

IMPACTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO SOBRE LAS ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE SOJA

Martín Díaz-Zorita
CONICET-FAUBA, DZD Agro y Nitragin Argentina S.A.

Palabras clave: fósforo, nitrógeno, potasio, micronutrientes, fertilización, inoculación, sanidad

Los rendimientos alcanzables por los cultivos dependen de la selección de factores determinantes (genotipo, fecha de siembra, tipo de suelo) y del resultado del manejo de elementos limitantes (disponibilidad de agua y nutrientes) y reductores (enfermedades y plagas). La acción de estos factores sobre el crecimiento y producción de los cultivos no es independiente y se definen abundantes interacciones que resultan en respuestas combinadas de los cultivos luego de la ejecución de acciones correctivas. Es propósito de este artículo presentar y discutir elementos que contribuyan a interpretar la contribución de la oferta de nutrientes sobre la sanidad y rendimientos de soja, en particular en el contexto de sistemas de producción del cono sur.

El ambiente y el manejo tienen importantes efectos en las interacciones entre hospedantes y patógenos. La disponibilidad de nutrientes puede incidir sobre la predisposición a la infección del huésped afectando el vigor de las plantas, sus características anatómicas, histológicas, reacciones fisiológicas y eficiencia de uso del agua. Los nutrientes afectan (i) la velocidad de penetración, colonización y reproducción de los patógenos, (ii) la velocidad de crecimiento del patógeno y la de otros microorganismos y (iii) la viabilidad de algunos de ellos por efecto tóxico directo de algunos fertilizantes (Ivancovich, 1996). Además, la nutrición afecta la velocidad de crecimiento y rapidez de las plantas para defenderse del ataque de patógenos.

Son varios los estudios que muestran efectos aditivos de fertilización y uso de funguicidas para el control de enfermedades de fin de ciclo e incluso algunos que sugieren la ocurrencia de respuestas sinérgicas entre estos tratamientos (Miguez, 2005). Está reconocido que las aplicaciones de funguicidas foliares durante el llenado de los granos (estadio R3), particularmente en cultivos de soja de segunda permiten mejoras de rendimientos de por ejemplo unos 408 kg/ha promedio de ensayos en la campaña 2004/05 (DZD Agro, inédito). En estudios en el área norte de Buenos Aires se observó que con la aplicación de fertilizantes se logró un mayor número de granos mientras que tratamientos foliares con funguicidas en R5 aumentaron el peso individual de estos (Ferraris y Couretot, 2005).

En general, en suelos fértiles se producen plantas sanas y vigorosas con mayor probabilidad de permanecer sanas o al menos producir rendimientos aceptables en presencia de una o más enfermedades. Aunque en algunas condiciones, ambientes muy fértiles asociados a altas densidades de plantas pueden conducir a la aparición de mayores problemas de podredumbre carbonosa del tallo (*Sclerotinia*) o podredumbre de la raíz y base del tallo (*Phytophthora*) (Hoefl y col. 2000). Según Vallone (2003), la severidad de podredumbre marrón del tallo (*Sclerotinia sclerotiorum*) se reduce en condiciones alto contenido de K en los suelos. La probabilidad de ocurrencia de problemas de enfermedades con cultivos estresados y con desbalances de nutrientes es mayor que en su ausencia. Según Picio y Franje (1980) en un estudio en Filipinas, la severidad de roya de soja sería menor luego de la fertilización combinada con superfosfato triple y KCl.

El equilibrio de nutrientes puede ser tan importante como el nivel de un elemento específico (Huber y Arny, 1985). En el caso de algunas enfermedades la ocurrencia de estas se ha descrito en relación con las concentraciones de nutrientes en las plantas (Ivancovich, 1996). Tal es el caso de infección de vainas y semillas de soja por *Phomopsis* donde altas concentraciones de K y bajas concentraciones de Ca en las paredes celulares se asociaron con una mayor presencia de la enfermedad (Thomison y col. 1988). La incidencia de cancro de la soja (*Phomopsis phaseoli* o *Diaporthe*) ha sido descrito con mayor frecuencia bajo condiciones de exceso de N induciendo a deficiencias relativas de K (Yorinori, 1996).

Algunas evidencias sugieren que deficiencias de P o de K causan problemas en el desarrollo y calidad de las semillas (Ploper, 1996). Según Hartman y col. (1999) las óptimas condiciones de fertilidad de los suelos, en particular con P y K, son importantes para lograr un mejor manejo de enfermedades tales como pústula y tizón bacteriano

(*Pseudomonas syringae* y *Xanthomonas campestris*), podredumbre carbonosa del tallo (*Macrophomina phaseolina*), fusariosis (*Fusarium oxysporum*), cancro del tallo (*Diaporthe*), podredumbre violeta de la raíz y la base del tallo (*Rhizoctonia solani*) y nemátodos.

En condiciones de **deficiencia de K** es frecuente detectar plantas con paredes celulares delgadas, tallos y pecíolos débiles, menor desarrollo de raíces y concentraciones excesivas de N que pueden facilitar el ingreso de patógenos en las plantas. El K tiene un papel importante en la conversión de azúcares y compuestos nitrogenados simples en compuestos de alto peso molecular a partir de la sacarosa, fructosa o aminoácidos que se acumulan en la biomasa. Estos últimos, en condiciones de bajo nivel de K o de relaciones K/N son fuentes de alimentos para enfermedades y plagas (Yamada, 2005).

Algunos estudios muestran que aumentos en la ocurrencia de cancro del tallo (*Diaporthe phaseolorum*) y mancha marrón (*Septoria glycines*) han sido asociados con suelos con baja concentración de K extractable y ausencia de fertilización con este elemento (Fixen y col. 2004). Mascareñas y col. (2004) consideran que el K es un elemento importante para el mejor control de *Phomopsis*, *Cercospora kikuchii* y *Diaporthe phaseolorum*. Incluso, según observaciones preliminares en San Pedro Alfonso (TO, Brasil) habría reducción en la aparición de síntomas de roya asiática de la soja (*Phakopsora pachyrhizi*) en condiciones de adecuada fertilización con KCl (Mascareñas y col. 2004). En ambientes deficitarios en K característicos de la región del Cerrado (MT, Brasil), este nutriente ayuda mucho a la sanidad del cultivo de soja lográndose los mejores resultados en asociación con la aplicación de funguicidas (Suzuki y Yuyama, 2004). La calidad de semillas de soja junto con aumentos en la severidad de infecciones por *Phomopsis* han sido frecuentemente encontradas en condiciones de deficiencia de K (Jeffers y col. 1982) y la proporción de semillas afectadas por esta enfermedad reducida al corregirse esta deficiencia (Tabla 1).

Tabla 1: Efecto de dosis de fertilización con K sobre la infección de semillas de soja por *Phomopsis* sp. (Franca Neto y col. 1985)

| Infección (%) | Aplicación de K ₂ O (kg/ha) | | | | | |
|---------------|--|------|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 |
| | 19.4 | 13.3 | 1.3 | 3.6 | 2.5 | 3.5 |

Si bien solo algunas enfermedades pueden ser totalmente eliminadas al fertilizar, la severidad de la mayoría es reducida con una nutrición apropiada y al complementarse con el adecuado manejo de genotipos y de control químico de los patógenos. En el caso del K, reducciones en la incidencia de enfermedades al fertilizar con este elemento son más bien atribuibles a mejoras en el crecimiento de las plantas que a la supresión de las enfermedades (Huber y Arny 1985). Las áreas con mayor frecuencia de niveles de K insuficiente para la normal producción de soja en el cono sur se concentran mayormente en regiones tropicales sobre suelos meteorizados (ej. Región de los Cerrados en Brasil) y algunos sectores del Chaco Paraguayo y Bolivia (Ferrufino y Junco, 2003). En la región pampeana los suelos evolucionaron a partir de materiales ricos en K y por lo tanto abundan los altos contenidos de este nutriente.

Los resultados sobre el **efecto del P** sobre la resistencia a enfermedades son contradictorios. Si bien una baja disponibilidad del nutriente provocaría una alta susceptibilidad a las enfermedades, también se esperaría que la infección de las raíces por hongos micorrízicos sería mayor mejorando su sanidad (Yamada, 2005). Ploper y col. (1995), luego de 3 años de estudios del impacto de rotaciones, labranzas y fertilización sobre la ocurrencia de enfermedades y rendimientos de soja en Tucumán (Argentina) observó que mancha marrón (*Septoria glycines*) mostraba aparición anticipada y de mayor magnitud en condiciones de monocultivo de soja bajo sistemas con laboreo y en ausencia de fertilización fosfatada. En el caso de podredumbre de las semillas (*Diaporthe*, *Phomopsis*) el menor porcentaje de semillas afectadas ocurrió en sistemas de cero labranzas y con fertilización fosfatada, sólo cuando se detectó alta presencia de la enfermedad (Tabla 2). Los niveles de P extractable de suelos en el cono sur son frecuentemente limitantes para la normal producción de soja con excepción de algunos ambientes predominantemente localizados en el área semiárida pampeana (García, 2001).

Tabla 2: Evaluación de semillas afectadas por Diaporthe y Phomopsis y plantas con mancha marrón de la soja (*Septoria glycines*) según sistemas de labranza y fertilización fosfatada en Tucumán (Argentina). Promedio de 3 campañas (Ploper y col. 1995)

| Fertilización | Labranza | <i>Diaporthe y Phomopsis</i> | <i>Mancha marrón (Septoria glycines)</i> |
|---------------|-------------|------------------------------|--|
| | | Semillas afectadas (%) | Defoliación (%) Índice de Infección |
| No | Si | 10 | 21 23 |
| | Cero | 6 | 16 18 |
| | Prom | 8 | 19 21 |
| Con P | Si | 5 | 21 22 |
| | Cero | 2 | 17 18 |
| | Prom | 4 | 19 20 |

Durante las campañas 2003/04 y 2004/05, en un estudio desarrollado por los equipos de investigación y desarrollo de BASF Argentina y Nitragin Argentina, se seleccionaron 10 sitios de producción de soja de primera ubicados en el centro-norte de la región pampeana, región del noroeste argentino (NOA) y Paraguay. En estos sitios se evaluó el efecto individual y combinado de la inoculación con Nitragin Combi Full Action o Nitragin Optimize Full, la fertilización fosfatada en la siembra y el control de enfermedades de fin de ciclo con Opera (Pyraclostrobin). Se observó que los rendimientos (1100 a 4878 kg/ha) mostraron respuestas independientes a la aplicación de estos tratamientos. Es decir que bajo las condiciones estudiadas, las respuestas de los cultivos a la aplicación de estos 3 tipos de tratamientos no mostraron interacciones significativas entre sí y en promedio se describieron mejoras en rendimiento a la inoculación, fertilización fosfatada y aplicación del fungicida foliar (Fig. 1). Estos resultados sugieren que el manejo apropiado de la nutrición mineral del cultivo sería complementado con la adecuada protección del área foliar durante el llenado de granos pero no reemplazaría la necesidad de aplicación del fungicida.

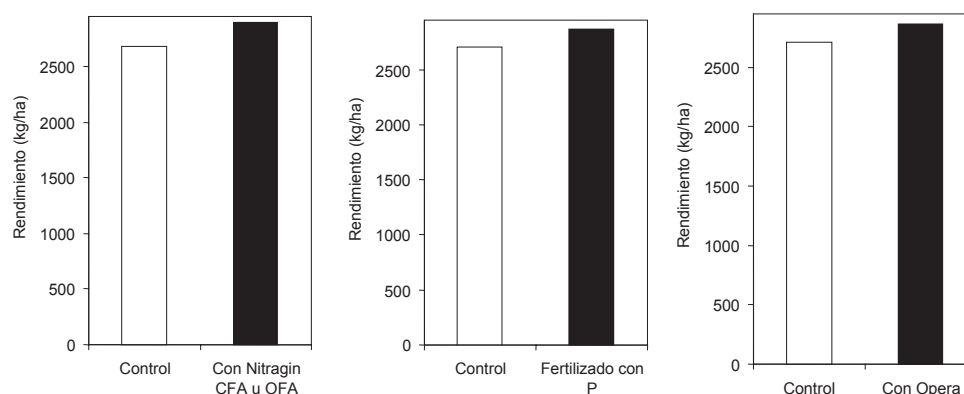


Fig. 1: Rendimiento de soja según tratamientos de (a) inoculación, (b) fertilización fosfatada o (c) control de enfermedades de fin de ciclo. Promedio de 10 sitios experimentales en el cono sur (Campañas 2003/04 y 2004/05).

En la medida que los rendimientos del control sin aplicación de los tratamientos de nutrición (inoculación y fertilización con P) o protección con fungicida fueron mayores, la contribución de la protección con fungicidas fue mayor (Fig. 2). En particular, bajo condiciones de no aplicación del fungicida la respuesta a la nutrición del cultivo fue menos relevante sobre el control sin tratamiento. En síntesis, el manejo eficiente de la nutrición es complementado con una adecuada práctica de producción que permita expresar el potencial productivo del genotipo cultivado.

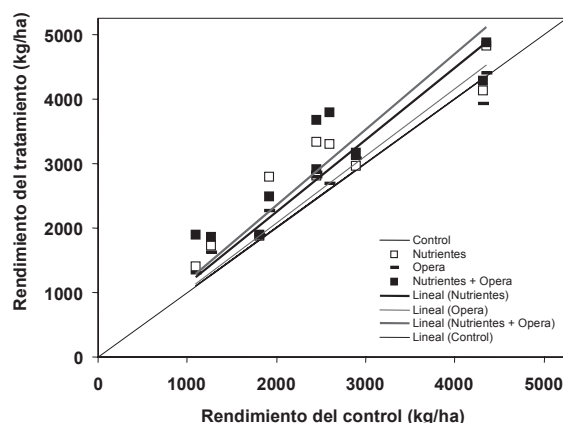


Fig. 2: Rendimientos de soja según tratamientos de nutrición (inoculación y fertilización fosfatada) y de control de enfermedades de fin de ciclo según producción del control sin tratamientos en 10 sitios del cono sur (Campañas 2003/04 y 2004/05).

En cuanto a los efectos de los micronutrientes sobre la sanidad de los cultivos, varios autores han descrito que la aplicación de KCl, principalmente atribuido a los aportes de **cloruros**, reducen la severidad de enfermedades en varios cultivos (Fixen, 1993). Tal es el caso de muerte súbita en soja (Fig.3). En el cono sur, estudios desarrollados en trigo muestran potenciales deficiencias de este nutriente en parte de la región pampeana argentina (Díaz-Zorita y col. 2004). Si bien en trigo se ha descrito una menor observación de síntomas de enfermedades foliares luego de la aplicación de Cl⁻, no se dispone de resultados en relación a los efectos de su uso en cultivos de soja.

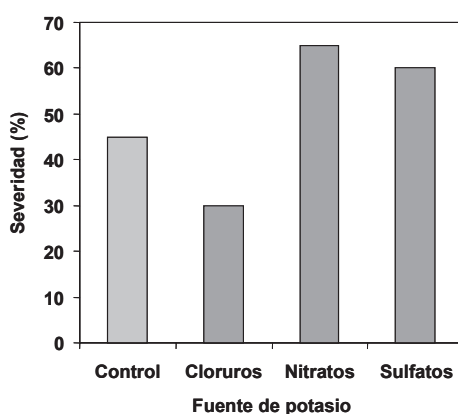


Fig. 3: Efecto de fuentes de potasio sobre la severidad del síndrome de muerte repentina en soja (*Fusarium solani*). Promedio de 2 experimentos y 4 niveles de fertilización con K (Sanogo y Yang, 2001).

El **manganeso (Mn)** es uno de los micronutrientes más importantes en cuanto a funciones directas sobre el desarrollo de enfermedades (Graham y Webb, 1991). El Mn tiene un papel importante en fotosíntesis, metabolismo del C y del N, interacciones hormonales y resistencia a enfermedades (Yamada, 2005). Varios procesos vinculados con el comportamiento sanitario de las plantas han sido vinculados con la disponibilidad de este elemento, entre los que se encuentran (i) lignificación (barrera física), (ii) formación de fenoles solubles (aporte a la lignificación), (iii) inhibición de la aminopeptidasa (menores producción de aminoácidos para el crecimiento de hongos), (iv) inhibición de la metilestearasa de la pectina (interviene en la degradación de la pared celular), (v) actividad de la fofosintetasa y (vi) inhibición directa del crecimiento de hongos por toxicidad en presencia de concentraciones relativamente altas de Mn (Malavolta et al. 1997). La capacidad de traslocar Mn varía entre genotipos pudiendo ser inferior en el caso de los materiales con resistencia a glifosato (Huber y col. 2004). La disponibilidad de Mn en los suelos es menor en ambientes con limitación en el drenaje y pH alcalino. Aún no se han descrito condiciones generalizadas de su deficiencia en los ambientes predominantes para la producción de soja en el cono sur.

Otros micronutrientes (ej. Zn y B) al actuar directamente sobre la estabilidad de la pared celular y por lo tanto reduciendo la presencia de exudados que podrían ser atractivos para los patógenos tendrían efectos indirectos sobre el desarrollo de enfermedades (Yamada, 2005). Aunque otros autores no describen efectos directos de su aplicación sino a través de mejoras en el crecimiento de las raíces de las plantas. La aplicación de Zn no inhibiría directamente a infección con *Rizoctonia solani* en plantas de *Medicago truncata* pero sí estimularía al crecimiento de las raíces resultado así que plantas suficientes en Zn serían más tolerantes a los efectos de este hongo que las plantas deficitarias (Streeter y col. 2001).

Conclusiones

Se reconoce que la respuesta sanitaria de cultivos de soja se vincula en parte con su manejo nutricional (oferta de nutrientes del suelo, fertilización e inoculación). En general, los efectos de los nutrientes sobre el comportamiento de la soja frente a la ocurrencia de enfermedades sería en algunos casos explicados por efectos directos de control de los patógenos mientras que en la mayoría indirectos a partir de mejoras en las condiciones de crecimiento de las plantas.

En el cono sur, las evidencias experimentales sugieren que mejoras en la oferta de K y de P conducirán a una menor incidencia de enfermedades con efectos sobre los rendimientos complementarios a la adecuada instrumentación de un plan de control, principalmente contra enfermedades de fin de ciclo, con funguicidas foliares.

Agradecimiento: Al Ing. Agr. Ricardo Paglione por su entusiasmo y aportes para la ejecución de este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz-Zorita, M, G A Duarte, M Barraco, 2004, Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy Pampas region, Argentina: Agronomy Journal, v. 96, p. 839-844.
- Ferraris, G.N., L.A.Couretot. 2005. Evaluación de fertilizantes foliares en soja de primera. INTA Proyecto Regional Agrícola (CRBN, EEA Pergamino y General Villegas), Soja Resultados Experimentales 2004-2005, 73-79.
- Ferrufino, A. y L. M. Junco. 2003. Los suelos del Trópico de Cochabamba (Bolivia): Identificación de restricciones edáficas para cultivos de banano, palmito, piña y pastos. III Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo. Santa Cruz de la Sierra (Bolivia).
- Fixen, P.E. 1993. Crop responses to chloride. In D. L. Sparks (ed) Advances in Agronomy, Vol. 50. Academic Press, Inc.
- Fixen, P.E., C. S. Snyder, H. F. Reetz, T. Yamada y T. S. Murrell. 2004. Nutrient Management of Soybeans with the Potential for Asian Rust Infection. En <http://www.ppi-far.org>.
- Franca Neto, J. de B., N.P. da Costa, A.A. Henning, J.B. Palhano, G.J. Sfredo, C.M. Borkert. 1985. Efeito de doses e metodos de aplicacao de cloreto de potasio sobre a qualidades da semente da soja. EMBRAPA Resultados de Pesquisa de Soja, Londrina (PR, Brasil), 294-295.
- García F. 2001. Balance de P en los suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 9:1-3.
- Graham, R.D. y M.J. Webb. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. Pp. 329-370. In J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman, and R.M. Welch eds. Micronutrients in Agriculture. 2nd edition. Soil Science Society of America.
- Hartman, G.L., J.B. Sinclair, J.C.Rupe. 1999. Compendium of soybean diseases. APS Press, St.Paul (MN, USA), 100 pp.
- Hoelt, R.G., E.D. Nafziger, R.R.Johnson, S.R. Aldrich. 2000. Modern corn and soybean production. MCSP Publications, Champaign (IL, USA), 353 pp.
- Huber, D.M. y N.S. Wilhelm. 1988. The role of manganese in resistance of plant diseases. In: Graham, R.D, R.J. Hannam y N.C. Uren (eds). Manganese in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp 155-173.
- Huber, D.M., D.C. Army. 1985. Interactions of Potassium with plant disease. En: Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, Madison (WI, USA), 467-488
- Huber, D.M., J.D. Leuck, W.C. Smith, y E.P. Christmas. 2004. Induced manganese deficiency in GM soybeans. Proceedings of the North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference 20:80-83. Potash & Phosphate Institute, Brookings, SD.
- Ivancovich, A. 1996. Manejo de enfermedades. En: Bota, G., A.Ivancovich, L.D. Ploper e I. Laguna (Eds.) Enfermedades de soja, Manual de diagnóstico y manejo, INTA CRBAN EEA Pergamino, 15-32.
- Jeffers, D.L., A.F.Schmitthenner, M.E. Kroetz. 1982. Potassium fertilization effects on *Phomopsis* seed infection, seed

- quality and yield of soybeans. *Agron. J.* 74: 886-890
- Malavolta, E., G.C. Vitti, S.A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, POTAFOS, Piracicaba (SP, Brasil), 319 pp.
- Mascarenhas, H.A.A., R.T.Tanaka, E.B.Wutke, N.R.Braga y M.A.C. de Miranda. 2004. Potássio para a soja. *Informações Agronômicas* 105: 1-2.
- Miguez, F. 2005. Trofobiosis. *Agromercado, Roya de la Soja – Enfermedades de fin de ciclo* 113: 29-32
- Piccio, V.L. y N.S. Franje. 1980. Rust incidence in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) as affected by varying levels of NPK applied alone and in combination. *Soybean Rust Newsletter* 3:18-22.
- Ploper, L.D. 1996. Patología de semillas de soja. En: Bota, G., A.Ivancovich, L.D. Ploper e I. Laguna (Eds.) *Enfermedades de soja, Manual de diagnóstico y manejo*, INTA CRBAN EEA Pergamino, 33-44.
- Ploper, L.D., A. Chavarría, I. Zarzosa, C.G. Díaz y J.C. Ramallo. 1995. Efectos del sistema de labranza, la rotación de cultivos, y la fertilización fosforada sobre las enfermedades de soja en Tucumán, Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 72: 87-98
- Sanogo, S. y X.B.Yang. 2001. Relation of sand content, pH, and potassium and phosphorus nutrition to the development of sudden death syndrome in soybean. *Can. J. Plant Pathol.* 23: 174–180.
- Streeter, T.C., Z. Rengel, S. M. Neate y R.D. Graham. 2001. Zinc fertilisation increases tolerance to *Rhizoctonia solani* (AG 8) in *Medicago truncatula*. *Plant and soil* 228: 233-242
- Suzuki, S. y M.M.Yuyama. 2004. Nutrição e Adubação. *Fundação MT, Boletim de pesquisa de soja nº8*, 228 pp.
- Thomison, P.R., D. L. Jeffers y A. F. Schmitthenner. 1988. Phomopsis Seed Infection and Nutrient Accumulation in Pods of Soybean with Reduced Fruit Loads. *Agr. J.* 80: 55-59
- Vallone, S.D. de. 2003. *Enfermedades de soja. Mundo Soja* 122-132
- Yamada, T. 2005. Simposio discute relações entre nutrição mineral de plantas e outros fatores abióticos e a incidência de doenças de plantas. *Informações Agronômicas* 109: 8-13
- Yorinori, J.T. 1996. Cancro da haste da soja: epidemiologia e controle. EMBRAPA, Circular Técnica Nº14, Londrina (PR, Brasil), 75 pp.