

# Análisis de la ocurrencia de *Ocotea porosa* (Lauraceae) a través del método de regresión logística

Analysis of the occurrence of *Ocotea porosa* (Lauraceae) using the logistic regression method

SILVANA L. CALDATO<sup>1</sup>, MIGUEL A. DURLO<sup>2</sup>, SOLON J. LONGHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Club de Campo "La Eugenia", Lote E, Ruta 105, Km 5, 3300, Garupá, Posadas, Misiones, Argentina, e-mail: [rape@arnet.com.ar](mailto:rape@arnet.com.ar)

<sup>2</sup> Depto. Ciencias Forestales, U. Federal de Santa Maria, Campus Universitario, 97.105.900. Santa Maria, RS, Brasil.

## SUMMARY

This study was directed towards examining factors that influence the occurrence of *Ocotea porosa* (Nees) L. Barroso (Lauraceae) in the mixed Ombrophylous forest at the Caçador Forest Reserve in Santa Catarina State, Brazil. The sampling area was 8 ha and consisted of four subunits (20 x 500 m) distributed in the four cardinal directions. A total of eight subunits were installed, and each was divided into 50 plots of 10 x 20 m. In each plot, all individuals of *O. porosa* 10 cm or more in height were noted. Data on basal area, inclination, exposition, altitude and the qualitative type of soil were analyzed by logistic regression methods to verify the influence of site and competition characteristics on the occurrence of *O. porosa*. The main factor influencing the presence of the species was a negative correlation with the hydric soil. The basal area was positively correlated for the population as a whole, and negatively correlated for the natural regeneration in relation to the occurrence of the species.

*Key words:* *Ocotea porosa*, logistic regression, population dynamic.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar los factores que influyen la ocurrencia de *Ocotea porosa* (Nees) L. Barroso (Lauraceae), en el Bosque Ombrófilo Mixto, ubicado en la Reserva Forestal de Caçador, en el Estado de Santa Catarina, Brasil. Se utilizó el método de unidades de muestreo en forma de conglomerado, compuesto por 4 subunidades (20 x 500 m) distribuidas en las 4 direcciones cardinales. En total, 8 subunidades fueron instaladas, sumando 8 hectáreas de área de muestreo. Cada subunidad fue dividida en 50 parcelas de 10 x 20 m. En cada parcela todos los individuos de *Ocotea porosa* de tamaño igual o superior a 10 cm de altura fueron notificados. Para verificar la influencia de características del sitio y de competencia, en la presencia o ausencia de *Ocotea porosa*, en cada parcela se obtuvieron datos del área basal, inclinación, exposición, altitud y tipo cualitativo de suelo, que fueron analizados por el método de regresión logística. Los resultados muestran que el principal factor que influye en la presencia de la especie de manera negativa fue el suelo hídrico. El área basal se correlaciona, en relación con la ocurrencia de la especie, de forma positiva para la población como un todo y de manera negativa para la regeneración natural.

*Palabras claves:* *Ocotea porosa*, regresión logística, dinámica poblacional.

## INTRODUCCION

Métodos de regresión se han convertido en un componente integral de cualquier análisis de datos relacionados con la descripción de la relación entre una variable respuesta (variable dependiente) y una o más variables explicatorias (variables independien-

tes) (Hosmer & Leneshow 1989: 1). Según los autores, el modelo de regresión logística es adecuado para estimar directamente la probabilidad de que un evento dicotómico ocurra. La presencia de una determinada especie en un área puede ser considerada como un fenómeno dicotómico. Existen solamente dos posibilidades, o la especie ocurre o no ocurre.

La regresión logística puede, en este caso, ser usada para descubrir las variables que influyen en la probabilidad de la ocurrencia de *Ocotea porosa*.

*Ocotea porosa* (Nees) L. Barroso, conocida por "imbuia", perteneciente a la familia Lauraceae, siempre desempeñó un papel fundamental en el desarrollo económico y cultural en las regiones abarcadas por el Bosque Ombrófilo Mixto; es una especie que ocurre asociada con *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. (pino-brasil), siendo que en los estadios más avanzados de la sucesión presenta mayor número de árboles adultos y senescentes que de plantas jóvenes (Klein 1963). En las áreas de su mayor concentración, o sea, en el Planalto Norte Catarinense, la "imbuia" presenta una frecuencia elevada. Puede ser observada desde el fondo de los valles hasta el alto de las laderas, sin pronunciadas alteraciones en su frecuencia (Reitz *et al.* 1978). En la actualidad, *Ocotea porosa* se encuentra en la lista de especies de flora brasileña amenazadas de extinción, en la categoría de las especies vulnerables (Carvalho 1994).

El presente trabajo busca contribuir al entendimiento de la dinámica poblacional de *Ocotea porosa* en el Bosque Ombrófilo Mixto de la Reserva Forestal de Caçador, a través de la determinación de los factores que influyen en la ocurrencia de la especie, por el uso de la regresión logística.

## REVISION DE LITERATURA

La regresión logística fue utilizada por Hasenauer (1994), para la formulación de modelos de mortalidad en bosques de edad no uniforme y mixtos de Austria (con *Acer*, *Pinus* y *Picea*). Esta forma de análisis también fue utilizada por Schweiger & Sterba (en prensa), para calcular la probabilidad de ocurrencia de plantas dañadas por animales y para evaluar la regeneración e ingreso de árboles en determinada clase diamétrica. Usando esta técnica, Durlo (1996) desarrolló modelos de mortalidad para tres diferentes especies de árboles nativos en el Estado de Rio Grande do Sul.

El modelo general de la regresión logística es:

$$\text{Probabilidad (evento)} = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

donde  $Z$  es la combinación lineal:

$$Z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_pX_p$$

siendo  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  y  $B_p$  coeficientes estimados de los datos;  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_p$  son las variables independientes;  $e$  es la base del logaritmo natural.

En la regresión logística, los parámetros del modelo son estimados usando el método de la máxima verosimilitud. Esto es, los coeficientes que hacen los resultados observados más probables son seleccionados a través de un proceso interactivo. El procedimiento de la regresión logística presenta algunos métodos disponibles para selección del modelo. Por ejemplo, para selección secuencial de variables el *Forward Stepwise* y para eliminación secuencial o construcción automática del modelo el *Backward Stepwise*.

La regresión logística produce valores de probabilidad que varían entre 0 (cero) a 1 (uno), posibilitando, así, la simulación de la ocurrencia de un determinado evento, al compararse el valor resultante de la función en cada caso específico con valores de números aleatorios, de distribución uniforme generados en el mismo intervalo (0-1) (Hasenauer 1994).

### a) Evaluación de la precisión del modelo

Una de las maneras de evaluar, en cuanto el modelo es apropiado, es por la comparación de la precisión del modelo con los datos reales a través de una tabla de clasificación. Además del Cuadro de clasificación se puede verificar la exactitud del modelo por la observación de la semejanza entre los datos del muestreo y los previstos por el modelo, a través de la estadística  $-2LL$  ( $-2$  Logarithm of the Likelihood =  $-2$  veces el logaritmo de la verosimilitud). Un buen modelo es el que tiene una alta semejanza entre los datos y el resultado del modelo, lo que lleva a un pequeño valor de  $-2LL$ . Cuando el modelo describe perfectamente los datos, el valor de la verosimilitud observada es 1 y el  $-2LL$  es cero. Para comprobar la hipótesis nula de que la verosimilitud observada no difiere de 1 (el valor de la verosimilitud para el modelo que se ajusta perfectamente) se puede usar el valor de  $-2LL$ . Bajo la hipótesis nula de que el modelo se ajusta perfectamente,  $-2LL$  tiene una distribución chi cuadrada con  $N-p$  grados de libertad, donde  $N$  es el número de casos y  $p$  es el número de parámetros estimados (Hosmer y Lemeshow 1989).

También, otra estadística que puede ser usada para probar cuánto el modelo se ajusta a los datos es la Calidad de ajuste (*Goodness of fit*), que compara las probabilidades observadas con aquellas estima-

das por el modelo. Esta estadística es definida de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Z^2 = \sum \frac{Re siduo_i^2}{Pi(1 - Pi)} = \sum \frac{(Yi - Pi)^2}{Pi(1 - Pi)}$$

Donde el residuo es la diferencia entre el valor observado (17) y el valor estimado (Pi).

La estadística Calidad de ajuste tiene una distribución chi cuadrada, con N-p grados de libertad, donde N es el número de casos y p es el número de parámetros estimados (Hosmer & Leneshow 1989).

b) *Parámetros estimados para el modelo de regresión logística*

Los parámetros estimados en la regresión logística y las estadísticas empleadas por el método para evaluación del modelo son presentados a continuación:

- B = coeficientes estimados,
- S.E. = error estándar,
- WALD = (B/S.E.)<sup>2</sup>, el test de WALD, que posee distribución chi cuadrada, es obtenido por el cuadrado de la relación entre el coeficiente estimado (B) y el error estándar correspondiente,
- d.f. = grados de libertad (para 1 variable d.f. = 1, para variables *dummy* d.f. = número de categorías - 1),
- Sig. = nivel de significancia de la estadística WALD,
- R = correlación parcial entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes. R puede variar de un valor -1 hasta +1. Un valor positivo indica que el aumento de la variable hace aumentar la probabilidad del evento a ocurrir. Si R es negativo, el opuesto es verdadero. Pequeños valores de R indican que la variable tiene una pequeña contribución en el modelo. La ecuación para la estadística R es:

$$R = \sqrt{\left( \frac{WALD - 2K}{-2LL_{(0)}} \right)}$$

El denominador es -2LL del modelo base, que contiene solamente el intercepto. El va-

lor 2K es un ajuste que considera el número (K) de parámetros estimados,

EXP (B) = para entender la interpretación de los coeficientes logísticos se considera un rearrreglo de la ecuación para el modelo logístico. El modelo logístico puede ser escrito en términos de la "chance" de un evento a ocurrir, que es definida como la relación entre la probabilidad de que el evento irá ocurrir y la probabilidad de que no irá a ocurrir:

$$\frac{Prob (evento)}{Prob (no evento)} = e^B e^{B_1 X_1} \dots e^{B_p X_p}$$

Entonces, e elevado al exponente B<sub>i</sub> indica cuántas veces las "chances" cambian cuando la i-ésima variable independiente aumenta en una unidad. Si B<sub>i</sub> es positivo, este factor será mayor que 1, lo que significa que las oportunidades de la ocurrencia aumentan; si B<sub>i</sub> es negativo, el factor será menor que 1, lo que significa que las oportunidades disminuyen cuando la variable independiente en cuestión es aumentada. Cuando B<sub>i</sub> es 0, el factor se iguala a 1, lo que lleva a una no-alteración de las oportunidades.

MATERIAL Y METODO

a) *Descripción general del área de estudio:* El presente estudio fue desarrollado en la Reserva Forestal de Caçador, en un área de 772 hectáreas con formación primaria de Bosque Ombrófilo Mixto, la cual está ubicada en la Estación Experimental de Caçador, en el Estado de Santa Catarina. La referida Reserva, constituida en 1948, pertenece a la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) y a la Empresa de Investigación Agropecuaria y de Extensión Rural de Santa Catarina S. A. (EPAGRI). El área se ubica entre las coordenadas geográficas de 26° 50' y 26° 54' de latitud Sur y de 51° 00' y 50° 55' de longitud Oeste de Greenwich, en altitud media de 1.100 m.

Los suelos de la región son clasificados como Tierra Bruna Estructurada Intermediaria a Roja Estructurada. Comprende suelos minerales, no hidromórficos, con horizonte B textural, arcilla de actividad baja, poseen fertilidad variable y baja disponibilidad de fósforo (Moser 1990).

De acuerdo con la clasificación de Köppen (1948), el clima es Cfb, o sea, templado húmedo, con heladas severas, con temperatura del mes más caliente inferior a 22°C y en los meses de invierno entre 6 a 8°C (Nimer 1990).

La vegetación está constituida por *Araucaria angustifolia*, formando el dosel superior, seguido de un dosel donde Lauraceae desempeña un papel preponderante, formando una cobertura densa (Klein 1978). Para la región del estudio, el subosque está compuesto principalmente por *Ocotea porosa*, *Ilex paraguariensis* St. Hil., haya de *Cedrela fissillis* Vell., *Prunus sellowii* Koehne, *Ocotea pulchella* Nees et Mart. ex Nees, *Nectandra megapotamica* Mez., *Cupania vernalis* Camb., *Piptocarpha angustifolia* Dusén, *Ilex brevicuspis* Reissek, entre otras.

b) *Unidades de muestreo*: Fueron instaladas unidades de muestreo constituidas por dos conglomerados en forma de cruz, cada uno compuesto por 4 subunidades de área fija. Las dimensiones de cada subunidad fueron de 20 m de ancho por 500 m de largo, constituyendo un área continua de 1 ha, totalizando 8 ha de área de muestreo. La distribución de los conglomerados fue al azar en el interior del bosque. A partir de un punto central, a una distancia de 20 metros, se instalaron las subunidades orientadas en cada una de las cuatro direcciones cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste). A una distancia aproximada de 600 metros, se hizo una nueva marcación de un punto central y adoptado el mismo procedimiento para la instalación de cuatro subunidades más, formando así un nuevo conglomerado. La línea central en el sentido longitudinal de las subunidades fue demarcada a cada 20 metros con una estaca permanente. De esta forma cada subunidad quedó dividida en 50 parcelas de 10 m x 20 m, formando un total de 400 parcelas de 10 m x 20 m (200 m<sup>2</sup>).

c) *Obtención de los datos*: i) Se hizo una cuantificación de todos los individuos encontrados de *Ocotea porosa*, desde la fase juvenil hasta la fase adulta, sin considerar los individuos bajo los 10 cm de altura debido a la dificultad de identificación. En la regeneración natural fueron considerados los individuos de 10 cm hasta 2 m de altura. Para los individuos mayores (árboles adultos y prerreproductivos) se midió el DAP (diámetro del fuste a 1,3 m de altura del suelo).

ii) Para la obtención del área basal fue identificado y medido el diámetro a la altura del pecho (DAP) de las diferentes especies arbóreas con  $DAP \geq 9,5$  cm.

iii) Para determinar las características físicas predominantes en cada parcela de muestreo se realizó un estudio del relieve local, con el levantamiento de la exposición (Este, Oeste, Norte, Sur, Noroeste, Sudoeste, Nordeste y Sudeste). La inclinación fue medida con el auxilio del hipsómetro Blume-Leiss. La altitud, cada 20 metros, fue medida con altímetro. También se hizo una descripción del tipo de suelo, para la que se observó cuál era el suelo que predominaba visualmente en las parcelas en estudio, considerando tres categorías de suelo: suelo profundo -sin presencia relevante de rocas y sin humedad visible-; suelo raso -con presencia acentuada de rocas (pedregal) en la superficie- y suelo hídrico -con presencia de agua o humedad (Fontes 1992).

d) *Procedimiento de cálculo*: En el presente estudio las variables medidas directamente en el levantamiento de los datos, que podrían determinar la presencia o ausencia de imbuías en la población total y en regeneración, son de dos tipos: variables relativas a la competencia y relativas al habitat. Como variable para la expresión de la concurrencia se disponía del área basal y, como expresión de sitio, fueron tomadas la altitud, exposición, inclinación y tipo de suelo. También se procuró verificar si la presencia o ausencia de regeneración de imbuías estaba asociada a la existencia de árboles adultos, muertos o cortados en cada una de las 400 parcelas de 200 m<sup>2</sup>.

De los datos obtenidos en las 400 parcelas se elaboró una matriz de datos, teniendo como variable dependiente la presencia o ausencia de imbuía. De esta forma, cuando en la parcela había presencia de imbuía, en la matriz de datos era indicado el valor 1, de lo contrario, cuando no había presencia de imbuía en la parcela, en la matriz se asumía el valor 0. El mismo procedimiento fue adoptado para la presencia o ausencia de regeneración natural de la especie. Las variables independientes entran en la matriz de datos con los valores obtenidos en cada parcela, siendo área basal formada por los individuos arbóreos con  $DAP \geq 9,5$  cm, en m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>; inclinación en porcentaje; altitud (metros); exposición (radianes) y tipo cualitativo de suelo (P = profundo, R = raso y H = hídrico). Para detectar la influencia del tipo de suelo fue utilizado el concepto de varia-

bles *dummy*, de acuerdo con Hosmer & Leneshow (1989). El suelo profundo fue utilizado como patrón para interpretar la influencia de los otros dos tipos. De esta manera, siempre que la parcela presentaba suelo raso el valor de esta variable era considerado 1 y a los otros dos era atribuido el valor 0. De otra forma cuando la parcela estaba en suelo hídrico a esta variable era atribuido el valor 1 y a los otros, 0. La presencia de árboles de imbuías adultos, muertos o cortados en las diferentes parcelas también fue tratada como variable *dummy*.

A partir de esta matriz de datos, se realizó el análisis de regresión logística con el auxilio del programa SPSS (Statistical Package for the Social Science), versión 7.1, para Windows.

El modelo general de la regresión logística puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$\text{Probabilidad (evento)} = \frac{1}{1 + e^{-Z}}$$

donde Z es la combinación lineal de diferentes variables, que pueden influir en la probabilidad de ocurrencia de imbuía. En este caso:

$$Z = B_0 + B_1G + B_2Alt. + B_3Exp. + B_4Incl. + B_5Suelo$$

siendo,

$B_0, B_1, B_2 \dots B_5$ , coeficientes estimados de los datos,

$G$  = área basal ( $m^2ha^{-1}$ ),  $Alt.$  = altitud (m),  $Exp.$  = exposición (radianes),  $Incl.$  = inclinación (%) y  $Suelo$  = características del suelo (variable *Dummy*), son las variables independientes.

$e$ , es la base del logaritmo natural.

Para la regeneración natural se incluyeron en el modelo las variables dicotómicas, presencia de árbol de imbuía muerto ( $B_6Muerto$ ), de imbuía cortado ( $B_7Cort.$ ) y de imbuía adulto ( $B_8Adul$ ).

## RESULTADOS

a) *Análisis de la ocurrencia general de imbuías.* Utilizando el método *Forward Stepwise*, fueron significativas las variables G (área basal) y Suelo H (hídrico). De esta forma, el modelo específico para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de imbuías se resume a:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a+bG+cSueloH)}}$$

Los resultados obtenidos en el Cuadro de clasificación muestran el porcentaje correcto de la estimación (cuadro 1). Para cada grupo estimado, el Cuadro de clasificación muestra si la estimativa de la probabilidad es mayor o menor que 50%, pero no revela la distribución de la probabilidad. Por ejemplo, no se puede decir de los datos del cuadro 1 si las 97 parcelas con "falsa presencia de imbuía" tenían probabilidades estimadas próximas de 50% o una probabilidad estimada más baja.

CUADRO 1

Clasificación de la regresión logística para la variable dependiente imbuía total.

Classification of the logistic regression for the dependent variable imbuied total.

	Estimada		Porcentaje correcto
	0	1	
Observada			
0	155	54	74,16%
1	97	94	49,21%
Total			62,25%

También para juzgar la performance del modelo logístico se puede examinar cuánto el modelo se ajusta a los datos, que puede ser a través del -2 Log verosimilitud y de la Calidad de ajuste. Los resultados encontrados para esta estadística pueden ser vistos en el cuadro 2. Como el número de parcelas es 400 y el número de parámetros estimados seleccionados por el modelo fueron 3 (área basal, tipo de suelo y la constante  $B_0$ ), los grados de libertad (GL) para -2LL (logaritmo de la verosimilitud) y para la Calidad de ajuste son 397.

Considerando la estadística de la Calidad de ajuste en la última línea del cuadro 2, lleva a concluir que el modelo no difiere significativamente de un modelo perfecto (chi cuadrado no significativo).

En el presente caso, -2LL para el modelo solamente con la constante es 553,70747, mientras que el modelo completo es 506,669. El chi cuadrado

## CUADRO 2

Estadística para el modelo conteniendo las variables independientes seleccionadas por el modelo.

Statistics for the pattern containing the independent variables selected by the pattern.

Estadística	Chi cuadrado	GL	Significancia
-2 Log verosimilitud (-2LL)	506,669	397	0,0002
Chi cuadrado del modelo	47,039	2	0,0000
Mejora del modelo (incremento)	47,039	2	0,0000
Calidad de ajuste ( $Z^2$ )	394,606	397	0,5245

del modelo 47,039 es la diferencia entre estos dos valores y, como fue altamente significativa (0,000), indica que ha sido hecha una mejora significativa en el modelo. Los grados de libertad para el chi cuadrado del modelo son la diferencia entre los grados de libertad de los dos. De esta forma, los grados de libertad para el modelo solamente con la constante son 399, mientras que para el modelo con las dos variables independientes y la constante son 397. El chi cuadrado del modelo tiene 399-397, o sea dos grados de libertad (GL).

La estadística Mejora del modelo es el cambio en -2LL entre sucesivos pasos (*steps*) para construir el modelo. Esto prueba la hipótesis nula de que los coeficientes para las variables adicionadas en el último *step* son iguales a cero. Como en el presente caso, son considerados solamente dos modelos: el modelo con la constante  $B_0$  y el modelo con la constante ( $B_0$ ) y las dos variables independientes, entonces, los valores del chi cuadrado del modelo y de la mejora son los mismos. La Mejora del modelo fue también altamente significativa, indicando que la inclusión del área basal (G) y tipo de suelo mejoran la estimación de la probabilidad de ocurrencia de imbuías.

Con relación a las variables del modelo de probabilidad de ocurrencia de imbuía los resultados se presentan en el cuadro 3, que contiene los coeficientes logísticos cuando el área basal (G) y tipo de suelo son incluidos en el modelo.

Como los niveles de significancia observada en los coeficientes para las variables área basal y suelo hídrico en el modelo son menores a 0,05, estas variables son significativas y se mantienen en el modelo. Así, el modelo definitivo puede ser escrito como sigue:

$$Prob(evento) = \frac{1}{1 + e^{-(-0,6066 + 0,0210G - 1,5721SueloH)}}$$

Los resultados del cuadro 3 llevan a la construcción del modelo conteniendo las variables independientes área basal y el suelo hídrico. Con relación a los factores que ejercen influencia en la ocurrencia de *O. porosa*, el área basal actuó en forma positiva, o sea, cuando el área basal es alta la posibilidad de presencia de la especie aumenta. Por ser bajo el valor del coeficiente B para el área basal, la influencia en la presencia o ausencia de imbuías no es muy significativa. El resultado puede ser deducido por la

## CUADRO 3

VARIABLES INDEPENDIENTES SELECCIONADAS POR LA REGRESIÓN LOGÍSTICA EN EL MÉTODO FORWARD STEPWISE.  
Independent variables selected by the logistic regression in the Forward Stepwise method.

VARIABLES	B.	S.E.	WALD	GL	Sig.	R.	Exp (B)
Area basal	0,0210	0,0046	20,7727	1	0,0000	0,1841	1,0212
Suelo hídrico	-1,5721	0,4615	11,6041	1	0,0007	-0,1317	0,2076
Constante	-0,6066	0,1712	12,5548	1	0,0004		

observación del Exp (B). Con el aumento de una unidad en área basal, la posibilidad de ocurrencia de imbuia aumenta apenas en 1,02 veces, o sea 2%. Además, hay que considerar que cuando la imbuia en fases adultas está presente, el área basal es alta justamente porque ella ocasiona este aumento, debido a sus características dominantes de área basal con relación a otras especies (Caldato 1998).

El análisis de la influencia del tipo de suelo (suelo profundo, suelo raso y suelo hídrico) sobre la probabilidad de ocurrencia de imbuias permite hacer la siguiente interpretación: el suelo raso, con relación al suelo profundo, no ejerce ninguna influencia en la probabilidad de ocurrencia de las imbuias. El suelo hídrico (también con relación al suelo profundo) determina una menor probabilidad de ocurrencia de la especie. Esto por ser significativo y por el valor negativo del coeficiente B. Por la interpretación del Exp B las posibilidades de ocurrencia de imbuia total (de todos los tamaños) en suelo hídrico son de 0,20, o sea, 80% menor que en suelo profundo o raso.

Con relación a las variables independientes (inclinación, exposición y altitud), que no fueron seleccionadas por el modelo, indica que la ocurrencia de la especie no está ligada a estos factores, siendo la presencia de la especie indiferente a estas características.

b) *Análisis de la ocurrencia de imbuia en regeneración.* Para verificar la probabilidad de ocurrencia de imbuia en regeneración natural, además de la variable de competencia área basal (G) y de las de sitio (inclinación, exposición, altitud y tipo de suelo) fue también probado si la presencia de imbuia en regeneración no sería dependiente de la presencia de imbuia adulta y/o muerta y/o cortada, en las

CUADRO 4

Clasificación de la regresión logística para la variable dependiente imbuia regeneración.

Classification of the logistic regression for the dependent variable imbuied regeneration

	Estimada		Porcentaje correcto
	0	1	
Observada			
0	303	0	100,00%
1	97	0	0,00%
Total			75,75%

parcelas. El modelo para la probabilidad de ocurrencia de imbuia en regeneración se mostró significativamente dependiente sólo del área basal (G) y del tipo de suelo:

$$P(evento) = \frac{1}{1 + e^{-(a+bG+cSueloH)}}$$

Los resultados obtenidos en el Cuadro de clasificación muestran que el porcentaje correcto es mayor que la mitad (cuadro 4), o sea, 75,75% de las parcelas fueron correctamente clasificadas. Sin embargo, el modelo fue incapaz de predecir la presencia de la especie, sólo fue capaz de indicar cuándo no ocurrió.

Los resultados que muestran en qué medida el modelo se ajusta a los datos observados se muestran en el cuadro 5.

CUADRO 5

Estadística para el modelo conteniendo las variables independientes seleccionadas por el modelo.

Statistics for the pattern containing the independent variables selected by the pattern

Estadística	Chi cuadrado	GL	Significancia
-2 Log verosimilitud (-2LL)	432,287	397	0,1074
Chi cuadrado del modelo	10,868	2	0,0044
Mejora del modelo (incremento)	10,868	2	0,0044
Calidad de ajuste (Z <sup>2</sup> )	396,548	397	0,4970

El chi cuadrado para la Calidad de ajuste y para  $-2LL$  no fue significativo, sosteniendo así que este modelo no difiere significativamente del modelo perfecto. Las estadísticas chi cuadrado del modelo y Mejora del modelo (cuadro 5) son significativas, lo que indica que la inclusión del área basal y tipo de suelo hace a este modelo mejor que al modelo que contiene sólo una constante. En el presente caso,  $-2LL$  para el modelo solamente con la constante fue 443,15563 mientras que el modelo completo fue 432,287.

Con relación a las variables del modelo de probabilidad los resultados se encuentran en el cuadro 6, el cual contiene los coeficientes cuando el área basal (G) y el suelo hídrico (SueloH) son incluidos en el modelo.

Como los niveles de significancia observada en los coeficientes para las variables área basal y suelo hídrico en el modelo son menores de 0,05, estas variables son significativas de tal forma que el modelo final resulta en:

$$Prob (evento) = \frac{1}{1 + e^{-(0,7463 - 0,0104G - 1,1669SueloH)}}$$

Los resultados del cuadro 6 llevan a la construcción del modelo conteniendo las variables independientes área basal y suelo hídrico. Considerando que el modelo fue incapaz de predecir la presencia de la regeneración y que solamente fue capaz de predecir su ausencia, los resultados muestran una tendencia que los factores que están influenciando la ocurrencia de la regeneración son área basal y suelo hídrico de forma negativa, o sea, cuando el área basal en la parcela es alta, las posibilidades de ocurrencia de la especie disminuyen. De la misma manera, el suelo hídrico influencia la ocurrencia de imbuia en regeneración en forma negativa, o sea, cuando se presenta este tipo de suelo las posibilidades de encontrar imbuia también disminuyen.

El bajo valor del coeficiente B para el área basal indica que su influencia en la ocurrencia de imbuías en regeneración es poco significativa. Esta afirmación es reforzada también por la observación del Exp (B). Con el aumento de una unidad en área basal, la posibilidad de ocurrencia de imbuia disminuye en apenas 0,9879, o sea, en torno de 1%. Ya la influencia del tipo de suelo (suelo hídrico con relación al suelo profundo) es más fuerte sobre la probabilidad de la presencia de regeneración. El alto valor negativo del coeficiente B y el valor bajo de 1 del Exp (B) demuestran esta afirmación. Las posibilidades de ocurrencia de imbuia en regeneración en suelo hídrico son de 0,3113, o sea, prácticamente 70% menor que en suelo profundo o raso.

Es importante resaltar que el modelo podría ser más eficiente en la predicción de la regeneración si hubiesen sido consideradas otras variables independientes importantes, como, por ejemplo, nutrientes del suelo, patógenos, factores alelopáticos, entre otros.

La diferencia del modelo de regeneración y el modelo de la ocurrencia general de imbuia fue marcada por el área basal, o sea, en la población total la correlación existente entre área basal y presencia de imbuías fue positiva; mayor área basal indica que existe más probabilidad de ocurrencia de la especie. En la regeneración ocurre lo contrario: en locales con área basal alta las posibilidades de presencia de imbuia en regeneración disminuyen. Estos resultados sugieren que los individuos de *Ocotea porosa* en fase de regeneración se localizan en ambientes del bosque con mayor incidencia de luz, indicando que la especie es una colonizadora de claros, o sea, con individuos juveniles creciendo principalmente en los lugares más abiertos del bosque.

CUADRO 6

Variables independientes seleccionadas por la regresión logística en el método Forward Stepwise.  
Independent variables selected by the logistical regression in the method Forward Stepwise.

Variabes	B	S.E.	WALD	GL	Sig.	R.	Exp (B)
Area basal	-0,0104	0,0048	4,6949	1	0,0303	-0,0780	0,9897
Suelo hídrico	-1,1669	0,5437	4,6058	1	0,0319	-0,0767	0,3113
Constante	-0,7463	0,1805	17,0930	1	0,0000		

Una segunda conclusión se puede derivar de la propia construcción del modelo. En el modelo general para regeneración fue probado si la ocurrencia de imbuia en regeneración dependía de la existencia de árboles adultos, muertos o cortados en las parcelas. Estas variables no fueron significativas, lo que sugiere que los individuos en regeneración no se encuentran creciendo en las proximidades de árboles adultos. Como la característica de dispersión de frutos grandes o medios (el caso de *O. porosa*) es mayor debajo del árbol progenitor en un primer instante, y un menor número de semillas dispersadas por zoocoria a una distancia mayor, esto podría sugerir que la especie sigue el modelo de dispersión de Janzen-Connell, donde los individuos que alcanzan distancias mayores en la dispersión tienen las posibilidades aumentadas de supervivencia. Entretanto, para verificar esta hipótesis de comportamiento de dispersión y supervivencia de individuos juveniles con relación al árbol matriz, sería necesario utilizar metodología específica (Janzen 1970, Augspurger 1983, Durigan 1992, Nascimento *et al.* 1997, entre otros).

Con relación a las otras variables independientes (inclinación, exposición y altitud), la regeneración de imbuia responde de manera semejante a la presentada por la población total, o sea, sin influencia significativa que pudiese ser percibida por la estadística de regresión logística. Esto implica que *Ocotea porosa* tiene una distribución amplia, pudiendo habitar diferentes sitios en el bosque.

## CONCLUSIONES

a) Cuando se considera la población total, los factores que influyen la presencia de *Ocotea porosa* son el área basal total de la comunidad, de manera positiva, sin embargo poco significativa, y el suelo hídrico, de forma negativa y con alta significancia; b) para los individuos de la regeneración natural, el área basal y el suelo hídrico constituyen los factores que limitan la presencia de la especie; c) la exposición, altitud e inclinación no muestran influencias en la ocurrencia o no de la especie; d) la regeneración natural no se muestra relacionada con la presencia de árboles adultos, muertos o cortados en las parcelas, indicando que los individuos juveniles no se encuentran creciendo debajo de la copa del árbol matriz;

e) para mejor eficiencia del modelo estadístico y para establecer patrones más precisos de las diferentes variables del ecosistema sobre el comportamiento de la especie, es necesario realizar un levantamiento más detallado, que incluya, por ejemplo, los agentes dispersores y polinizadores, las características químicas y físicas del suelo, así como patógenos y factores alelopáticos.

## BIBLIOGRAFIA

- AUGSPURGER, C. K. 1983. "Offspring recruitment around tropical trees: changes in cohort distance with time", *Oikos*, 40 (2): 189-196.
- CALDATO, S. L. 1998. Dinâmica populacional de *Ocotea porosa* (Lauraceae) na floresta Ombrófila Mista em Caçador, SC. Santa Maria: UFSM. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria.
- CARVALHO, P.E.R. 1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturas, potencialidade e uso da madeira Colombo: EMBRAPA-CNPQ. Brasília EMBRAPA-SPI. 640 p.
- DURIGAN, G. 1992. Distribuição espacial de plântulas de *Astrocaryum graveolens* Jacq. (*Anacardiaceae*) en relación à árvore-mãe. En: Congreso Nacional sobre Essências Nativas, 2. 1992, São Paulo. Anais São Paulo: Instituto Florestal, p. 207-211.
- DURLO, M. A. 1996. Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrella fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern sudbrasilienens. Wien: Institut für Waldwachstumsforschung. Universität für Bodenkultur. Dissertation. 175 p.
- FONTES, L. E. F. 1992. Glossário de ciência do solo Viçosa: UFV. Departamento de Suelos, 142 p.
- HASENAUER, H. 1994. Ein einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten- Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Fostliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien. Band 8, 152 selten.
- HOSMER, D. W. Jr., S. LENESHOW. 1989. Applied logistic regression. New York: Wiley.
- JANZEN, D. H. 1970. "Herbivores and the number of tree species in tropical forests", *The American Naturalist*, v. 104, (940): 501-528.
- KLEIN, R. M. 1963. "Observações e considerações sobre a vegetação do nordeste catarinense", *Sellowia* Itajaí, (15): 39-56.
- KLEIN, R. M. 1978. Flora ilustrada catarinense: mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, V Parte - mapa fitogeográfico, 24 p.
- KÖPPEN, W. 1948. *Climatologia*. México: Fondo de Cultura Económica.
- MOSER, J. M. 1990. Suelos En: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil. Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, p. 95-111.
- NASCIMENTO, A. R. T., J. M. CORTELETTI, S. S. ALMEIDA. 1997. Distribuição espacial de sementes e juvenis de *Astrocaryum aculeatum* G. F. W. Meyer (*Aracaceae*) en floresta de terra firme. En: LISBOA, P. L. B. (org.). Caxiuana Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi-MCT/CNPq, p. 287-296.

NIMER, E. 1990. *Clima*. En: IBGE: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil: Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, p. 151-187.

REITZ, R., R. M. KLEIN, A. REIS. 1978. "Projeto Madeira de Santa Catarina", *Sellowia*, Itajaí. (28-30): 3-320.

SCHWEIGER, J., H. STERBA. (no prelo). Natural regeneration establishment of Norway Spruce (*Picea abies*, L.) in Austria. Danish Forest and Landscape Research Institute. (in press).