no tillage. *Soil Tillage Research*, v. 173, p. 42-48, 2017b.
- SASAL, M. C., ANDRIULO, A. E., ULLÉ, J., ABREGO, F. & BUENO, M. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, v. 18, p. 95-104, 2000.
- SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 85-91, 2000.
- SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. SAS: system for elementary statistical analysis. 2. ed. Cary: [s.n.], 1997. 905 p.
- SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.
- SENIGAGLIESI, C. & FERRARI, M. Soil and crop responses to alternative tillage practices. *International Crop Science I*. pp. 27 - 35. In: DR BUXTON, R

- SHIBLES, RA FORSBERG, BL BLAD, KH ASAY, GM PAULSEN & RF WILSON (eds). Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1993.
- SEVERIANO, E.C., OLIVEIRA, G.C., DIAS JUNIOR, M.S., CASTRO, M.B., OLIVEIRA, L.F.C, COSTA, K.A.P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II - quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. *Engenharia Agrícola*, v. 30, p. 414-423, 2010.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. VI - Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo: matéria orgânica. Viçosa: UFV, 2007. Cap. 6, p. 275-356.
- SILVA, W. R. N., NUNES, M. C. M., CALDEIRA, D. S. A., ARANTES, E. M., SOUZA, L. H. C. Resistência à penetração de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes manejos. *Revista Agrotecnologia*, v. 3, p. 49-61, 2012.
- SIQUEIRA, G.M., BEZERRA, J.M., VIEIRA, S.R., CAMARGO, M.B.P. Zoneamento de Parâmetros Climáticos no Estado de São Paulo (Brasil) utilizando Técnicas de Geoestatística. 2012. *Revista Brasileira de geografia Física*, v.3, p.612-629.
- SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V – A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo: a acidez do solo e sua correção. Viçosa: Ed. UFV, 2007. Cap. 5, p. 205-274.
- SOUZA, L. S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. 1992. 162 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- SEDAMANOS, A. J. J. Monitoreo y mapificación del estado actual de los suelos por su reacción, mediante el uso de los SIG del cantón Chilla, provincia de El Oro. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2007
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. SAS/STAT guide for personal computer: version 9.1. Cary: SAS Institute, 2003.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Soil use and management and its impact on physical

- quality. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.
- STEVENSON, F. J. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley and Sons. New York. 443 p, 1982.
- STURARO, J.R., 2015. *Apostila de geoestatística básica*. Disponível: <http://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>. Acesso: 14 mai. 2017.
- TABOADA, M. A., MICUCCI, F. G., CONSENTINO D. J. & LAVADO, R. S. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Tillage Research.*, v. 49, p. 57-63, 1998.
- TAYLOR, H.M. & H.R. GARDNER. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. *Soil Science*, v. 96, p. 153-156, 1963.
- TESTER, C. G. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, v. 54, p. 827-831, 1990.
- TISDALL J. M. & OADES J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Soil Science*, v. 33, p. 141-163, 1982.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 38, p. 45-94, 1985.
- UNC, A. & GOSS, M. J. Impact of organic waste amendments on soil hydraulic properties and on water partitioning. *Journal of Environmental Engineering and Science*, v. 5, n. 3, p. 243 – 251, 2006.
- UZHO, C. M. O. Monitoreo y mapificación del estado actual de los suelos por su reacción, mediante el uso de los SIG del cantón Machala, provincia de El Oro. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2007
- VALLADARES, G. S.; AZEVEDO, E. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; RASTOLDO, A. M. C. S. Variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 3, p. 733-742, 2009.

- VALLE, S.R, CARRASCO, J, PINOCHET, D et al. Variabilidad espacial y temporal de la disponibilidad de nutrientes y la condición de acidez de suelos volcánicos. *Agro sur*, 2014, vol.42, no.3, p.15-22. ISSN 0304-8802.
- VICENTE, J. Estudo comparativo de métodos geoestatísticos aplicados em Agricultura de Precisão. 2004. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.
- VIEIRA, C. et al. Efeitos das datas de plantio sobre o feijão cultivado no outono-inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 26, n. 6, p. 863-873, 1991.
- VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.45, p.1040-1048, 1981.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v.51, n.1, p.1-75, 1983.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.
- VIEIRA, S. R.; BRANCALIÃO, S. R.; GREGO, C. R.; MARTINS, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 2, p. 423-432, 2010.
- VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V. DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1503-1514, 2010b.
- VIEIRA, S. R., HATFIELD, J. L., NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v. 51, n. 1, p. 1-75, 1983.

- VIEIRA, S. R., NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 45, p. 1040-1048, 1981.
- VILLASEÑOR, D., CHABLA, J. & LUNA, E. Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro. *Revista Cumbres*, 1(2), 28-34, 2015.
- XUNTA DE GALICIA. 2016. Plan espacial de protección civil ante o risco de inundación en Galicia. Consellería de Xustiza, Interior e Administración Local. 219p.
- WALKLEY, A. BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37, p. 29-38, 1934.
- WALSH, A. Spectrochemical Analysis. Commonwealth Sci. and Ind. Res Organization, Australian Off. Journ of Patent, Trade-marks and Designs, 16, 586(23,041/53). Nov. 17. 1953.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Statistical methods in soil and land resourcer survey. Oxford: Oxford Univesity Press, 1990. 319 p.
- WILSON, M. G. & CERANA, J. Mediciones físicas en suelos con características vérticas. *Revista Científica Agropecuaria*, v. 8, n. 1, p. 11-22, 2004.
- WILSON, M. G., MIRÁS-AVALOS, J. M., LADO, M., & PAZ-GONZÁLEZ, A. Multifractal analysis of vertical profiles of soil penetration resistance at varying water contents. *Vadose Zone Journal*, v. 15, n. 2, 2016. doi:10.2136/vzj2015.04.0063.
- WINCKELL, A. Los paisajes naturales del Ecuador. Quito: CEDIG/ ORSTOM, 183p, 1992.
- YOST, R.S.; UEHARA, G.; FOX, R.L. Geoestatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semi-variograms. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.46, n.5, p.1028-1032, 1982.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num latossolo vermelho sob semeadura direta. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.
- ZECH, Z. E. A. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 69-116, 1997.

ZONTA, J. H. BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V.
Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com
algodoeiro no Cerrado do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola
e Ambiental, [s.l.], v. 18, n. 6, p.595-602, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000600005>.